



HAL
open science

Etat des lieux des connaissances sur les taupins (Coléoptères : Elatérédés) et des stratégies alternatives aux pesticides pour la gestion des dégâts

Ronan Le Cointe, Philippe Larroudé, Jean-Baptiste Thibord, Jörn Lehmus,
Jean Claude Ogier, Frédéric Mahéo, Michel Malet, Philippe Dolo, Bruno
Ngala, Manuel Plantegenest, et al.

► To cite this version:

Ronan Le Cointe, Philippe Larroudé, Jean-Baptiste Thibord, Jörn Lehmus, Jean Claude Ogier, et al.. Etat des lieux des connaissances sur les taupins (Coléoptères : Elatérédés) et des stratégies alternatives aux pesticides pour la gestion des dégâts. Innovations Agronomiques, 2023, 89, pp.78-90. 10.17180/ciag-2023-vol89-art07 . hal-04338839

HAL Id: hal-04338839

<https://hal.inrae.fr/hal-04338839v1>

Submitted on 12 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Etat des lieux des connaissances sur les taupins (Coléoptères : Elatériidés) et des stratégies alternatives aux pesticides pour la gestion des dégâts.

Le Cointe Ronan¹, Larroudé Philippe², Thibord Jean-Baptiste², Lehmus Jörn³, Ogier Jean-Claude⁴, Mahéo Frédéric¹, Malet Michel⁵, Dolo Philippe⁶, Ngala Bruno⁷, Plantegenest Manuel⁸, Joubert Salomé⁹, Mollet Amandine⁹ et Poggi Sylvain¹

¹ IGEPP, INRAE, Institut Agro, Univ Rennes, 35653, Le Rheu, France

² Arvalis Institut du Végétal, Agrosite 21 chemin de Pau, 64121 Montardon, France

³ Julius Kühn Institute - Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany

⁴ INRAE, UMR 1333 DGIMI, Université Montpellier - 34095 Montpellier

⁵ Midi Agro Consultant, Ingénieur Conseil - La Souyrinie - 12850 ONET LE CHATEAU, France

⁶ BRETAGNE PLANTS INNOVATION - 471, lieu-dit La Gare - 29460 HANVEC

⁷ Inov3PT, Rue de Champs Potez, 62217 Achicourt, France

⁸ IGEPP, INRAE, Institut Agro, Univ Rennes, 35000, Rennes, France

⁹ FREDON Hauts-de-France - 265, rue Becquerel - 62750 Loos-En-Gohelle

Correspondance : ronan.le-cointe@inrae.fr

Résumé

Alors que de nombreuses cultures subissent chaque année des attaques de larves de taupins (Coléoptères : Elatériidés), les connaissances sur leur biologie restent encore fragmentaires et limitées à quelques espèces. L'acquisition de connaissances sur la biologie et les dynamiques de populations de taupins, l'amélioration des méthodes d'évaluation du risque de dégâts et le développement de stratégies de protection durables constituent des défis scientifiques, techniques et économiques urgents à relever. En Europe, les dégâts sont principalement attribués au genre *Agriotes*, comme en témoigne la bibliographie qui leur est quasi-exclusivement dédiée. Très rares sont les études s'intéressant aux autres genres d'elatériidés dont le comportement alimentaire serait pour certains carnivore, détritvire pour d'autres et inconnu pour beaucoup. Cet article présente donc une synthèse des connaissances actuelles sur les taupins, plus particulièrement du genre *Agriotes* et des stratégies alternatives à l'usage de pesticides pour la gestion de leurs dégâts. Après un état des lieux des connaissances sur les taupins, nous abordons la prévision du risque, étape importante avant l'implantation d'une culture sensible comme le maïs ou la pomme de terre, les leviers d'action pour limiter les infestations et les stratégies pour limiter les dégâts.

Mots-clés : taupin, protection intégrée des cultures, prévision du risque, biocontrôle.

Abstract - State of knowledge on wireworms (Coleoptera: Elateridae) and alternative strategies to pesticides for damage management.

While many crops are attacked each year by wireworms (Coleoptera: Elateridae), knowledge on their biology is still fragmentary and limited to a few species. The acquisition of knowledge on the biology and

population dynamics of wireworms, the improvement of damage risk assessment methods and the development of sustainable protection strategies are urgent scientific, technical and economic challenges. In Europe, damage is mainly attributed to the genus *Agriotes*, as shown by the bibliography that is almost exclusively dedicated to them. Very few studies have been carried out on the other genera of elateridae, some of which are carnivorous, others detritivorous and many of which are unknown. This article presents a synthesis of the current knowledge on wireworms, more particularly on the genus *Agriotes*, and alternative strategies to pesticides for the management of their damage. After an overview of the current knowledge on wireworms, we discuss risk forecasting, an important step before planting a sensitive crop such as corn or potato, action levers to limit infestations and strategies to limit damage.

Keywords: wireworm, integrated crop protection, risk prediction, biocontrol.

1. Etat des lieux des connaissances sur les taupins

Les larves de taupins (Coléoptères : Elatéridés) sont considérées par les entomologistes du début du 20^e siècle comme faisant partie des ravageurs les plus nuisibles aux grandes cultures. Plusieurs décennies d'applications d'insecticides à large spectre ont par la suite permis de maîtriser ces ravageurs. Mais cette situation a conduit à une perte de conscience générale du potentiel de nuisibilité des larves de taupins du genre *Agriotes* et à un ralentissement des recherches consacrées à l'étude de leur biologie et de leur écologie pendant près de 40 ans. Depuis une vingtaine d'années, avec le retrait progressif de produits phytosanitaires dont ceux de la famille des néonicotinoïdes, les risques de dégâts dus aux larves de taupins redeviennent une préoccupation majeure du monde agricole. Malgré une intensification des travaux de recherche au cours de la dernière décennie, la connaissance de la biologie et de l'écologie des taupins ainsi que la compréhension des facteurs qui gouvernent leur nuisibilité, restent encore fragmentaires et limitées à quelques espèces. L'acquisition de connaissances sur la biologie et les dynamiques de populations de taupins, l'amélioration des méthodes d'évaluation du risque de dégâts et le développement de stratégies de protection durable constituent des défis scientifiques et techniques.

1.1. Description des taupins

Les taupins sont des insectes coléoptères de la famille des élatéridés. Cette famille, remarquable par son homogénéité, compte plus de 9000 espèces dans le monde (Barsics *et al.* 2013; Traugott *et al.* 2015) dont certaines, fort voisines d'un point de vue morphologique, sont souvent très difficiles à distinguer. En France, on compte environ 200 espèces réparties dans 15 sous-familles (Leseigneur 1972). Le cycle de développement des taupins est principalement endogé : alors que la durée de vie des adultes n'est que de quelques mois, les larves, elles, passent plusieurs années dans le sol pour les espèces terricoles. Concernant la durée du cycle, la bibliographie reporte des valeurs comprises entre 2 et 11 ans selon les espèces mais les références sont généralement très anciennes et non vérifiées, voire inexistantes pour beaucoup d'espèces (Barsics *et al.* 2013). Chez les taupins, l'imago est de forme élancée et mesure entre 3 et 20 mm selon les espèces. Cependant, on reconnaît surtout les coléoptères de cette famille grâce à leur capacité saltatoire, c'est-à-dire la faculté, lorsqu'ils sont sur le dos, de se détendre brusquement avec un "clic" audible pour se retourner (d'où le nom « click beetle » en anglais). Ce comportement est spécifique des élatéridés et se révèle être un mécanisme de défense très efficace. En termes d'alimentation, les adultes ne sont pas considérés comme ravageurs puisqu'ils se nourrissent essentiellement de nectar et de pollen.



Figure 1. *Agriotes lineatus* (crédit : INRAE).

Les larves sont le plus souvent de forme allongée, cylindrique, de couleur jaune et à la cuticule souvent très sclérifiée d'où leur surnom de « vers fil-de-fer » (et « wireworm » en anglais). D'un point de vue morphologique, on distingue les larves des différents genres grâce à la forme du dernier segment abdominal (Figure 2).

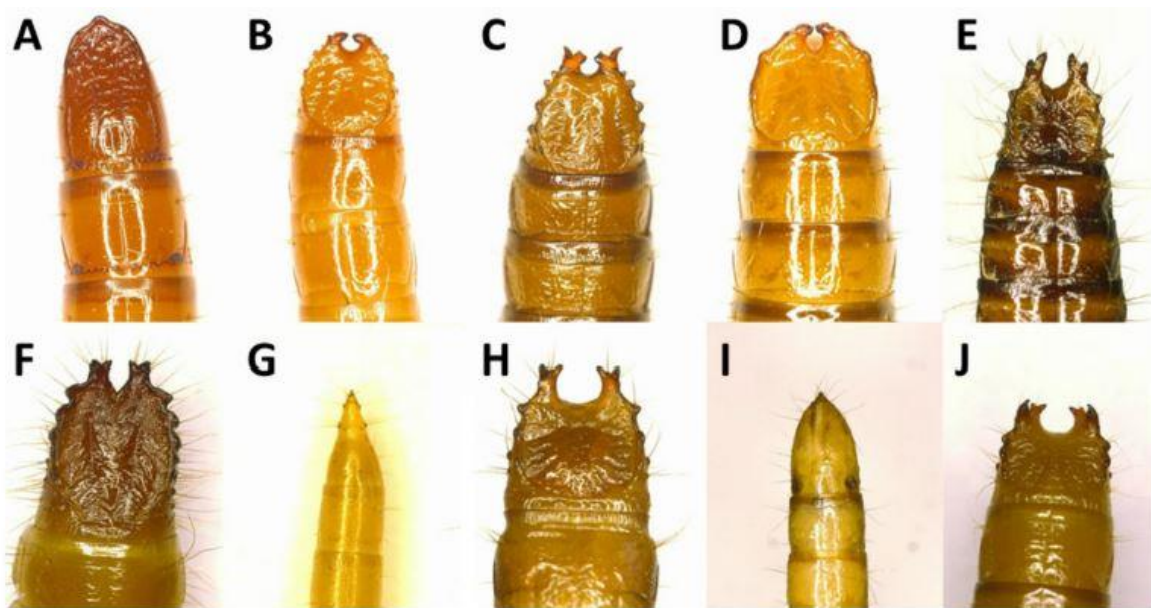


Figure 2. Identification du genre en fonction du dernier segment abdominal. (A) *Melanotus*, (B) *Cidnopus*, (C) *Athous*, (D) *Cidnopus*, (E) *Prosternon*, (F) *Agrypnus*, (G) *Adrastus*, (H) *Hemicrepidius*, (I) *Agriotes*, et (J) *Selatosomus* (crédit : JKI).

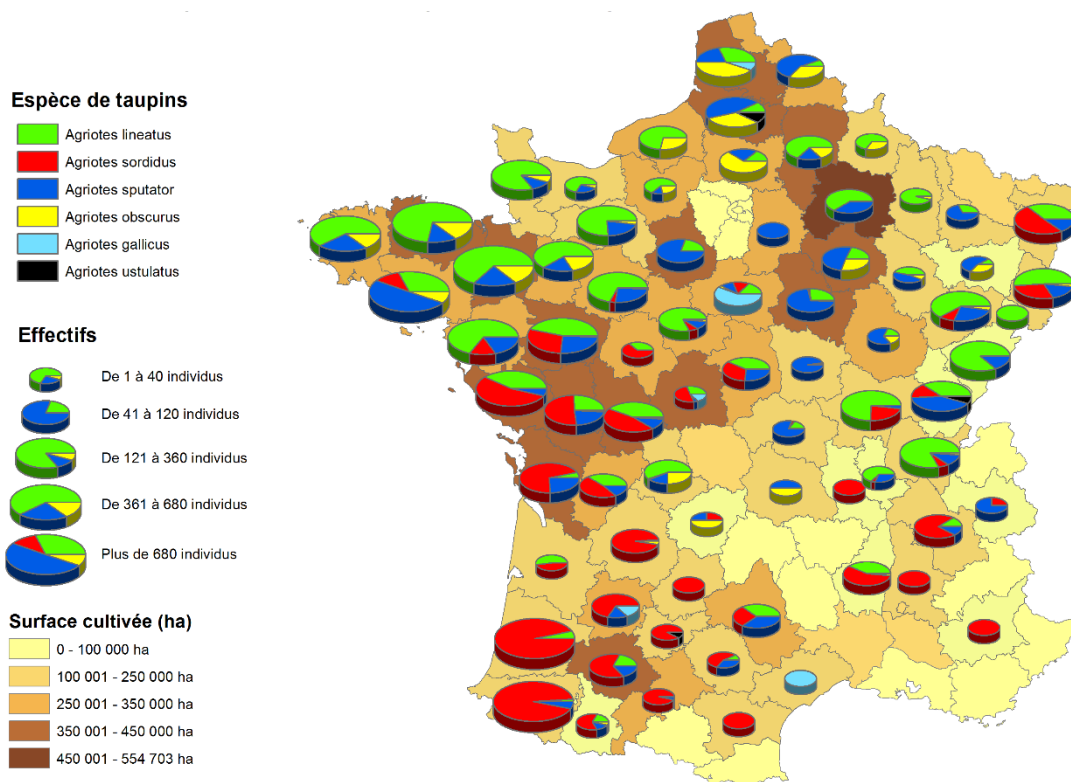
1.2. Répartition des espèces du genre *Agriotes* en France et importance de leur identification

En France, l'essentiel des dégâts causés est principalement dû à quatre espèces du genre *Agriotes* : *A. sordidus*, *A. lineatus*, *A. obscurus* et *A. sputator* (Larroude, 2015). Les résultats d'un suivi mené par ARVALIS, INRAE et BAYER (Larroude 2015), intégrant 1202 parcelles entre 2005 et 2014 et l'identification de 11 794 larves montrent qu'*Agriotes lineatus* (Figure 3) 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 identifiée plus rarement (6,7 %).



Figure 3. Le dernier segment abdominal de forme ogivale (Photo B) est spécifique aux larves du genre *Agriotes* (photo A).

Concernant leur répartition géographique, les espèces *Agriotes lineatus* et *Agriotes sputator* sont présentes sur l'ensemble du territoire et majoritaires au nord d'une ligne Lyon – Nantes. L'espèce *Agriotes sordidus* est présente au sud d'une ligne allant du sud de la Bretagne jusqu'à l'Alsace et souvent majoritaire 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 (Figure 4).

Figure 4. Répartition des principales espèces de taupins du genre *Agriotes* capturées en France sur parcelles de maïs entre 2005 et 2014 (1 202 parcelles échantillonnées, 11 794 larves identifiées).

Un problème récurrent concernant les taupins est la présence de plusieurs espèces en mélange sur un même site. Récemment, Lehmus et Niepold (2015) ont montré les limites des caractères morphologiques décrits par Coquempot et al. (1999) et Klausnitzer (1994). Ceci est problématique car leur cycle biologique, leur nuisibilité mais également leur sensibilité aux organismes de biocontrôle pourraient potentiellement différer (Furlan 1996, 2004). De plus, la sensibilité des plantes varie selon l'espèce cultivée, le stade et les conditions de cultures. Tous ces facteurs de variation peuvent expliquer

pourquoi il est parfois difficile de lier les niveaux d'infestation avec les dégâts. L'utilisation des outils d'identification moléculaire est donc actuellement préférable (Staudacher et al. 2010; Pic et al. 2011; Mahéo et al. 2020). Des études récentes menées au Canada ont également mis en évidence l'existence d'espèces cryptiques (Benefer et al. 2013; Andrews et al. 2020) et soulignent l'importance des outils moléculaires pour l'étude des populations de taupins.

1.3. Le régime alimentaire des larves et les dégâts observés

Les larves de taupins sont le plus souvent des herbivores généralistes, se nourrissant des espèces végétales les plus abondantes dans leur habitat (Sonnemann *et al.* 2012). Elles peuvent aussi se nourrir de proies animales (Traugott *et al.* 2008). Sur la photo ci-dessous (Figure 5), on observe une larve d'*Agriotes sordidus*, espèce très commune dans le sud de l'Europe, se nourrissant sur une pupa. Les larves de taupins peuvent aussi être cannibales lorsque la densité larvaire est trop élevée par rapport aux ressources alimentaires disponibles (Evans and Gough 1942; Samoylova and Tiunov 2017). Mais ce régime alimentaire est variable selon les espèces (Traugott *et al.* 2008) et les conditions climatiques. Samoylova et Tiunov (2017) ont montré que les larves d'*A. obscurus* dans la steppe russe pouvait passer d'un régime herbivore lorsque le sol était humide en hiver à un régime carnivore en été lorsque le sol devient sec. En conditions d'élevage, il n'est pas rare d'observer du cannibalisme entre larves.



Figure 5. Larve d'*Agriotes sordidus* se nourrissant sur une pupa (crédit : JKI).

Les larves de taupins du genre *Agriotes* n'en restent pas moins phytophages et peuvent infliger d'importants dégâts à de nombreuses cultures. Elles sont considérées, dès la fin du 19^{ème} siècle, comme les ravageurs les plus nuisibles aux grandes cultures (Balachowski and Mesnil 1935) à une époque où l'arsenal chimique développé dans le courant des années 1960 n'était pas encore disponible. Les dégâts sont d'autant plus importants que la densité de plantes est plus faible. Ainsi, on observe une plus grande nuisibilité des taupins pour les cultures dites « sarclées » (maïs, sorgho, betteraves) et certaines productions légumières comme la laitue qui n'ont pas comme les céréales la possibilité de compenser les pertes de peuplement par le tallage. Ainsi sur maïs, les taupins sont les ravageurs causant le plus de dommages en France. Une attaque précoce de taupins entraîne la mort des pieds attaqués et peut conduire à l'abandon de la culture si celle-ci est intense et généralisée sur la parcelle.



Figure 6. Dégâts dus aux larves de taupins. A gauche, symptômes de flétrissement sur plantules de maïs (crédit : Arvalis) et à droite, dégâts sur pomme de terre (crédit : JKI).

Sur pomme de terre, les larves de taupins dégradent les récoltes par leurs piqûres ou galeries creusées dans les tubercules. Elles causent un nombre croissant de déclassements, de refus de lots et de réclamations en France et à l'export avec des répercussions économiques conséquentes. Les dégâts dus aux larves de taupins en production de pomme de terre représentaient en 2016 un préjudice financier d'environ 650 000€. Cette situation s'aggrave d'année en année (source : Innov3PT).

2. Evaluer le risque taupin

L'évaluation du risque est la première étape avant l'implantation d'une culture sensible comme le maïs ou la pomme de terre. Elle repose sur *i*) l'évaluation des facteurs favorisant la colonisation des parcelles par les populations de taupins et *ii*) la compréhension des facteurs influençant les risques d'attaques sur la plante cultivée.

2.1. Surveiller les populations larvaires et définir des seuils de nuisibilité

Deux méthodes existent pour quantifier la population larvaire de taupins : *i*) le tri de sol manuel et *ii*) la pose de pièges attractifs dans le sol. La première technique consiste donc à prélever un volume de terre de 20x20x20 cm³, à trier à la main pour récupérer les éventuelles larves de taupins présentes. La seconde méthode consiste à enterrer des pièges attractifs à 10 cm de profondeur dans le sol. Ce sont des pots de 10 cm de diamètre, troués pour permettre la pénétration des larves. L'intérieur des pièges est rempli d'un mélange de graines de maïs et de blé en germination entre deux couches de vermiculite. Le CO₂ dégagé par les graines en germination attire les larves présentes autour du pot. Ils sont laissés au minimum 7 jours dans le sol ; la durée optimale permettant de réduire la variabilité des captures étant 14 jours (Chabert 1993). Cette technique permet d'obtenir un nombre de répliques plus important et, dans certaines situations, de déterminer si le nombre de larves de taupins atteint un seuil de nuisibilité. A titre d'exemple, Furlan a établi les seuils de nuisibilité sur maïs pour les espèces présentes en Italie (Furlan 2014). Ces seuils sont de 2.5 larves par piège à appât pour *Agriotes brevis* (espèce présente dans le sud de l'Europe notamment en Italie, Autriche, Slovaquie) et de 5 larves par piège pour *Agriotes sordidus*. Chabert et Blot (1992) situaient quant à eux à 0.5 larve par piège à appât le seuil sur maïs pour le genre *Agriotes* (sans préciser l'espèce). Mais il reste encore beaucoup d'incertitude dans le processus d'échantillonnage des larves de taupins avec ces pièges attractifs dont l'efficacité peut varier en fonction de la température du sol et des espèces présentes (Thibord et al. 2017). Le nombre d'individus capturés semble plus élevé avec des pièges attractifs lorsque l'espèce dominante est *A. sordidus*, comparés à des tris de sol. L'effet inverse tend à être observé pour *A. lineatus*. Le nombre de pièges à disposer par parcelle pour estimer les populations larvaires dépend également de la sensibilité de la culture et de la précision recherchée.

Par exemple, pour détecter un niveau de 0.5 larve par piège, 14 pièges peuvent suffire pour une surface de 1000 m² si on admet une erreur relative de 40 % sur cette moyenne. En dessous de ce nombre, on risque de diagnostiquer l'absence alors que l'effort d'échantillonnage n'est pas suffisant (Chabert 1993). Sur pomme de terre, il est encore très difficile de mettre en relation le nombre de larves capturées avant la plantation avec les dégâts à la récolte. Horton (2006) a montré que des dégâts significatifs pouvaient être observés alors qu'aucune larve n'avait été capturée à l'aide de piège attractif.

2.2. Identifier les facteurs de risques de dégâts sur culture de maïs

Un travail original a été entrepris par INRAE et ARVALIS depuis 2010, visant à établir et hiérarchiser les principaux facteurs de risques d'attaques de taupins sur maïs. Ce travail s'est appuyé sur l'analyse d'enquêtes intégrant les niveaux d'infestation dans les parcelles considérées, les conditions climatiques, les caractéristiques du sol, les pratiques culturales, l'historique et l'environnement de la parcelle. La relation entre les variables explicatives potentielles listées précédemment et le niveau d'attaques de taupins a été établie au moyen d'un algorithme d'apprentissage supervisé. Un indicateur de l'influence (INF) de chacune des variables explicatives sur le niveau d'attaques de taupins est produit par le modèle. Compris entre 0 et 100 %, il permet de hiérarchiser les facteurs de risque d'attaques. La présence de larves de taupins observées dans le sol lors de la quantification des dégâts sur plantes est la variable influençant le plus le niveau d'attaques (INF=12 %). Les conditions climatiques, incluant les températures du sol mais aussi les précipitations avant et pendant la période de semis, influencent significativement le risque de dégâts causés par les taupins. Les résultats ont confirmé que, sur une période de 10 jours avant et après le semis, des températures du sol supérieures à 12°C (seuil précédemment identifié par Jung *et al.* 2014) conduisent à une diminution remarquable des dégâts de 36 % à 20 %. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que des conditions thermiques favorables à la croissance du maïs raccourcissent sa période de sensibilité aux attaques de taupins (du semis au stade 8-10 feuilles). Le pH du sol est un facteur explicatif prépondérant (INF=10 %), le niveau de dégâts décroît très substantiellement lorsque le pH évolue de 5.4 à 6.4. La richesse en matière organique du sol, sa texture et sa capacité de rétention en eau présentent un impact plus modeste. Concernant l'historique de la parcelle, la nature de l'interculture et le type de rotation présentent les influences relatives prépondérantes (respectivement 6,9 % et 2,4 %). La présence d'une prairie, habitat favorable aux populations de taupins, dans l'historique de la parcelle mais aussi dans son contexte paysager, s'accompagne d'un niveau accru d'attaques. À noter que parmi les trente-sept variables explicatives étudiées, la protection des semis – présente dans près de 60 % des parcelles – ne figure pas dans l'ensemble des variables cumulant 95 % de l'influence totale sur le niveau de dégâts.

2.3. Vers des outils d'aide à la décision pour la prévision des niveaux d'infestation

Jusqu'à présent, un nombre limité de modèles ont été développés pour la prévision des niveaux d'infestation. À notre connaissance, l'application web VFF-QC développée et utilisée au Québec (<https://cerom.qc.ca/vffqc/>) est le seul système d'aide à la décision couramment appliqué pour l'évaluation du risque lié au ver fil-de-fer. Basé sur un algorithme d'apprentissage supervisé ajusté sur des données collectées au Québec, le modèle évalue le niveau de risque d'infestation des vers fil-de-fer (faible, modéré ou élevé) et détermine si la parcelle cible a atteint un seuil de nuisibilité. Dans une étude récente (Roche *et al.* 2023), INRAE et ARVALIS ont développé un outil d'aide à la décision permettant de prédire l'abondance des larves de taupins au sein de parcelles de maïs. L'approche repose sur une modélisation originale qui tient compte des connaissances actuelles sur la biologie des taupins mais aussi de

l'incertitude dans le processus d'échantillonnage, plutôt que de s'appuyer uniquement sur des corrélations statistiques pour prédire les niveaux d'infestation. Le modèle a été calibré et validé à l'aide de données issues d'enquêtes sur trois années consécutives (2012-2014) en France, recensant les niveaux d'infestations dans 419 parcelles de maïs, et caractérisant différents facteurs tels que le contexte paysager, l'historique du champ, les conditions météorologiques, les caractéristiques du sol et les pratiques agricoles associées à chaque parcelle. Le modèle montre une capacité de prédiction de l'abondance de larves satisfaisante et se présente sous la forme d'une application R Shiny pour prédire le risque d'infestation dans une parcelle d'intérêt.

3. Abaisser les populations larvaires de taupins

3.1. Rotation et travail du sol

Dans la littérature, les prairies sont considérées comme des sources pour les populations de taupins. Toutefois, comme l'ont montré Parker and Howard (2001), des cas d'infestations importantes par les taupins dans des champs cultivés sont observables aussi bien dans des paysages comportant des prairies que dans des paysages composés uniquement de terres arables. Horton (2006) note que la parcelle la plus infestée n'a jamais été cultivée en prairie. Cela met en évidence que les populations de taupins n'ont pas forcément besoin de prairies, que ce soit dans le paysage ou l'historique parcellaire, pour se développer. Des publications récentes (Larroude 2015; Le Cointe *et al.* 2020) ont mis en évidence un impact du travail du sol sur les niveaux de population larvaire. Le cycle de vie des espèces du genre *Agriotes* durant plusieurs années et se déroulant en grande partie dans le sol, le travail du sol peut avoir un impact sur plusieurs de leurs traits d'histoire de vie. Le labour peut notamment avoir des effets directs, comme la destruction mécanique des stades les plus fragiles (œufs, juvéniles, nymphes), ou des effets indirects, en remontant les larves à la surface, les rendant vulnérables à la dessiccation ou à la prédation par les oiseaux notamment.

3.2. Régulation biologique

Même si les larves de taupins peuvent être la proie de prédateurs généralistes comme les carabes, ces organismes ne représentent pas, pour l'instant, un levier d'action. Actuellement, les agents de régulation biologique ayant obtenu les résultats les plus prometteurs sont les nématodes et les champignons entomopathogènes.

a) Les nématodes entomopathogènes

Les nématodes entomopathogènes (NEPs) des genres *Steinernema* et *Heterorhabditis* sont des vers ronds microscopiques (de 300 µm à 1,2 mm), naturellement présents dans les sols, et parasites de nombreux insectes, nuisibles notamment (Lacey *et al.* 2015). Ces nématodes vivent en symbiose avec des bactéries de la famille des Morganellaceae (*Xenorhabdus* spp. et *Photorhabdus* spp.). Ces dernières sont hébergées dans le tube digestif des nématodes au stade juvénile infectieux et jouent un rôle clé dans le succès parasitaire (Nielsen-LeRoux *et al.* 2012). Le cycle biologique des NEPs est décrit dans la figure ci-dessous (Figure 7).

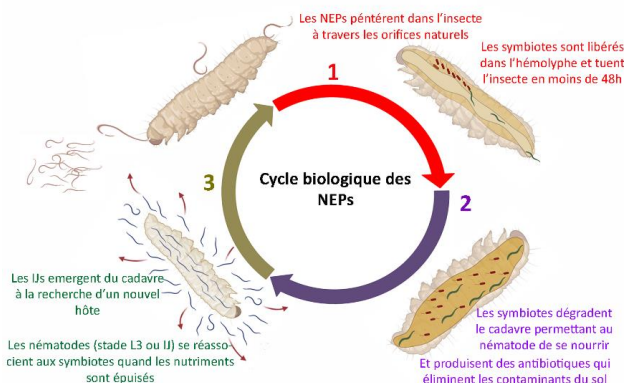


Figure 7. Cycle biologique des nématodes entomopathogènes (NEPs) (crédit : INRAE).

Les performances insecticides des NEPs envers les larves de taupins semblent dépendantes des espèces de NEPs. Par exemple, les espèces *Heterorhabditis bacteriophora* et *Steinernema carpocapsae* sont plus efficaces que *Steinernema feltiae* (Ansari et al. 2009). Ansari et al. (2009) ont également mis en évidence des différences considérables dans la mortalité d'*Agriotes lineatus* causée par différentes espèces de NEPs et même par différentes souches d'une même espèce de NEP (de 0 à 67 % de mortalité). Plus récemment, dans le cadre du projet Ecophyto Pro-Bio-taupin (2016-2018), le laboratoire DGIMI de Montpellier a évalué, dans des conditions de laboratoire, l'entomopathogénicité vis-à-vis d'*A. sordidus* d'une vingtaine de souches de NEPs appartenant à cinq espèces différentes (*Steinernema feltiae*, *S. carpocapsae*, *S. affine*, *S. boemarei* et *Heterorhabditis bacteriophora*), ainsi que l'entomopathogénicité de leurs bactéries symbiotiques seules (*Xenorhabdus* spp. et *Photorhabdus* spp.). Les faibles performances insecticides des complexes nématobactériens confirment que les larves de taupins sont plutôt récalcitrantes au parasitisme par les NEPs. Cependant, le criblage des bactéries symbiotiques a montré pour la première fois qu'une bactérie du genre *Xenorhabdus* est entomopathogène envers les larves de taupin, ouvrant ainsi des perspectives prometteuses pour le biocontrôle de ce ravageur.

Une piste de recherche : optimiser l'efficacité au champ de la lutte biologique par conservation (Projet OPTI-NEPs)

L'efficacité des NEPs au champ est souvent faible et dépend de nombreux facteurs biotiques (espèces de nématodes, taux d'application) et abiotiques (dessiccation et UV). Ainsi, plutôt que d'introduire dans un sol des NEPs exogènes non adaptés, le projet Opti-NEPs a pour objectif d'identifier les facteurs de succès des NEPs indigènes dans un contexte écologique donné (en fonction de la diversité biologique et physico-chimique de sols, des modes de cultures, du ravageur ciblé, etc.), pour pouvoir déterminer et agir prioritairement sur les paramètres clés qui optimiseront leur efficacité comme méthode de biocontrôle. Par opposition à la lutte biologique par augmentation, le projet OPTI-NEPs s'intègre dans une démarche de lutte biologique par conservation, qui favorise la présence et la persistance d'auxiliaires de culture indigènes dans les espaces agricoles. Ce projet s'inscrit donc dans le développement de méthodes agro-écologiques fondées sur la régulation biologique naturelle des sols.

b) Les champignons entomopathogènes

Les champignons entomopathogènes comme *Beauveria bassiana* (Cordicipitaceae) et surtout *Metarhizium anisopliae* (Clavicipitaceae), champignon responsable de la muscardine verte, sont reconnus comme pathogènes des larves de taupins depuis près d'un siècle (Hyslop 1915) et les mécanismes impliqués dans le processus d'infection sont décrits en détail concernant les taupins (Leger et al. 1991). Mais si les *Metarhizium* sont connus comme agents pathogènes sur plus de 8 ordres d'insectes, les résultats concernant les larves de taupins sont en revanche très variables et espèce-dépendants. Eckard et al. (2014) ont mis en évidence que la souche BIPESCO 5/F52, isolée sur carpocapse et seule souche actuellement commercialisée en Europe (spécialité commerciale MET 52 GR) présentait des efficacités de l'ordre de 50 % sur *A. sputator* mais de seulement 30 % sur *A. obscurus* et de 10 % sur *A. lineatus*. Dans cette étude, deux autres souches, isolées sur taupins, montrent de meilleures efficacités mais également des interactions suivant les espèces cibles. Ces résultats montrent bien l'importance de connaître les espèces de taupins présentes dans les parcelles.

En France, la souche MET 52 GR a fait l'objet de nombreux essais pour évaluer son intérêt pour la protection de grandes cultures et des cultures légumières contre les attaques de taupins (Thibord et al. 2017). L'efficacité de la protection de la culture est en moyenne de 50 % même si celle-ci 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 étant souvent plus pertinente qu'une application localisée autour de la plante), les conditions climatiques après application (des conditions humides et chaudes favorisent l'efficacité 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.

4. Stratégies pour éviter ou limiter les dégâts

4.1. *Optimisation des dates de semis et de récolte*

Sur maïs, il est parfois recommandé de retarder la date de semis en cas de risque de forte infestation par des larves de taupins, car des températures du sol plus élevées permettent aux plantules de se développer plus rapidement, diminuant ainsi la période de sensibilité de la culture aux attaques (du semis au stade 8-10 feuilles). Dans leurs modèles de régression, Saussure *et al.* (2015) n'ont pas identifié la date de semis comme une variable prépondérante pour expliquer les dégâts. Poggi *et al.* (2018) ont cependant mis en évidence que la température du sol à la date de semis du maïs influence les dégâts. En production de pommes de terre, des études récentes en Allemagne et en Italie ont montré qu'une récolte précoce peut réduire les dommages aux tubercules (Neuhoff *et al.* 2007; Furlan *et al.* 2010).

4.2. *Couverts « compagnons » ou stratégie « appâts » : nourrir les larves pour limiter les attaques sur maïs*

Des travaux menés par ARVALIS au cours des années ont permis de quantifier le gain obtenu avec ces stratégies sur culture de maïs. Une réduction des dégâts de l'ordre de 50 % a été obtenue en utilisant des semences de blé et de maïs appliquées sur la totalité de la parcelle à protéger. Incorporées dans les 10-15 premiers centimètres au moment du semis de la culture de vente, ces plantes appâts sont ensuite détruites par un désherbant sélectif au stade 4 feuilles du maïs pour éviter la concurrence. Staudacher (2013) a obtenu des résultats du même ordre sur culture de maïs en associant blé, haricot, lupin, moutarde blanche, ray-grass anglais et sarrasin. Cette technique nécessite encore quelques adaptations pour tendre vers une efficacité supérieure et un développement en parcelles d'agriculteurs.

5. Conclusion : améliorer les connaissances sur la biologie et l'écologie des taupins

La mise en œuvre de stratégies efficaces de protection intégrée des cultures nécessite une connaissance approfondie de la biologie et de l'écologie des ravageurs. Or, malgré de récentes avancées dans la connaissance de la biologie et l'écologie des taupins, de nombreuses lacunes subsistent pour la mise en place d'une protection intégrée des cultures permettant de faire face aux dégâts causés par les larves de taupins sur différentes cultures d'intérêt économique.

Les dégâts dus aux larves de taupins résultent souvent de l'interaction entre l'abondance des larves et la sensibilité de la plante hôte sous certaines contraintes abiotiques (température et humidité du sol au semis ou à la récolte). La relation entre la densité larvaire et les dégâts est encore inconnue pour la plupart des espèces de taupins présentes en France, ce qui empêche l'établissement de seuils de nuisibilité fiables. Les stratégies de protection des cultures doivent prendre en compte ces deux composantes pour contenir les dégâts en dessous d'un seuil acceptable.

Les connaissances sur le comportement des imagos restent très fragmentaires, notamment concernant leur dispersion (distance, orientation) ou leur choix de site de ponte. Certaines études (Blackshaw and Hicks 2013; Blackshaw *et al.* 2018) soulignent que les adultes du genre *Agriotes* présentent une plus grande capacité de dispersion que celle communément admise. Par ailleurs la structure spatiale des populations de taupins du genre *Agriotes* présente une certaine stabilité temporelle suggérant que des études à l'échelle du paysage peuvent être menées (Blackshaw and Vernon 2008). Des travaux de recherche académique restent à mener pour mieux comprendre les processus de colonisation des parcelles et pour évaluer les risques d'attaque à de multiples échelles, de la parcelle au paysage.

Les facteurs abiotiques et biotiques du sol qui défavorisent la survie et le développement des larves doivent être précisés afin d'identifier d'éventuels sols suppressifs (c'est-à-dire qui maintiennent les populations de taupins à de faibles niveaux par des processus naturels de régulation biologique). Cela nécessiterait principalement d'évaluer les principales causes naturelles de la mortalité larvaire, y compris le parasitisme et la prédation.

Quelques résultats préliminaires posent également la question de la tolérance variétale dont les travaux de recherches sont initiés depuis peu de temps (sur maïs et pomme de terre).

Enfin, le recours aux appâts apparaît comme un nouveau levier pour protéger le maïs contre les larves de 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 également de décliner la stratégie sur d'autres cultures particulièrement sensibles comme la pomme de terre.

Remerciements : Les auteurs remercient SEMAE pour le financement du projet TAUPINLAND, et CASDAR pour le financement du projet TAUPIC.

Références bibliographiques

- Andrews K.R., Gerritsen A., Rashed A., et al., 2020. Wireworm (Coleoptera: Elateridae) genomic analysis reveals putative cryptic species, population structure, and adaptation to pest control. *Communications Biology* 3:489. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01169-9>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.11.003>
- Balachowski A., Mesnil L., 1935. Les taupins. In: Tome I "Les insectes nuisibles aux plantes cultivées," Balachowski A. Paris, pp 754–787
- Barsics F., Haubruge E., Verheggen F., 2013. Wireworms' Management: An Overview of the Existing Methods, with Particular Regards to *Agriotes* spp. (Coleoptera: Elateridae). *Insects* 4:117–152. <https://doi.org/10.3390/insects4010117>
- Benefer C.M., van Herk W.G., Ellis J.S., et al., 2013. The molecular identification and genetic diversity of economically important wireworm species (Coleoptera: Elateridae) in Canada. *Journal of Pest Science* 86:19–27. <https://doi.org/10.1007/s10340-012-0454-x>
- Blackshaw R.P., Hicks H., 2013. Distribution of adult stages of soil insect pests across an agricultural landscape. *Journal of Pest Science* 86:53–62. <https://doi.org/10.1007/s10340-012-0413-6>
- Blackshaw R.P., van Herk W.G., Vernon R.S., 2018. Determination of *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elateridae) sex pheromone attraction range using target male behavioural responses. *Agricultural and Forest Entomology* 20:228–233. <https://doi.org/10.1111/afe.12249>

- Blackshaw R.P., Vernon R.S., 2008. Spatial relationships between two *Agriotes* click-beetle species and wireworms in agricultural fields. *Agricultural and Forest Entomology* 10:1–11. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2007.00351.x>
- Chabert A., 1993. Les taupins : vers une prévision du risque. *ACTA Point* 1–25
- Chabert A., Blot Y., 1992. Estimation des populations larvaires de taupins par un piège attractif. *Phytoma* 436:26–30
- Coquempot C., Martinez M., Courbon R., et al., 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: ANPP—5ème conférence internationale sur les ravageurs en agriculture. ANPP, Montpellier, p pp 477–486
- Eckard S., Ansari M.A., Bacher S., et al., 2014. Virulence of in vivo and in vitro produced conidia of *Metarhizium brunneum* strains for control of wireworms. *Crop Protection* 64:137–142. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.017>
- Evans A.C., Gough H.C., 1942. Observations on some factors influencing growth in wireworms of the genus *Agriotes* Esch. *Annals of Applied Biology* 29:168–175. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1942.tb07584.x>
- Furlan L., 2004. The biology of *Agriotes sordidus* Illiger (Col., Elateridae). *Journal of Applied Entomology* 128:696–706. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2004.00914.x>
- Furlan L., 1996. The biology of *Agriotes ustulatus* Schaller (Col., Elateridae). I. Adults and oviposition. *Journal of Applied Entomology* 120:269–274. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1996.tb01605.x>
- Furlan L., 2014. IPM thresholds for *Agriotes* wireworm species in maize in Southern Europe. *Journal of Pest Science* 87:. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0583-5>
- Furlan L., Bonetto C., Finotto A., et al., 2010. The efficacy of biofumigant meals and plants to control wireworm populations. *Industrial Crops and Products* 31:245–254. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.10.012>
- Horton D.R., 2006. Quantitative relationship between potato tuber damage and counts of Pacific coast wireworm (Coleoptera: Elateridae) in baits: seasonal effects. *Journal of the Entomological Society of British Columbia* 103:37–48
- Hyslop J.A., 1915. *Wireworms Attacking Cereal and Forage Crops*. Washington, D.C. : U.S. Dept. of Agriculture, no.156
- Klausnitzer B., 1994. Elateridae. In: Klausnitzer, B. (Ed.): *Die Käfer Mitteleuropas, Larven2* (L2): Myxophaga, Polyphaga1. Krefeld, Goecke & Evers, Klausnitzer, B. (Ed.): Krefeld, Goecke & Evers, pp 118–189
- Lacey L.A., Grzywacz D., Shapiro-Ilan D.I., et al., 2015. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology* 132:1–41. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.009>
- Larroude P., 2015. Espèces de taupins : une cartographie est désormais disponible. *Perspectives Agricoles* 427:46–49
- Le Cointe R., Girault Y., Morvan T., et al., 2020. Feeding pests as an IPM strategy: wireworms in conservation agriculture as case study. *Entomological Society of America (ESA) International Branch Virtual Symposium. Sharing Insect Science Globally*. <https://hal.inrae.fr/hal-02566016>
- Leger R.J.S., Goettel M., Roberts D.W., Staples R.C., 1991. Prepenetration events during infection of host cuticle by *Metarhizium anisopliae*. *Journal of Invertebrate Pathology* 58:168–179. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(91\)90061-T](https://doi.org/10.1016/0022-2011(91)90061-T)
- Lehmhus J., Niepold F., 2015. Identification of *Agriotes* wireworms – Are they always what they appear to be? *Journal fur Kulturpflanzen* 67:129–138. <https://doi.org/10.5073/JFK.2015.04.03>
- Leseigneur L., 1972. Coléoptères Elateridae de la faune de France continentale et de Corse., Société linnéenne de Lyon
- Mahéo F., Lehmhus J., Larroude P., Le Cointe R., 2020. Un outil moléculaire simple et abordable pour identifier les larves de taupins du genre *Agriotes*. *Le Cahier des Techniques de l'Inra*

Neuhoff D., Christen Paffrath A., Schepl U., 2007. Approaches to wireworm control in organic potato production. IOBC/wprs, pp 65–68

Nielsen-LeRoux C., Gaudriault S., Ramarao N., et al., 2012. How the insect pathogen bacteria *Bacillus thuringiensis* and *Xenorhabdus/Photorhabdus* occupy their hosts. *Current Opinion in Microbiology* 15:220–231. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2012.04.006>

Parker W.E., Howard J.J., 2001. The biology and management of wireworms (*Agriotes* spp.) on potato with particular reference to the U.K. *Agricultural and Forest Entomology* 3:85–98. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2001.00094.x>

Pic M., Pierre E., Martinez M., et al., 2011. Les taupins du genre *Agriotes* démasqués par leurs empreintes génétiques. In: 9. Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture. Association Française de Protection des Plantes (AFPP). FRA., Montpellier, France

Poggi S., Le Cointe R., Riou J-B., et al., 2018. Relative influence of climate and agroenvironmental factors on wireworm damage risk in maize crops. *Journal of Pest Science* 91:585–599. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-0951-7>

Roche J., Plantegenest M., Larroudé P., et al., 2023. A decision support system based on Bayesian modelling for pest management: Application to wireworm risk assessment in maize fields. *Smart Agricultural Technology* 4:100162. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100162>

Samoylova E.S., Tiunov A.V., 2017. Flexible trophic position of polyphagous wireworms (Coleoptera, Elateridae): A stable isotope study in the steppe belt of Russia. *Applied Soil Ecology* 121:74–81. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.026>

Saussure S., Plantegenest M., Thibord J-B., et al., 2015. Management of wireworm damage in maize fields using new, landscape-scale strategies. *Agronomy for Sustainable Development* 35:793–802. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0279-5>

Sonnemann I., Baumhaker H., Wurst S., 2012. Species specific responses of common grassland plants to a generalist root herbivore (*Agriotes* spp. larvae). *Basic and Applied Ecology* 13:579–586. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.09.010>

Staudacher K., Pitterl P., Furlan L., et al., 2010. PCR-based species identification of *Agriotes* larvae. *Bulletin of entomological research* 101:201–10. <https://doi.org/10.1017/S0007485310000337>

Thibord J-B., Larroude P., Chabert A., et al., 2017. Prévision des risques et élaboration de nouvelles techniques de lutte pour la protection des cultures contre les attaques de taupins. *Innovations Agronomiques* 55:215–233. <https://doi.org/10.15454/1.5137781155320183E12>

Traugott M., Benefer C.M., Blackshaw R.P., et al., 2015. Biology, Ecology, and Control of Elaterid Beetles in Agricultural Land. *Annual Review of Entomology* 60:313–334. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-021035>

Traugott M., Schallhart N., Kaufmann R., Juen A., 2008. The feeding ecology of elaterid larvae in Central European arable land: New perspectives based on naturally occurring stable isotopes. *Soil Biology & Biochemistry* 40:342–349. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.08.013>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations Agronomiques* et son DOI, la date de publication.