

Prévision des risques et élaboration de nouvelles techniques de lutte pour la protection des cultures contre les attaques de taupins

Thibord J.-B.¹, Larroudé P.¹, Chabert A.², Villeneuve F.³, Quilliot E.⁴, Malet M.⁵, Plantegenest M.⁶, Poggi S.⁶, Riou J.-B.^{1,6}, Ogier J.-C.⁷, Guéry B.⁸, Rouzès R.⁹, Barsics F.¹⁰, Bonnissol S.¹¹, Cap G.¹²

¹ ARVALIS – Institut du végétal, 21 chemin de Pau, 64 121 Montardon

² ACTA, 1 avenue Claude Bourgelat, 69680 Marcy L'Etoile

³ CTIFL, Centre de Lanxade, Route des Nébouts, 24130 Prigonrieux

⁴ ITB, 43-45 rue de Naples, 75008 Paris

⁵ FN3PT, 43-45 rue de Naples, 75008 Paris

⁶ UMR IGEPP (INRA/Agrocampus Ouest), Domaine de la Motte, F-35653, Le Rheu

⁷ UMR 1333 DGIMI (INRA-UM2), Place Eugène Bataillon - cc 54 ou 101 - 34095 Montpellier cedex 5

⁸ SRAL Aquitaine, 71 Avenue Edouard Bourlaux, 33140 Villenave-d'Ornon

⁹ ENTOMO-REMEDIUM, 646 route du Rouquey 33550 Tabanac

¹⁰ Université de Liège - Gembloux Agro Bio Tech, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgique

¹¹ Bayer, 16 Rue Jean-Marie Leclair, 69009 Lyon

¹² LEGTA de Pau-Montardon, 19 Chemin de Pau, 64121 Montardon

Correspondance : jb.thibord@arvalisinstitutduvegetal.fr

Résumé

De nombreuses cultures subissent chaque année des attaques de larves de taupins qui occasionnent des pertes de rendement ou une dégradation de la qualité des produits. La protection des cultures est réalisée préventivement grâce à l'application de produits phytopharmaceutiques. En absence de références récentes concernant la répartition des principales espèces présentes en France et le manque de connaissance concernant leur biologie, il n'est pas possible de prévoir les risques d'attaques de taupins. Plus de 700 enquêtes parcellaires ont été réalisées dans le but de cartographier les espèces de taupins puis d'identifier et hiérarchiser les facteurs susceptibles d'influencer l'abondance de larves de taupins et l'intensité des attaques occasionnées aux plantes cultivées. L'analyse des données a été réalisée sur des parcelles de maïs. Les caractéristiques de sol (pH, taux de matière organique, texture du sol) et la pluviométrie estivale sont des facteurs qui influencent l'abondance de larves de taupins dans le sol. Les conditions météorologiques subies avant et après le semis, le type de rotation – avec notamment la présence d'une prairie dans la parcelle ou dans son environnement proche – sont des facteurs qui modifient le risque d'attaques sur la culture. Ces enseignements permettent d'appréhender les risques mais il demeure difficile de caractériser un risque à l'échelle de la parcelle avec précision. En parallèle, des expérimentations réalisées au champ ont permis d'évaluer l'intérêt de champignons entomopathogènes *Metarhizium anisopliae* pour la protection de différentes cultures. D'autres essais ont démontré l'efficacité de glucosinolates avec une diminution des attaques de taupins de l'ordre de 50%. Des travaux en conditions contrôlées ont également mis en évidence la pertinence de stratégies innovantes basées sur l'usage de macroorganismes (nématodes entomopathogènes) ou de semiochimiques.

Mots-clés : taupins, cartographie, facteurs de risque, méthodes de lutte, champignon entomopathogène, nématode entomopathogène, glucosinolates, semiochimique

Abstract: Risk forecasting and developing new control strategies against wireworms damage

Many crops are annually attacked by wireworms which cause yield losses or degradation of product quality. Crop protection is carried out preventively through the application of plant protection products. In

the absence of recent references concerning the distribution of the main species present in France and the lack of knowledge concerning their biology, it is not possible to predict the risks of attacks by wireworms. Over 700 fields were investigated in order to map wireworm species in France and to identify the main factors involved in the abundance of wireworms and intensity of damage on crops. Data analysis was carried out on maize fields. Soil characteristics (pH, organic matter content, soil texture) and the summer rainfall are factors that influence abundance of wireworms in the soil. Weather conditions encountered before and after planting, rotation type - including the presence of a meadow in the plot or in its immediate environment - are factors that influence the level of damage on maize. These knowledges allow comprehend the risks, but it remains difficult to characterize it precisely for each field. Experiments led in the fields have assessed the pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* interest for the protection of several crops. Other trials demonstrated effectiveness of glucosinolates provoking a 50% reduction of wireworms attack. Works under controlled conditions highlighted relevance of innovative strategies using macroorganisms (entomopathogenic nematode) or semiochemicals.

Keywords: wireworms, mapping, risk factors, methods of control, entomopathogenic fungus, entomopathogenic nematode, glucosinolates, semiochemical

Introduction

Une recrudescence des dégâts de taupins est constatée depuis le milieu des années 2000 en grandes cultures et en cultures légumières. L'augmentation de ces dommages aux cultures peut en partie être expliquée par l'évolution des stratégies de protection insecticide mises en œuvre par les producteurs (Thibord, 2013). En parallèle, les techniques culturales ont également été modifiées (diminution des surfaces labourées, présence obligatoire de couverts végétaux durant l'interculture) ainsi que l'environnement de certaines parcelles (implantation de bandes enherbées). A cela s'ajoute également le développement des populations de l'espèce de taupin *Agriotes sordidus*, à cycle biologique plus court que celui des espèces traditionnellement nuisibles dans notre pays (*A. lineatus*, *A. sputator*, *A. obscurus*). Le contexte actuel de raréfaction des substances actives disponibles ou de restriction de leur usage risque de rendre la protection des cultures contre ces ravageurs de plus en plus difficile. De plus, l'absence de solution de protection contre les taupins est un frein au développement de certaines productions en agriculture biologique.

Il semble donc primordial de préciser et quantifier l'influence des principaux facteurs climatiques, agronomiques et environnementaux sur les niveaux de populations de taupins et sur l'intensité des dégâts que les larves peuvent occasionner aux cultures. Une meilleure connaissance de ces ravageurs permettrait de proposer des techniques culturales défavorables aux taupins et d'imaginer de nouvelles stratégies de protection visant l'abaissement des populations de ces ravageurs.

L'amélioration de nos capacités à protéger les plantes tout en optimisant le recours aux produits phytopharmaceutiques nécessite par conséquent – et c'est la démarche suivie par ce projet – :

- **d'approfondir les connaissances concernant la répartition des espèces de taupins nuisibles aux cultures**, leur biologie et leur comportement (chez la larve et l'adulte), ainsi qu'une connaissance plus fine des spécificités des différentes méthodes et outils d'évaluation de l'abondance des larves dans la parcelle.
- **d'améliorer la prévision du risque des attaques de taupins** grâce à une typologie des conditions pédoclimatiques et des pratiques culturales à risques. L'éventuelle influence de l'environnement paysager de la parcelle sur l'abondance de taupins doit également être vérifiée.
- **d'élaborer de nouvelles techniques de protection** visant l'abaissement de population de taupins et l'assainissement progressif de la parcelle grâce à la diminution du stock larvaire. Les plantes de services, produits à bases de substances inertes (extraits végétaux, appâts) ou organismes vivants

(champignons ou nématodes entomopathogènes) méritent d'être évalués pour mesurer leur éventuel intérêt dans la protection des cultures contre les taupins.

1. Comment se répartissent les principales espèces de taupins et comment évaluer leur abondance efficacement?

De nombreux prélèvements de larves de taupins ont été réalisés dans le cadre des enquêtes parcellaires mises en œuvre au cours des 3 années du projet. La base de données a été abondée par deux autres sources d'informations mises à disposition par des partenaires du projet (prélèvements réalisés chaque année entre 2005 et 2013 dans le cadre d'une collaboration Bayer - Inra ou par Arvalis en 2005, 2006 et 2011). Toutes les larves ont été identifiées par un entomologiste.

Au total, l'étude a concerné **1202 parcelles et a permis le prélèvement et l'identification de 11 794 larves entre 2005 et 2014**. L'essentiel des prélèvements (~85%) a été réalisé dans des parcelles de maïs. Les autres prélèvements de larves ont été réalisés sur d'autres cultures : céréales à paille, colza, pomme de terre, tournesol, betterave, prairie.

1.1. Répartition des espèces en France

Au cours de ces travaux d'enquêtes parcellaires, *Agriotes lineatus* est l'espèce la plus fréquemment observée en France (42,5 % des larves prélevées) suivie d'*Agriotes sordidus* (29,5 %) puis *Agriotes sputator* (20,4 %). *Agriotes obscurus* a été identifié plus rarement (6,7 %).

Deux autres espèces, *Agriotes gallicus* et *Agriotes ustulatus*, ont également été identifiées de façon anecdotique (<1%). La première n'est pas réputée pour être nuisible aux cultures tandis que la seconde est surtout nuisible ailleurs qu'en France (comme par exemple en Italie).

Concernant la répartition géographique (Figure 1), les espèces *Agriotes lineatus* et *Agriotes sputator* sont présentes sur l'ensemble du territoire. Ces deux espèces dominent en fréquence au nord d'une ligne Lyon – Nantes. L'espèce *Agriotes sordidus* est présente dans les départements situés au sud d'une ligne allant du sud de la Bretagne jusqu'à l'Alsace. Cette espèce est souvent la plus représentée dans les départements situés au sud d'une ligne allant de la Vendée à la Drôme. *Agriotes obscurus* est présente au nord d'une ligne reliant la Bretagne à la Champagne-Ardenne.

1.2. Répartition des espèces au sein des parcelles

Seules les parcelles pour lesquelles au moins 3 larves ont été prélevées et identifiées ont été conservées afin d'étudier la répartition des espèces. La base de données comporte 974 parcelles enquêtées et environ 11 350 larves identifiées. Les données ont fait l'objet d'une analyse à l'échelle inter-parcellaire pour évaluer une éventuelle dynamique spatiale des espèces. Aucune progression géographique des espèces n'a été constatée au cours de la durée de cette étude. Cependant, l'échelle temporelle est extrêmement réduite et la méthode employée n'est pas réellement la plus appropriée.

A l'échelle de la parcelle, 57% des parcelles n'hébergent qu'une et une seule espèce de taupin, 32% des parcelles en hébergent deux. Enfin, 11% des parcelles comportent trois espèces de taupins ou plus.

Lorsqu'une seule espèce est présente, c'est *Agriotes sordidus* qui est identifiée dans près de deux tiers des cas (63%) alors que cette espèce n'est présente que dans 45% des parcelles (Tableau 1). Cette espèce semble donc dominante. A titre de comparaison, *Agriotes lineatus* qui a été identifiée dans 56% des parcelles est la seule espèce présente dans seulement une parcelle sur trois (33%). *A. sputator* est présente dans 36% des parcelles et dominante dans 22% des cas. *A. obscurus* est présente dans 16% des parcelles où elle est souvent minoritaire.

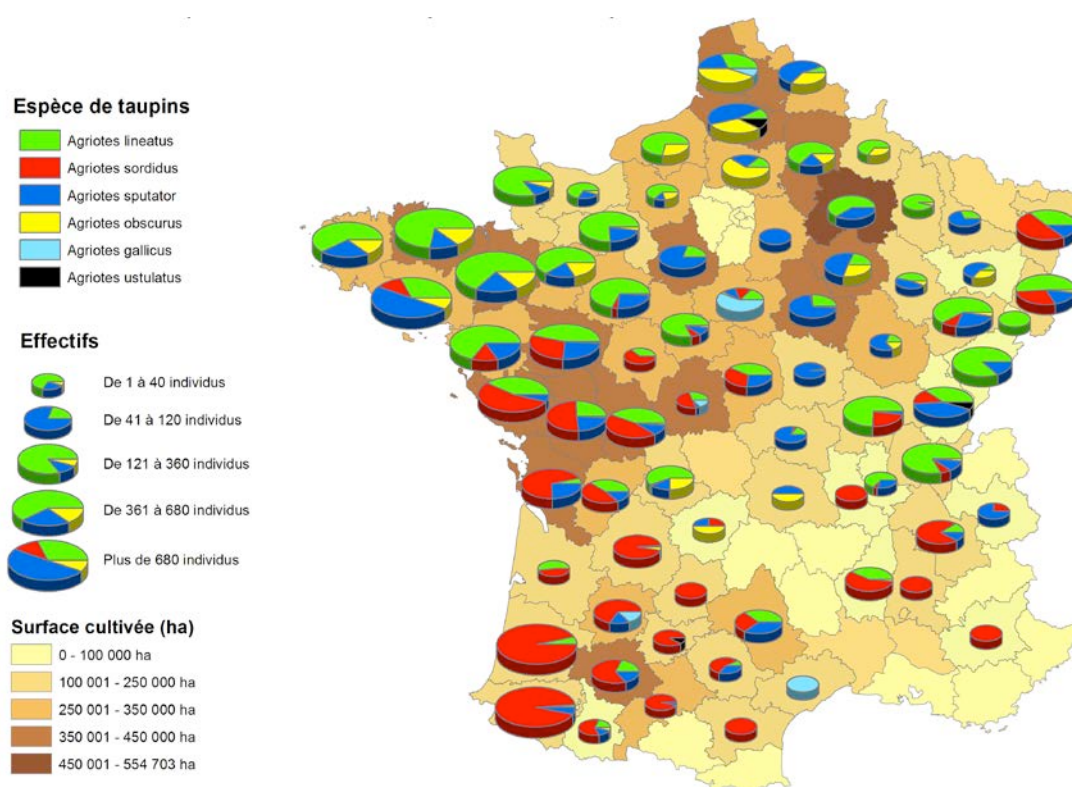


Figure 1 : Répartition des 6 principales espèces de taupins – 2005 à 2014 – Toutes cultures.

	% de parcelles où l'espèce est présente	Lorsque l'espèce est présente, % de parcelle où elle est :		
		la seule	majoritaire [50-99%]	minoritaire
<i>A. sordidus</i>	45	63	13	24
<i>A. lineatus</i>	56	33	38	29
<i>A. sputator</i>	36	22	31	47
<i>A. obscurus</i>	16	11	29	60

Origine des données : 2005 - 2014 : 974 parcelles (3 larves minimum) 11 351 larves *Agriotes* sp. (4 espèces principales)

Tableau 1 : Occurrence des principales espèces et concomitance dans la parcelle

1.3. Relation entre l'occurrence des espèces et le climat

Sur le même jeu de données, *A. sordidus* est présente dans des parcelles exposées à des températures moyennes de l'air plus élevées par rapport aux autres espèces. En revanche, l'effet n'est pas marqué sur le critère de la pluviométrie, l'ensemble des espèces se trouvent dans des zones où le cumul annuel de pluie sur les 4 années précédant le prélèvement est sensiblement comparable.

L'objectif étant de déterminer si certaines conditions sont plus favorables ou limitantes pour le développement de certaines espèces à des stades clés pour le développement des taupins, l'analyse a été réalisée sur quatre périodes de l'année correspondant à des étapes de développement des ravageurs :

- 15/03-15/06 : période d'émergence des adultes,
- 15/06-15/08 : période de ponte,
- 15/08-15/10 : premiers stades de développement des larves,
- 15/10-15/03 : période hivernale.

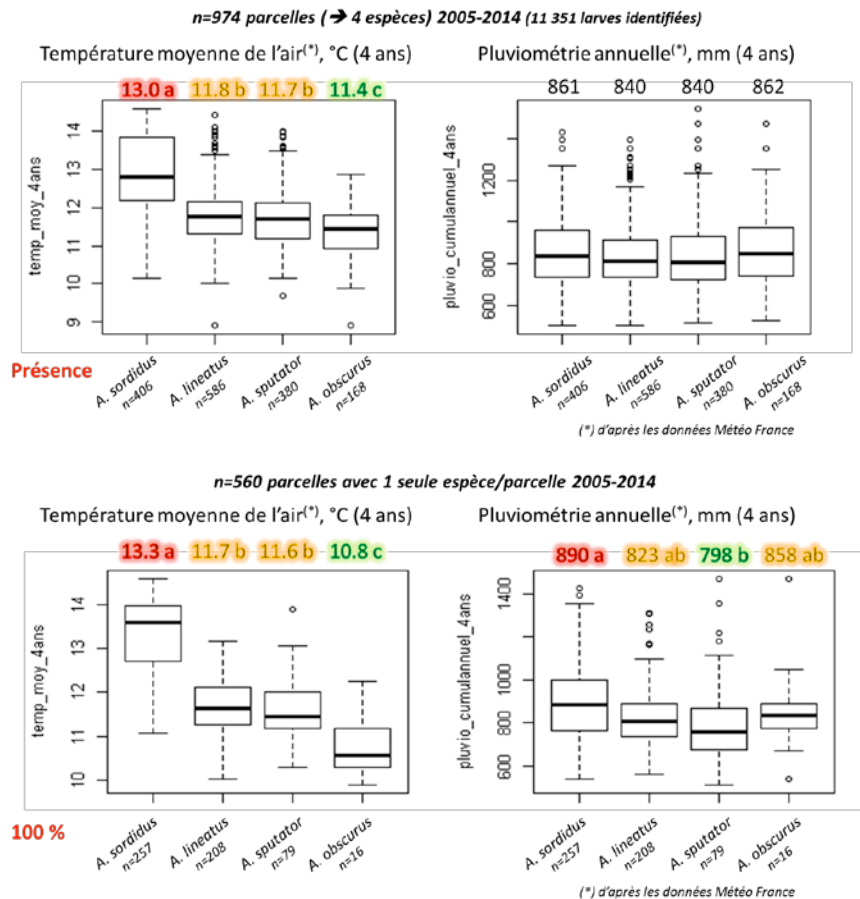


Figure 2 : Relation entre la température ou la pluviométrie et l'abondance de larves des différentes espèces de taupins.

n=974 parcelles (11 351 larves identifiées)

Espèce	parcelles	15/03	90 jours	15/06	60 jours	15/08	60 jours	15/10	155 jours
Température moyenne Air, °C									
A. sordidus	406		13.9 a		20.3 a		17.9 a		7.2 a
A. lineatus	586		12.6 b		18.8 b		16.4 b		6.4 b
A. sputator	380		12.6 b		18.8 b		16.3 b		6.3 b
A. obscurus	168		12.1 c		18.1 c		15.8 c		6.3 b
Pluviométrie cumulée, mm									
A. sordidus	406		220 a		103 c		122		406
A. lineatus	586		196 b		117 b		122		395
A. sputator	380		198 b		119 b		120		390
A. obscurus	168		198 b		124 a		126		411

Tableau 2 : Relation entre la température ou la pluviométrie et l'abondance de larves des différentes espèces de taupins au cours de l'année.

Concernant les températures, les tendances observées pour chacune des périodes sont en cohérence avec les moyennes annuelles : *A. sordidus* est identifié dans les parcelles qui ont les températures les plus élevées et *A. obscurus* semble préférer les parcelles où les températures sont plus faibles, et ceci aux différentes périodes de l'année.

Concernant la pluviométrie, les parcelles où *A. sordidus* a été identifié subissent des conditions plus sèches au cours de la période correspondant au dépôt des pontes et à l'éclosion des œufs (15/06-15/08). La pluviométrie est plus élevée pour *A. sordidus* au cours de la période de vie épipée des adultes (15/03-15/06). Les pluviométries sont comparables pour les 4 espèces au cours des périodes automnales et hivernales.

L'analyse des données climatiques permet d'observer une plus grande tolérance des œufs et larves aux premiers stades de développement pour l'espèce *Agriotes sordidus* en comparaison aux autres espèces. Des travaux complémentaires en conditions contrôlées sont nécessaires pour confirmer cette hypothèse.

1.4. Comparaison de différentes méthodes pour mesurer l'abondance de taupins dans la parcelle

Connaitre le niveau de population larvaire de taupins dans la parcelle permettrait d'évaluer le risque de dégâts encouru par la culture mise en place. Une méthode existe pour quantifier la population larvaire de taupins à l'aide de pièges attractifs (piège Kirfmann). Cependant, cette méthode est peu pratiquée car sa mise en œuvre est longue et apporte des résultats souvent insuffisamment précis imposant une mise en place en de multiples points de la parcelle. Disposer d'une méthode de quantification de la population larvaire plus simple à mettre en œuvre et dont les résultats présenteraient une meilleure reproductibilité – permettant d'envisager une réduction du nombre de répétitions – serait utile. A la fin des années 2000, un autre type de piège avait été proposé par l'Anitta, un des organismes partenaires du projet, et dont les résultats semblaient très intéressants. L'existence de ce piège a contribué à relancer des travaux sur les piégeages de larves de taupins.

L'objectif poursuivi dans le cadre du projet a été de comparer différentes méthodes ou outils pour évaluer l'abondance de larves dans une parcelle :

- Des expérimentations conduites aux champs ont d'abord eu pour objectif de comparer les résultats de captures à l'aide de différents pièges : le piège Kirfmann modifié par l'Acta, le piège proposé par l'Anitta ainsi que d'autres pièges avec des conformations ou des attractifs différents (comme par exemple des plants de pommes de terre ou des préparations carnées).
- Des quantifications de populations larvaires ont été réalisées grâce à des tris de sol dans certaines parcelles étudiées dans le cadre des enquêtes parcellaires.

1.4.1 Comparaison des performances de différents pièges attractifs pour larves

Les pièges ont été évalués sur les critères suivants : niveau de capture, variabilité des résultats de captures et dépendance aux conditions environnantes (sol, climat). Des essais ont été réalisés par Arvalis, le Ctifl et l'Acta en 2012 et en 2013.

Sur les deux années de piégeage, les pièges Kirfmann et Anitta donnent les performances les plus élevées et les plus homogènes. L'intérêt du piège type Anitta a été confirmé dans les travaux du Ctifl. Ce type de piège semble présenter l'avantage de capturer plus de jeunes larves.

Certains pièges expérimentaux capturent autant de larves que le piège Kirfmann, mais les temps de lecture ne sont pas abaissés et la variabilité des résultats n'a pas été améliorée.

1.4.2 Intérêt des dénombrements de larves dans des tris de sol

Une autre technique permettant de quantifier la population larvaire consiste à dénombrer les larves présentes dans un volume de sol prélevé en surface. La méthode mise en œuvre dans le cadre de cette étude a consisté à faire trois prélèvements positionnés aléatoirement dans chaque parcelle enquêtée. Chaque prélèvement était constitué d'un cube de sol de 20 cm de côté. Le prélèvement de sol était ensuite soigneusement observé afin de quantifier les larves de taupins présentes.

En 2012, des observations de tris de sol et de piégeages larvaires de type Kirfmann ont été réalisées dans 39 parcelles dans le but de comparer les résultats obtenus avec ces deux techniques.

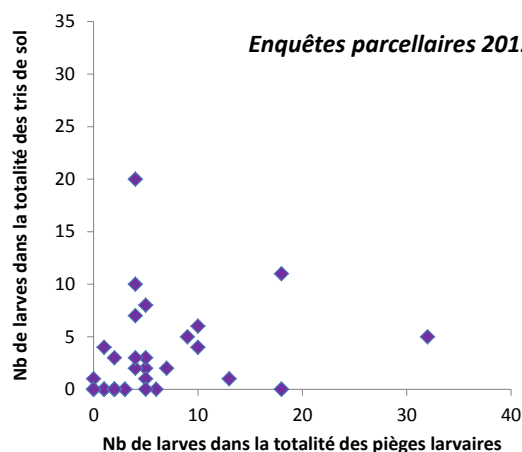


Figure 3 : Population capturée par piégeage attractif et par tri de sol dans 39 parcelles

Il n'y a pas de relation nette entre le nombre de larves capturées à l'aide du piège attractif type Kirfmann et le nombre de larves observées dans les tris de sol. En ne comparant que les parcelles où une seule espèce est présente, une relation entre le type de capture et l'espèce de taupins semble apparaître (Figure 4) : le nombre d'individus d'*A. sordidus* est plus élevé avec des pièges attractifs comparés à des tris de sol. L'effet inverse tend à être observé pour *A. lineatus*.

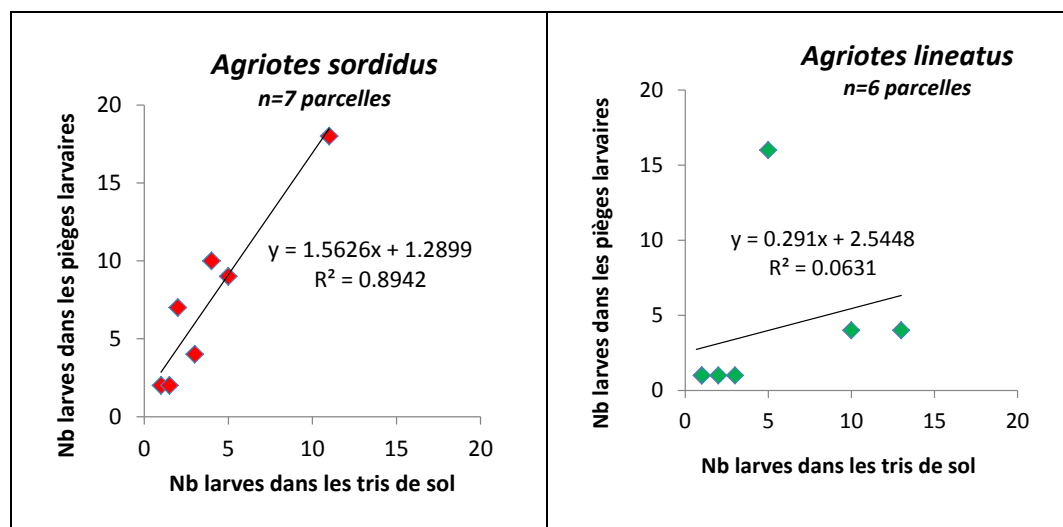


Figure 4 : Interaction entre espèces et type de capture

En conclusion, il n'a pas été possible de proposer un type de piège dont la mise en œuvre serait plus simple et plus rapide que le piège proposé par Kirfmann (piège de référence). De plus, tous les pièges expérimentés présentent des résultats de captures hétérogènes (sans doute une des caractéristiques des taupins et transposables plus généralement aux larves telluriques). Les résultats ne permettent pas de mettre en évidence l'existence d'une relation entre le nombre de larves capturées par piégeage attractif et le nombre de larves observées par tri de sol au moment où sont observés les dégâts sur la culture.

Les informations issues des tris de sol semblent mieux corrélées aux dégâts observés sur la culture de maïs ($r^2 = 0.37$). Les résultats de piégeage larvaires ne sont pas bien corrélés aux dégâts observés ($r^2 = 0.07$). Cela peut en partie être expliqué par des différences de comportement des espèces

A. lineatus et *A. sordidus* vis-à-vis du piège larvaire à base d'attractif. Ces résultats sont cohérents avec ceux mentionnés dans la bibliographie (Furlan, 2014).

Les nombres de larves observés dans les tris de sol peuvent être reliés à une classe de dégâts occasionnés à la culture (Figure 5). À noter que pour une classe de dégâts observés, le nombre de larves quantifiées dans les tris de sol est équivalent pour les parcelles comportant uniquement *A. sordidus* ou uniquement *A. lineatus*. Cela signifie que pour une abondance de larves donnée, l'intensité des attaques occasionnées sur maïs est comparable pour les deux espèces de taupins.

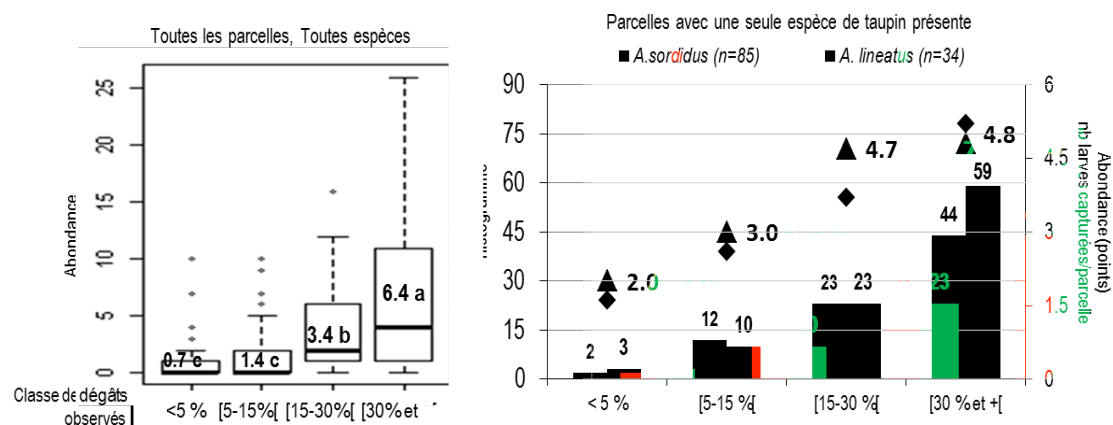


Figure 5 : Abondance de larves observées dans les tris de sol et classe de dégâts sur maïs. Toutes espèces de taupins confondues (gauche) et parcelles avec une seule espèce présente (droite)

Classes de température cumulé (moyenne)	<i>A. lineatus</i>	<i>A. sordidus</i>	Classes de pluviométrie (mm cumulés)	<i>A. lineatus</i>	<i>A. sordidus</i>
< 120°C (< 20°C/j)	2.0 b	2.3	< 5 mm (< 1 mm/j)	1.9	2.6
[120-130°C[(20-22°C/j)	4.7 a	1.6	[5-20 mm (1-3 mm/j)	1.8	1.2
[130-140°C[(22-23°C/j)	4.2 a	1.8	[20-40 mm[(3-7 mm/j)	2.6	1.7
> 140°C (> 23°C/j)	2.6 ab	1.1	> 40 mm (> 7mm/j)	2.2	1.2

Tableau 3 : Abondances de larves observées dans les tris de sol et conditions de température et de pluviométrie rencontrées avant la réalisation des prélèvements (6 jours)

Les travaux réalisés n'ont pas permis de proposer d'amélioration aux outils existants pour mesurer l'abondance de larves de taupins dans une parcelle. Cependant, les résultats obtenus permettent de mieux définir les conditions optimales pour la réalisation des tris de sol (Tableau 3). Ces conditions peuvent être différentes selon l'espèce de taupin en présence. Ainsi, la température moyenne sur les 6 jours qui précèdent le tri de sol semble avoir un impact sur le nombre de larves de taupins capturées de l'espèce *A. lineatus* dont les niveaux de captures sont plus élevés entre 20 et 23 °C. L'abondance de larves d'*A. sordidus* semble indépendante de la température. Le cumul de pluie sur cette même période ne semble pas influencer le niveau de capture quelle que soit l'espèce, même si les conditions plutôt froides et sèches semblent favoriser la présence de larves d'*A. sordidus* dans les tris de sol.

2. Influence des facteurs climatiques, agronomiques et environnementaux sur l'abondance des populations et les attaques par les larves de taupins

Un des principaux objectifs était de caractériser les situations à risques en fonction des critères liés au sol, aux conditions climatiques, à l'itinéraire technique, à l'environnement proche de la parcelle, aux

espèces de taupins présentes, etc... Pour satisfaire cet objectif, un important travail d'enquête parcellaire a été mis en œuvre par les partenaires du projet.

Dès 2011, une première année d'acquisition de référence a été réalisée sur quelques cultures afin d'initier les travaux et pour pouvoir proposer dès 2012, première année du projet, un protocole d'enquêtes parcellaires homogène et adapté aux principales grandes cultures concernées par les taupins (maïs, céréales à paille, pomme de terre). Pour la culture de betterave à sucre, les parcelles faisant l'objet de suivis appartenaient au réseau administré par l'ITB, les questionnaires n'ont pas fait l'objet de modification dans le but de préserver l'historique des informations. Les enquêtes parcellaires ont été poursuivies chaque année (2012, 2013, 2014). Au total, plus de 670 parcelles (environ 900 parcelles en comptant l'année 2011) ont fait l'objet d'une enquête très détaillée.

Les parcelles enquêtées étaient choisies sur signalement de problèmes liés à des dégâts de taupins de la part des techniciens ou agriculteurs. Dans le but d'avoir des parcelles présentant différents niveaux de risques (et d'augmenter la variabilité des réponses dans le jeu de données à analyser), les enquêteurs réalisaient également une enquête dans une ou deux autres parcelles situées à proximité de la parcelle ayant fait l'objet du signalement.

Ces questionnaires se décomposaient en deux parties : une partie commune à toutes les espèces comprenant des questions permettant de décrire la parcelle et l'itinéraire technique historique, une partie adaptée à la culture enquêtée et permettant de décrire l'itinéraire technique de la culture. L'enquêteur réalisait également des mesures de dégâts : estimation du taux de surface attaquée sur l'ensemble de la parcelle et mesure de l'intensité d'attaque sur 3 points positionnés aléatoirement dans la parcelle. Des mesures d'abondance de population larvaire ont été également effectuées sur ces mêmes points aléatoires grâce à des tris de sol (prélèvement d'un cube de terre de 20 cm de côté sur le rang de maïs) au moment de la quantification des dégâts. Une fois les larves dénombrées, un échantillon de 8 à 12 larves par parcelle était constitué et envoyé à un entomologiste pour identification des espèces.

Des prélèvements de sol pour analyses ont été réalisés pour la plupart des parcelles enquêtées sur les campagnes 2012, 2013 et 2014.

	Maïs	Céréales à paille	Graminées fourragères	Pommes de terre	Tournesol	Betterave	Maïs doux
2005	26						
2006	88	139	8				
2010	57						
2011	119	42	4	8		45	10
2012	222			56	6	45	
2013	44	10		8		45	
2014	189			4		45	
Total	745	191	12	76	6	180	10

Tableau 4 : Inventaire du nombre d'enquêtes parcellaires par culture

Les enquêtes parcellaires visant à identifier les pratiques favorables aux attaques de taupins ont essentiellement été conduites sur maïs dans l'ouest, le sud-ouest et l'est de la France. Ces résultats sont présentés de façon détaillée en analysant successivement deux variables à expliquer : l'abondance de larves (résultats issus des tris de sol) et l'intensité des attaques (résultats des comptages d'attaques dans la parcelle).

2.1. Comment les caractéristiques du sol influencent-elles l'abondance de larves des différentes espèces ?

L'analyse a été réalisée pour chacune des espèces en mettant en relation les données d'abondance et les principales caractéristiques physico-chimiques du sol (pH, matière organique, fraction granulométrique du sol).

2.1.1 Effet du pH

Les plus fortes abondances de larves de *A. lineatus* et de *A. sputator* ont été observées dans les sols les plus acides. L'effet du pH sur l'abondance d'*A. lineatus* est significatif. Pour cette espèce, très peu de larves étaient présentes dans les sols dont le pH était supérieur à 7,5. La tendance est la même pour les deux autres espèces à cycle long que sont *A. sputator* (moins de larves dans les sols dont le pH est supérieur à 6,5) et *A. obscurus* (pour laquelle les effectifs sont cependant très limités et dont les résultats doivent donc être pris avec une grande précaution).

Aucune relation n'a pu être mise en évidence entre l'abondance de larves d'*A. sordidus* et le pH. En effet, même si les plus fortes abondances de cette espèce ont été obtenues dans des sols dont le pH était compris entre 5,5 et 6,5, il semble que *A. sordidus* puisse être présent indépendamment du niveau de pH mesuré dans la parcelle.

2.1.2 Effet de la matière organique

L'abondance d'*A. sordidus* et d'*A. sputator* augmente significativement avec le taux de matière organique, même si ces espèces sont également présentes dans les sols dont le taux de matière organique est inférieur à 2%.

Pour les deux autres espèces, aucune relation significative n'a pu être mise en évidence entre l'abondance de larves et le taux de matière organique. Cependant, les résultats montrent une tendance similaire avec des populations plus abondantes lorsque la matière organique est supérieure à 2% pour *A. lineatus* et à 4% pour *A. obscurus*.

2.1.3 Effet de la texture du sol

Un faible taux d'argile dans le sol est favorable à une plus forte abondance de larves d'*A. lineatus* et *A. obscurus*. Lorsque le taux d'argile est supérieur à 15%, les populations semblent plus limitées pour ces deux espèces ainsi que pour *A. sputator*. Seule *A. sordidus* se distingue. Les larves de cette espèce sont peu présentes dans les sols pauvres en argile et demeurent bien présentes dans les sols dont le taux d'argile est supérieur à 15%.

Les sols limoneux sont réputés pour être plus favorables aux taupins. L'analyse des données d'enquête parcellaire ne permet pas de confirmer cette affinité entre ce ravageur et ce type de sol. En effet, s'il y a bien en moyenne plus de larves d'*A. sordidus* dans les sols les plus limoneux (taux de limons supérieurs à 60%), la relation n'est pas significative. La tendance est inversée pour *A. sputator* et *A. obscurus* qui sont en moyenne plus abondantes dans les sols moins limoneux. Pour *A. lineatus*, aucun lien ne se dégage entre l'abondance de larves et le taux de limons.

Les sols sableux sont favorables à l'abondance des larves de *A. lineatus*, d'*A. sputator* et, dans une moindre mesure, *A. obscurus*. Au contraire, *A. sordidus* est plus abondante dans les sols dont le taux de sables est plus faible. Un seuil de 15% de sable semble assez discriminant pour les quatre espèces étudiées.

Si la valeur de la caractéristique de sol indiquée ci-dessous augmente...	... l'abondance de larves de l'espèce...			
	<i>A. sordidus</i>	<i>A. lineatus</i>	<i>A. sputator</i>	<i>A. obscurus</i>
Limons	↗ (à partir de 60%)	→	↘ (à partir de 60%)	↘ (à partir de 45%)
Argile	↗ (10%)	↘ (10%)	↘ (10%)	↘ (10%)
Sables	↘ (15%)	↗ (15 puis 35%)	↗ (15%)	↗ (15%)
Matière organique	↗	↗ (2%)	↗ (2%)	↗ (4%)
pH	→ [5.5 – 6.5]	↘ (7.5)	↘ (6.5)	↘ (effectif limité)

↘ : diminue / ↗ : augmente / → : est stable.

Les flèches fines indiquent des tendances. Les flèches épaisses indiquent des effets significatifs.

La valeur indiquée entre parenthèses indique le seuil à partir duquel l'effet est observé.

Les valeurs indiquées entre crochets indiquent la plage au cours de laquelle l'abondance maximale a été observée.

Exemple : l'abondance d'*A. sordidus* est plus élevée dans les sols dont le taux de limons est supérieur à 60%.

Tableaux 5 : Influence des caractéristiques du sol sur l'abondance de population larvaire

2.2. Quels facteurs agri-environnementaux influencent l'intensité des attaques de taupins sur maïs ?

Deux variables ont fait l'objet d'une analyse de données : la proportion de la parcelle subissant des dégâts de taupins (« % de surface attaquée ») et le pourcentage de plantes attaquées (« % de plantes attaquées »).

Ces analyses ont été réalisées successivement avec des jeux de données évolutifs au cours du temps.

2.2.1 Pourcentage de la parcelle présentant des attaques de taupins [= surface attaquée]

Pour chaque parcelle enquêtée, la surface concernée par des attaques de taupins a été estimée. Les valeurs s'étendent de 0% (absence d'attaque dans la parcelle) à 100% (l'ensemble de la parcelle est concernée par des attaques de taupins).

Cette analyse a porté sur 341 parcelles enquêtées au cours des années 2011 et 2012.

Méthode pour l'analyse des données

Suite à la mise en œuvre de différents filtres permettant d'exclure les variables présentant trop de données manquantes ou trop corrélées, 15 variables explicatives ont été sélectionnées puis regroupées à dire d'expert en différentes catégories :

- les pratiques culturales (type de rotation, parcelle avec une prairie dans son historique, le travail du sol...),
- les caractéristiques du sol (texture, matière organique...),
- l'environnement proche de la parcelle (présence de prairie, culture, haie...),
- certaines variables susceptibles d'influencer la donnée observée ont également été introduites : l'intervalle semis-date d'observation, la protection insecticide appliquée au semis, l'année et le contexte géographique (segment défini par Arvalis).

L'analyse a consisté en une bêta-régression avec sélection des modèles par la méthode des forêts aléatoires. La méthode d'échantillonnage des parcelles n'étant pas totalement identique en 2011 et en 2012, l'analyse des données a porté séparément sur les deux années de collecte.

Principaux résultats

Les résultats des analyses montrent une forte corrélation positive entre la présence d'une prairie de longue durée dans l'historique de la parcelle et le niveau de dégâts observé.

Le nombre de travaux du sol au printemps (entre le mois de mars et le semis) a un effet différent selon l'année : un nombre élevé de préparation du sol augmente les attaques en 2011 alors que cela réduit les attaques en 2012. Cette interaction entre le nombre de travaux du sol et l'année suggère que le climat influence l'incidence du travail du sol sur le risque, avec peut-être en plus des interactions variables selon les espèces de taupins présentes dans la parcelle.

Certains facteurs influencent le risque uniquement sur les données acquises en 2012 (en faisant abstraction des données extrêmes correspondant à des situations complètement attaquées ou sans attaque) :

- le nombre de travaux du sol réalisés au cours de l'hiver (entre le mois de novembre et le mois de février) diminue les dégâts,
- la présence de cultures à proximité de la parcelle diminue les dégâts,
- la présence de prairie à proximité de la parcelle augmente les dégâts.

La présence de haies en bordure de parcelle semble avoir un effet ambigu selon les situations : la fréquence de parcelles attaquées semble augmenter avec la présence de haie, mais la surface attaquée serait plus limitée. La haie aurait un rôle double qui pourrait influencer aussi bien la présence des taupins que leurs ennemis naturels dans la parcelle.

2.2.2 Pourcentage de plantes attaquées par les taupins [= % Plantes attaquées]

Chaque parcelle enquêtée a fait l'objet de comptages de plantes présentes et de plantes attaquées afin de calculer le pourcentage de plantes attaquées. Ces mesures ont été réalisées dans 3 points de la parcelle puis une moyenne parcellaire a été calculée. Les valeurs s'étendent de 0% (absence d'attaque dans la zone mesurée) à 100% (toutes les plantes ont été blessées ou ont disparu suite à des attaques de taupins). Cette mesure est complémentaire de la mesure concernant la surface attaquée (une parcelle peut être attaquée sur une grande surface mais avec un faible nombre de plantes blessées ou disparues et inversement avec des zones très attaquées mais qui concernent une faible proportion de la surface).

L'analyse sur le pourcentage de plantes attaquées a été réalisée sur 336 parcelles de maïs enquêtées au cours des années 2012, 2013 et 2014.

Méthode

L'enquête parcellaire comportait de nombreuses variables descriptives concernant les pratiques culturales, les caractéristiques du sol, les éléments de description de l'environnement proche de la parcelle, les données climatiques (mesurées par des stations météorologiques situées à proximité des parcelles enquêtées), l'itinéraire technique de la parcelle avec notamment la protection insecticide mise en œuvre sur la culture de maïs.

L'intensité des attaques de taupins a été mesurée dans chacune des parcelles grâce à une visite réalisée en fin de période de sensibilité de la culture aux attaques de taupins dans les semaines qui ont suivi le semis (entre 7 et 10 semaines après le semis pour 50% des parcelles enquêtées).

Les données ont été analysées en utilisant une méthode de régression non linéaire qui s'appuie sur la théorie statistique de l'apprentissage.

Principaux résultats

Les variables qui influencent le plus fortement l'intensité des attaques de taupins sur maïs sont les conditions climatiques, les caractéristiques du sol, le système de culture de la parcelle et des éléments de l'environnement proche de la parcelle.

Variables climatiques :

Cinq variables climatiques influencent les intensités des attaques mesurées dans les parcelles (par ordre chronologique par rapport au dégât observé) :

- une température moyenne du sol froide entre 80 jours et 70 jours avant le semis augmente l'intensité des attaques,
- une température moyenne du sol froide au cours des 10 jours qui précèdent le semis puis au cours des 10 jours qui suivent le semis augmente l'intensité des attaques,
- une pluviométrie élevée entre 50 jours avant semis et la date de semis augmente les dégâts,
- une pluviométrie faible entre le semis et le stade 3 feuilles du maïs augmente le niveau de dégâts.

Les caractéristiques du sol :

- le pH ; avec des attaques plus intenses en situation de pH acide,
- la réserve utile (RU) du sol ; les sols à faible RU ou à forte RU sont peu favorables à de forts niveaux d'attaques de taupins alors que les sols dont la RU est comprise entre 70 et 170 mm seraient plus favorables à des attaques intenses,
- le taux de matière organique ; les sols plus riches en matière organique sont exposés à des niveaux d'attaques de taupins plus intenses.

Le système de culture :

- l'interculture ; la gestion de l'interculture (avec ou sans culture intermédiaire, avec ou sans repousse) a une faible incidence sur le niveau d'attaque. Cependant, l'introduction de ray-grass en interculture longue (prairie temporaire) augmente significativement le risque d'attaque par les taupins,
- le type de rotation ; la monoculture de maïs ou une rotation courte (deux cultures maximum au cours des 5 dernières années) sont peu favorables à des dégâts intenses de taupins. Les attaques sont plus intenses en situation de rotation longue (3 cultures ou plus au cours des 5 dernières années). La présence de prairie dans l'historique de la parcelle augmente considérablement le risque d'attaques.

Éléments liés à la parcelle et à son environnement proche :

De nombreuses variables descriptives ont été introduites dans l'analyse. Seuls deux facteurs semblent réellement influencer les intensités d'attaques observées, et dans des proportions assez limitées. Ces facteurs sont la présence de prairie à proximité de la parcelle ainsi que l'exposition :

- la présence de prairie dans une parcelle adjacente augmente le risque sur la parcelle étudiée,
- les parcelles exposées au nord ou à l'ouest présentent des niveaux d'attaques légèrement plus élevés que les autres parcelles.

Ces premières analyses sur les deux variables démontrent qu'il est complexe d'identifier et de hiérarchiser les facteurs agronomiques, environnementaux et pédoclimatiques susceptibles d'influencer le niveau des attaques par les taupins car beaucoup de facteurs interagissent. L'analyse des données se poursuit en recourant notamment à des méthodes statistiques complexes. L'objectif est à terme de

combiner les différentes analyses réalisées afin de proposer une grille de risques permettant aux acteurs du développement de mieux appréhender le risque d'attaques par les taupins.

3. Quelles sont les perspectives concernant les nouvelles stratégies de lutte contre les taupins ?

L'objectif est d'abaisser l'abondance des populations larvaires dans le sol. Deux stratégies ont fait l'objet de travaux d'expérimentation en plein champ ou au laboratoire :

- Modifier le système de cultures en privilégiant des techniques culturales défavorables aux populations de taupins. Un essai mis en place par Arvalis dans le sud-ouest de la France à partir de 2012 et pour une durée de 3 ans avait pour objectif d'évaluer l'évolution des attaques de taupins en fonction de la rotation des cultures. Les attaques de taupins étant de faibles intensités et hétérogènes dans la parcelle expérimentale, les résultats ne sont malheureusement pas exploitables.

L'analyse des enquêtes parcellaires permet de conforter certaines hypothèses et d'en définir de nouvelles qu'il conviendrait de tester au champ. Cela a permis de proposer en fin de projet un nouveau protocole expérimental intégrant une combinaison de méthodes prophylactiques. De nouvelles expérimentations pluriannuelles, spécifiquement ciblées pour lutter contre les taupins, pourront ainsi être mises en place à l'issue du projet par des partenaires (sous réserve).

- **Utiliser des substances ou organismes vivants ayant des propriétés répulsives, insecticides ou attractives** vis-à-vis des taupins. Parmi les pistes de travail ayant obtenu les résultats les plus prometteurs, il y a les nématodes entomopathogènes, les champignons entomopathogènes, les substances à base de glucosinolates et les stratégies basées sur l'écologie chimique. Ce sont ces résultats qui seront présentés dans la suite de cette partie.

3.1. *Nématodes entomopathogènes (NEPs)*

Les bio-essais réalisés en 2013 par l'UMR Dgimi / Inra ont révélé que certaines souches de NEPs du genre *Steinernema* étaient capables d'induire de 40% à 70% de mortalité chez des larves de taupins. Cependant, l'année suivante, des bio-essais avec les mêmes souches de NEPs n'ont permis d'obtenir que des taux de mortalité de l'ordre de 10%, témoignant de la difficulté de reproduire les résultats d'une année sur l'autre. Néanmoins, ces taux de mortalité très faibles étaient plus conformes à ceux décrits dans la littérature (Finney and Bennet, 1984; Ansari et al., 2009; Campos-Herrera and Gutierrez, 2009). Suite à ces résultats, il était nécessaire d'identifier les facteurs susceptibles de limiter le succès parasitaire des NEPs sur les larves de taupin. L'une des premières hypothèses émises concerne la barrière cuticulaire des larves de taupin qui empêcherait la pénétration des NEPs et donc le bon déroulement du cycle parasitaire. Pour s'affranchir de cette barrière cuticulaire, nous avons réalisé des tests d'injection directe dans les larves de taupin, soit de la bactérie seule, soit du complexe némato-bactérien. Bien que les tests d'injection aient révélé quelques problèmes liés à des mortalités parfois élevées des larves « témoin » induites par la simple piqure, nous avons cependant pu mettre en évidence que la souche bactérienne *Xenorhabdus nematophila* F1 (bactérie symbiotique du NEP *Steinernema carpocapsae*) était capable de se multiplier et de tuer efficacement l'insecte. La bactérie *Xenorhabdus* seule serait donc capable de contourner les barrières immunitaires de l'insecte. L'étape limitante semble donc bien la pénétration des NEPs dans les larves de taupins.

Ce constat nous a amené à adapter un nouveau protocole de bio-essais avec l'ajout d'un appât alimentaire imbibé de NEPs pour faciliter leur ingestion par les taupins. En parallèle, les larves de taupin ayant un comportement alimentaire actif ont été présélectionnées selon la méthode de Vernon et van Herk (2012). Les premiers bio-essais basés sur ce nouveau protocole standardisé sont prometteurs. Nous avons également montré que le complexe némato-bactérien *S. carpocapsae* / *X. nematophila* était capable de réaliser entièrement son cycle parasitaire dans la larve de taupin, avec la succession

des différents stades larvaires, la production d'adultes, et l'émergence *in fine* des stades infestants L3. Néanmoins le cycle parasitaire est lent, en comparaison avec le cycle parasitaire de *Steinernema carpocapsae* chez le modèle biologique *Galleria mellonella*.

En conclusion, l'intérêt potentiel de certains NEPs a été confirmé sur taupins. Les recherches doivent impérativement être poursuivies pour espérer augmenter l'efficacité dans le contrôle des taupins avec cette technique de lutte. Dans les priorités figure notamment une meilleure définition de la sensibilité de l'insecte aux NEPs en fonction de son stade développement. Côté NEPs, tous n'ont pas la même efficacité sur taupins et les résultats acquis sur d'autres espèces d'insectes ne sont pas transférables. Le criblage des NEPs doit donc être poursuivi sur larves de taupins.

3.2. Champignons entomopathogènes (CEPs)

De nombreux microorganismes sont naturellement présents dans le milieu naturel et sont susceptibles de provoquer des épizooties sur des arthropodes. Parmi ceux-ci, les champignons entomopathogènes ont depuis très longtemps intéressé les chercheurs pour les mycoses qu'ils peuvent transmettre aux ravageurs.

Une des espèces fréquemment observées est *Metarhizium anisopliae*, champignon responsable de la muscardine verte. Une souche de *Metarhizium anisopliae* est inscrite à l'annexe 1 et le produit commercial Met 52 Granulé est actuellement homologué pour la protection de certaines cultures contre l'otiorhynque et des thrips. De nombreux essais ont été réalisés dans le cadre du projet en France pour évaluer l'intérêt de cette souche pour la protection de grandes cultures et cultures légumières contre les attaques de taupins.

Dans la majorité des essais, le produit comportant *Metarhizium anisopliae* a été appliqué comme les produits insecticides conventionnels, c'est-à-dire au moment de la plantation ou du semis pour protéger la culture directement contre les dégâts occasionnés par les larves de taupins. Une synthèse des essais réalisés sur pomme de terre et sur maïs montre que les efficacités varient de 10 à 75%. D'une façon générale, l'efficacité de la protection de la culture varie très fortement selon :

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

Il est important de noter que l'efficacité du produit testé peut résulter de l'action du champignon entomopathogène d'une part et de l'effet attractif du support granulé d'autre part. En effet, l'application d'un support dépourvu de champignon entomopathogène a pu démontrer une certaine efficacité en réduisant les attaques sur la culture. Il est difficile de dissocier l'effet du champignon de l'effet du support dans la réduction globale des attaques dans ces essais.

Deux autres expérimentations ont poursuivi l'objectif de réduire les populations de taupins grâce à des apports répétés de champignons entomopathogènes dans le sol. Ce mode de protection indirecte des cultures – grâce à l'abaissement des populations – nécessite d'être évalué après plusieurs années d'expérimentation pérenne compte tenu de la durée du cycle de vie des taupins. Après 3 années d'essai, les résultats obtenus dans un site sont encourageants. Les travaux doivent être poursuivis dans le temps, si possible en multipliant les lieux d'essais.

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. Les travaux devront

être poursuivis pour approfondir les connaissances concernant la biologie de ces champignons, déterminer les conditions de pathogénicité maximale en fonction de la souche, du milieu (humidité, température, sol...) et de la cible (stade de développement du ravageur) afin que les champignons entomopathogènes deviennent un outil – à utiliser seul ou en combinaison – pour lutter contre les taupins.

3.3. *Les glucosinolates*

La biofumigation consiste à utiliser les propriétés répulsives et/ou insecticides des isothiocyanates, composés issus de la dégradation après hydrolyse des glucosinolates, molécules présentes dans certaines plantes notamment de la famille des brassicacées (crucifères). Des travaux ont été conduits pendant plusieurs années pour essayer de tirer des bénéfices des glucosinolates dans la lutte contre les taupins.

Un premier axe de recherche a consisté à produire des glucosinolates dans la parcelle grâce à des cultures intermédiaires (plantes de services) hivernales entre cultures de maïs. Ainsi, des cultures à base de radis fourrager, de moutarde brune et de moutarde blanche ont été implantées au même endroit pendant 3 années consécutives. Chaque année, les suivis ont consisté à mesurer les dégâts occasionnés par les taupins sur les maïs suivants et à mesurer l'évolution des populations larvaires grâce au piégeage. A l'issue des 3 années d'expérimentation, il n'est pas possible de mettre en évidence une diminution des dégâts sur plantes, ni une diminution des populations larvaires par rapport aux zones témoins n'ayant pas été couvertes par une culture intermédiaire. Il faut cependant relativiser ces résultats peu encourageants car il est connu que la réussite de la biofumigation requiert des conditions bien spécifiques (Furlan, 2010). La composition en glucosinolates varie fortement selon l'espèce, la variété et le stade de développement de la plante au moment de la destruction. Le choix d'une espèce appropriée (dont dépendront les isothiocyanates), la biomasse produite et la rapidité de l'enfouissement des résidus fins issus de plantes broyées sont des éléments déterminants pour l'efficacité de la biofumigation.

Pour contourner ces difficultés, un deuxième axe de recherche a consisté à évaluer l'intérêt de glucosinolates apportés directement dans la parcelle. Pour cela, des granulés composés de graines de moutarde d'Ethiopie (*Brassica carinata*) ont été incorporés au sol juste avant semis de maïs. Cela a permis de réduire significativement le nombre de plantes attaquées par les taupins avec une efficacité de l'ordre de 40% en moyenne sur 4 essais. L'efficacité était nettement meilleure lorsque l'application était suivie de pluie ce qui confirme que l'humidité est une condition nécessaire à la réussite de la transformation des glucosinolates en isothiocyanates.

Les résultats de ces travaux démontrent l'intérêt potentiel des glucosinolates dans la lutte contre les taupins. Cependant, de nombreux efforts doivent encore être fournis pour que cette technique puisse être utilisée au service de la protection des plantes contre les taupins. Il semble à ce jour qu'une production exogène de glucosinolates soit plus bénéfique d'un point de vue technique. Mais la production endogène, intégrée dans la rotation sur la parcelle, permettrait peut-être d'en limiter le coût.

3.4. *Détourner les larves de la plante cible grâce à l'écologie chimique*

Lutter contre un ravageur grâce à une stratégie associant une substance biocide et un appât existe depuis longtemps. C'est par exemple le cas pour lutter contre les dégâts de limaces. Des travaux ont été initiés pour adapter cette stratégie à la protection contre les taupins, il y a un peu plus de quinze ans. Cela a donné lieu à un produit commercialisé pendant plusieurs années en Allemagne notamment pour protéger avec succès les pommes de terre contre les attaques de taupins. La substance active de ce produit étant le fipronil (dont les usages agricoles ont été suspendus en France à partir de 2004), le développement technique n'a pu être réalisé dans notre pays.

Des essais ont cependant été mis en place par Arvalis pour explorer plus finement l'intérêt potentiel de la stratégie à base de granulés appâts associés ou non à une substance active insecticide pour essayer de détourner les larves de taupins de la plante cible.

Les essais montrent que l'application de ces granulés appâts permet de diminuer les dégâts sur plante cultivée. La diminution des attaques est encore plus probante lorsque les granulés sont éloignés spatialement de la zone à protéger comme c'est le cas lors d'une application en plein suivi d'une incorporation au sol juste avant le semis plutôt que lorsqu'ils sont appliqués avec les semences dans la ligne de semis. Grâce aux appâts, les attaques sur plantes sont esquivées.

Pour améliorer l'attraction des taupins, les granulés ont été remplacés par des graines de blé ou de maïs dont la germination attire les larves et les détourne des plantes à protéger. L'élimination des plantes ayant servi d'appâts se fait ensuite grâce à l'emploi d'un désherbant sélectif de la variété de maïs à conserver. La moyenne de trois années d'expérimentation montre qu'il est possible de réduire ainsi le taux d'attaques sur plantes avec une efficacité de l'ordre de 50%. C'est encore insuffisant mais cela prouve qu'il est possible de détourner les larves de taupins de la plante cultivée.

Pour aller plus loin, l'équipe de recherche de Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège (Belgique) a identifié des composés organiques volatils (COV) émis par les plantules d'orge et susceptibles d'attirer les larves de taupins. Parmi les nombreux COV identifiés, le 2-pentylfuran a démontré un rôle dans l'orientation des larves dans des tests en olfactomètre dans un support neutre (vermiculite). Cela confirme le potentiel rôle sémiochimique des COV. Les travaux ont ensuite été poursuivis pour tester un mélange de 4 autres COV. Les résultats montrent une attraction des larves de taupins lorsque les composés sont apportés à dose faible. En revanche, apporté à forte dose, ce mélange de composés semble répulsif. Cela prouve que le rôle des sémiochimiques est réel dans la relation entre la plante et la larve taupin, mais complexe.

De nombreux travaux doivent encore être mis en œuvre pour affiner cette stratégie de lutte : l'équilibre entre les différents composés du mélange et la dose doit encore être travaillé dans le sol, milieu de vie larvaire des taupins. L'objectif est de proposer à terme une méthode de lutte très innovante basée sur la modification du comportement des larves de taupins et non plus uniquement sur une stratégie insecticide.

Conclusion

La valorisation des données d'identification des larves de taupins - collectées avant et pendant le projet - a permis de décrire précisément la répartition des différentes espèces sur le territoire national et leur occurrence relative. L'analyse des données issues des nombreuses enquêtes parcellaires réalisées au cours du projet a permis de décrire les conditions climatiques et les caractéristiques de sol favorisant l'abondance des différentes espèces de taupins.

L'étude de la relation entre l'abondance de larves et l'intensité des dégâts observés sur maïs permet de constater que, pour un même niveau de population larvaire, les dégâts occasionnés par *Agriotes lineatus* et *Agriotes sordidus* semblent comparables.

L'analyse des nombreux facteurs susceptibles d'influencer les dégâts occasionnés à la culture de maïs est plus complexe. En effet, les nombreuses interactions entre les facteurs explicatifs nécessitent d'adopter des méthodes d'analyse spécifiques et de disposer de nombreuses données bien caractérisées. Les travaux d'analyse ont été concentrés sur la culture du maïs, culture bénéficiant d'un grand nombre de parcelles enquêtées, avec une grande variabilité dans les niveaux de dégâts observés et les itinéraires techniques mis en œuvre. Les effets de variables concernant le climat et les caractéristiques du sol ont pu être confirmés. Quelques nouveaux facteurs de risque concernant l'itinéraire technique et l'environnement proche de la parcelle (prairie, haie...) ont pu être mis en

évidence. Les enseignements demeurent cependant partiels, ce qui ne permet pas de proposer un modèle de prévision des risques qui soit robuste et adapté à toutes les cultures. L'importante base de données constituée doit encore faire l'objet d'un travail d'analyse approfondie puis d'une valorisation pour proposer à terme une grille de risque simplifiée aidant à la caractérisation des risques d'attaques du maïs par les taupins.

Les travaux d'enquêtes et d'analyses de données parcellaires permettent de faire progresser les connaissances concernant la biologie et le comportement des principales espèces de taupins. Ceux-ci sont utiles pour la mise en œuvre de techniques innovantes visant à abaisser les populations larvaires. Plusieurs stratégies de lutte ont été évaluées dans le cadre du projet et ont démontré un intérêt technique pour la protection des cultures contre ce ravageur. C'est notamment le cas pour les champignons entomopathogènes *Metarhizium anisopliae*. L'apport de ce champignon a démontré une efficacité dans les conditions de plein champ pour de nombreuses cultures. Les nématodes entomopathogènes ont fait l'objet d'évaluation en conditions contrôlées (par l'Inra Dgimi) avec des succès variables selon les espèces de nématodes testées. Les résultats sont néanmoins très encourageants et les travaux nécessitent d'être poursuivis. Les glucosinolates ont également démontré une efficacité au champ pour limiter les dégâts de taupins lors d'apports exogènes. Mais la production de glucosinolates au champ grâce à des cultures intermédiaires n'a pas permis d'atteindre la même efficacité.

Une autre voie explorée a consisté à évaluer l'intérêt d'utiliser des appâts dans le sol avec l'objectif d'attirer les larves et par conséquent d'esquiver une partie des attaques de taupins sur la culture à protéger. Cette technique, basée sur la dilution du risque, a obtenu des efficacités moyennes de l'ordre de 50%. Pour améliorer cette stratégie, des travaux de recherches conduits au laboratoire de l'Université de Liège – Gembloux Agro-Bio-Tech ont permis d'identifier des semiochimiques impliqués dans la relation entre les larves de taupins et une plante cible. L'utilisation de ces substances ouvre des perspectives pour disposer d'un moyen de lutte innovant. Mais les travaux scientifiques doivent être poursuivis pour que cette stratégie débouche sur un outil de protection.

Références bibliographiques

- Ansari M.A., Evans M., Butt T.M., 2009. Identification of pathogenic strains of entomopathogenic nematodes and fungi for wireworm control. *Crop protection* 28(3), 269-272.
- Barsics F., Delory B., Fauconnier M-L., Verheggen F., Thibord J.B., 2016. Taupins : à la découverte des odeurs de racines. *Phytoma* 694, 16-19
- Campos-Herrera R., Gutiérrez C., 2009. Screening Spanish isolates of steinernematid nematodes for use as biological control agents through laboratory and greenhouse microcosm studies. *Journal of invertebrate pathology* 100(2), 100-105.
- Finney J.R., Bennett G.F., 1984. *Heterorhabditis heliothidis*: a potential biocontrol agent of agricultural and forest pests in Newfoundland. *J. Agric. Entomol* 1(3), 287-295.
- Furlan L., Bonetto C., Finotto A., Lazzeri L., Malaguti L., Patalano G., Parker W., 2010. The efficacy of biofumigant meals and plants to control wireworm populations *Industrial Crops and Products* 31, 2, 245-254
- Larroudé P., Thibord J.B., Bonnisol S., 2015. Espèces de taupins : une cartographie est désormais disponible. *Perspectives agricoles* 427, 46-49
- Larroudé P., Thibord J.B., 2015. Vers la prévision des risques d'attaque. *Perspectives agricoles* 427, 50-52
- Saussure S., Plantegenest M., Thibord J.B., Larroudé P., Poggi S., 2015. Management of wireworm damage in maize fields using new, landscape-scale strategies. *Agronomy for Sustainable Development* 35(2), 793-802.

Thibord J. B., 2013. Protection des semis de maïs: Adapter le choix du produit aux ravageurs à cibler. Perspectives agricoles 396, 56-61

Thibord J.B., Larroudé P., Taupin P., Robin N., Quilliot E., 2015. Des protections actuelles limitées mais indispensables. Perspectives agricoles 427, 53-57

Thibord J.B., Larroudé P., Ogier J.C., Barsics F., 2015. Les nouvelles stratégies s'inspirent de la nature. Perspectives agricoles 427, 58-61

van Herk W.G., Vernon R.S., 2013. Wireworm damage to wheat seedlings: effect of temperature and wireworm state. Journal of Pest Science 86(1), 63-75.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

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 », la date de sa publication, et son URL)