

Taupins sur maïs : importance relative des facteurs de risque

Conditions climatiques, pratiques agronomiques et environnement : quels impacts peuvent-ils avoir sur le risque taupins en culture de maïs ?

SYLVAIN POGGI*, **RONAN LE COINTE***, **JEAN-BAPTISTE RIOU****, **PHILIPPE LARROUDÉ****, **JEAN-BAPTISTE THIBORD****
ET MANUEL PLANTEGENEST* *** *Igepp, Inra, Agrocampus Ouest, université de Rennes 1 - Le Rheu. **Arvalis-Institut du végétal - Montardon.
 ***Igepp, Agrocampus Ouest, Inra, université de Rennes 1 - Rennes.

Dans un contexte réglementaire visant à réduire l'usage des produits phytopharmaceutiques, la protection intégrée des cultures passe par le développement d'outils de prévision du risque associés à la mise en œuvre d'une combinaison de techniques pour limiter l'exposition aux bioagresseurs.

Il est donc nécessaire de comprendre les facteurs agronomiques et environnementaux déterminant les situations dans lesquelles des dégâts sont observés afin d'estimer préventivement le risque d'attaque. C'est précisément ce que nous avons recherché à propos des attaques de taupins en culture de maïs.

Contexte et enjeux

Les taupins, ces bioagresseurs qui ne se maîtrisent qu'en « préventif »

Parmi les bioagresseurs de cette culture, les ravageurs souterrains constituent une menace contre laquelle il reste difficile de la protéger⁽¹⁾. Les taupins, coléoptères élatéridés dont les quatre principales espèces appartiennent au genre *Agriotes* (*A. lineatus*, *A. sordidus*, *A. sputator* et *A. obscurus*), sont à l'origine de pertes économiques importantes. Or, il n'existe pas à ce jour de méthode de lutte curative efficace permettant d'endiguer une attaque de taupins lorsque celle-ci est déclarée. Par conséquent, la protection du maïs repose sur la mise en œuvre de méthodes préventives, incluant l'utilisation de produits phytosanitaires en traitement préventif lors du semis.

Un travail original a été entrepris par l'Inra et Arvalis depuis 2010 visant à établir et hiérarchiser les principaux facteurs de risques d'attaques de taupins sur maïs, avec l'ambition de proposer un modèle de prévision des risques utile pour le raisonnement de la protection des cultures (Saussure *et al.*, 2015 ; Poggi *et al.*, 2018).

Méthodologie de l'étude

Des parcelles d'agriculteurs étudiées

Ce travail s'est appuyé sur l'analyse des résultats d'enquêtes réalisées dans 336 parcelles d'agriculteurs suivies sur la période 2012-2014, dans l'ouest de la France (Bretagne, Pays de la Loire, Nouvelle Aqu-



1



2

1. Larves de taupin observées au cours des enquêtes parcellaires. La présence de larves de taupins permet de confirmer le diagnostic et d'identifier les espèces responsables des dégâts observés.

2. Taupin adulte.

(1) Dossier Phytoma n° 714, mai 2018.

RÉSUMÉ

► **CONTEXTE** - Les ravageurs souterrains, notamment les taupins (genre *Agriotes*), sont des bioagresseurs contre lesquels seule la protection préventive est efficace. De ce fait, la réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques exige des moyens de prévision des risques pour ne traiter qu'en cas de besoin.

► **TRAVAIL** - Une étude sur les taupins en culture de maïs a été menée conjointement par l'Inra et Arvalis. Elle est basée sur une enquête réalisée sur 336 parcelles d'agriculteurs, pour lesquelles les dégâts de taupins ont été mis en regard de différentes variables.

taine, Ouest Occitanie) et en Rhône-Alpes (Figure 1 page suivante). Elles faisaient partie de 631 enquêtes réalisées sur le période 2010-2014, mais, le protocole ayant évolué au fil des ans, l'analyse des données n'a pas pu être réalisée sur les 295 parcelles suivies sur la période 2010-2011.

Une partie de ces 336 parcelles a été sélectionnée à la suite du signalement de dommages occasionnés par des taupins. Puis d'autres parcelles, situées dans la même exploitation et à proximité des parcelles signalées pour leurs dégâts de taupins, ont également été enquêtées.

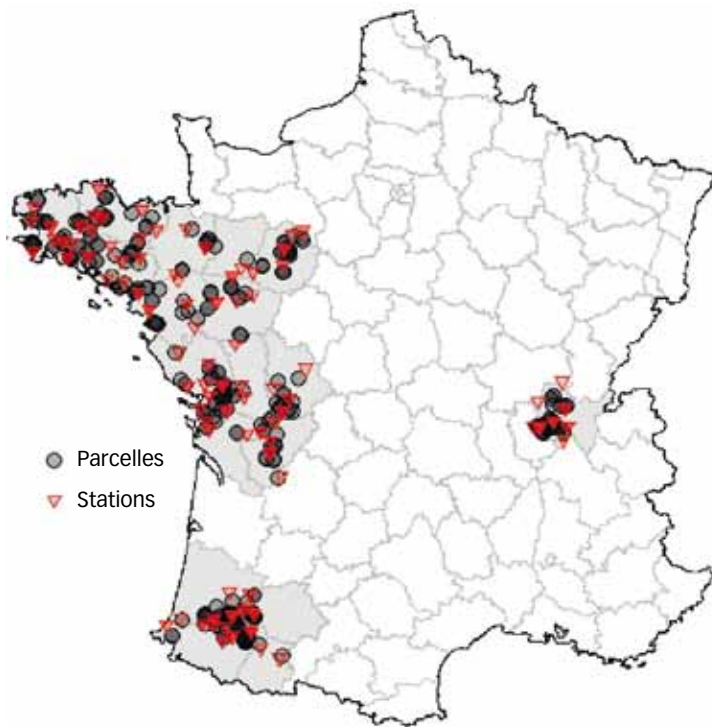
Ce mode d'échantillonnage avait pour objectif d'augmenter la variabilité des niveaux d'attaques mesurés

► **RÉSULTATS** - De l'analyse de données, il ressort l'influence, par ordre décroissant d'importance, des niveaux d'infestation initiaux des parcelles suivies des conditions climatiques lors du semis, puis de la nature des sols, ensuite de l'historique de la parcelle, des aspects de son environnement et des pratiques culturales. Ces résultats sont un premier pas permettant d'envisager l'élaboration d'un modèle de prévision. Des travaux complémentaires sont nécessaires.

► **MOTS-CLÉS** - Maïs, taupins, *Agriotes* spp., OAD (outil d'aide à la décision), modèle de prévision des risques.

Fig. 1 : Travail en grandeur réelle sur parcelles d'agriculteurs

Localisation des parcelles enquêtées (327 parcelles géoréférencées sur 336) et des stations météorologiques consultées.



et d'identifier l'influence de facteurs agronomiques et environnementaux dans des conditions climatiques comparables.

Six catégories de variables mesurées

Le niveau d'attaques de taupins a été mesuré dans chaque parcelle à partir de quarante jours après le semis en comparant les nombres de plantes présentes et de plantes attaquées sur des transects de 10 mètres répartis aléatoirement dans trois zones au nombre de plantes présentes dans une zone de la parcelle non affectée par des attaques de taupins et considérée comme un témoin sain.

Toutes les parcelles ont fait l'objet d'une description fine selon des variables qui peuvent être regroupées en six catégories :

- niveaux d'infestation ; abondance de larves mesurée en trois endroits pris au hasard dans la parcelle et l'identification des espèces présentes ;
- conditions climatiques ; la température et la pluviométrie journalière de 94 stations météorologiques situées à proximité des parcelles enquêtées ont été recueillies ; la température du sol à 10 cm de profondeur a été estimée à l'aide d'un modèle proposé par Arvalis ; les données de chaque station ont été agrégées afin de proposer différentes variables dont les plus pertinentes ont été sélectionnées pour la suite de l'analyse ;
- caractéristiques du sol ; texture, pH et taux de matière organique ont été déterminés par analyse du sol pour chaque parcelle ; la profondeur du sol et la sensibilité au stress hydrique de la parcelle ont été estimées ;

- pratiques culturales ; l'agriculteur a renseigné l'itinéraire technique complet (date de semis, fertilisation starter - présence/absence, dose -, nombre de passages et profondeur du travail du sol, chaulage, apport d'effluents organiques, etc.), que les pratiques aient ou non *a priori* une incidence directe sur le ravageur ; le recours à une protection insecticide et la nature du produit éventuel utilisé ont également été notés ;
- historique de la parcelle ; chaque parcelle a été caractérisée en fonction de la présence ou de l'absence de prairie dans la rotation et du type de rotation (quatre catégories définies selon le nombre de cultures rencontrées au cours des cinq dernières années), et de la gestion de l'interculture juste avant la culture du maïs ;
- environnement de la parcelle ; l'environnement proche pouvant être une source potentielle d'infestation de taupins au stade imago, la présence dans le voisinage de chaque parcelle d'autres cultures, de prairies, de haies, etc., a été quantifiée.

Analyse des données

La relation entre les variables explicatives potentielles listées précédemment et le niveau d'attaques de taupins a été étudiée au moyen de méthodes statistiques avancées (algorithmes d'apprentissage supervisé, détails dans Poggi *et al.*, 2018). Un modèle a ainsi été ajusté permettant de relier le niveau des dégâts causés par les attaques de taupins sur les parcelles suivies et les valeurs prises par les variables considérées et leurs interactions, dans le but de prédire le niveau d'attaques sur de nouvelles parcelles.

L'objectif est *in fine* de proposer un outil d'aide à la décision permettant d'apprécier préventivement le risque de dégâts. Parmi les sorties d'intérêt du modèle figurent l'estimation de l'importance relative de chacune des variables, et l'effet marginal de chaque variable sur le niveau d'attaques.

Résultats globaux

Performance du modèle

Le modèle statistique a été ajusté pour minimiser l'erreur de prédiction du niveau d'attaques de taupins. Le modèle retenu présente une erreur de prédiction moyenne qui s'élève à 19% sur l'estimation du niveau d'attaques absolu (compris entre 0 et 100%).

Ceci peut être perçu dans un premier temps comme une performance modérée, mais s'avère satisfaisant vu les nombreuses sources d'erreur ou d'incertitude associées à l'enquête (processus aléatoire d'observation des dégâts, erreurs de mesure, etc.).

De plus, une relation linéaire très significative est mise en évidence entre les valeurs de dégâts prédites et observées (coefficient de détermination $R^2 = 0,93$). Ainsi, bien que les prédictions soient biaisées en valeur absolue, elles s'avèrent fortement corrélées aux observations, et ceci de façon linéaire. De ce fait, le modèle peut être considéré comme approprié pour quantifier le risque d'attaques.

Influences relatives et effets des variables explicatives

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. Nous présentons ici les principaux résultats obtenus, et suggérons la lecture de l'article Poggi *et al.* (2018) pour un exposé exhaustif.

Des dégâts liés aux niveaux d'infestations

Sans surprise, la présence de larves de taupin observées dans le sol lors de la quantification des dégâts sur plantes est la variable influençant le plus le niveau d'attaques (INF = 12%).

Dans 54% des parcelles enquêtées, les prélèvements de sol ont mis en évidence la présence de larves, identifiées comme faisant partie des quatre principales espèces du genre *Agriotes* nuisibles aux cultures : *A. sordidus*, *A. lineatus*, *A. sputator* et *A. obscurus*. Aucune différence de nuisibilité entre espèces de taupins n'a pu être mise en évidence dans notre étude.

Conditions climatiques lors du semis : un facteur explicatif très important

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 par les taupins. Nos résultats ont confirmé que, sur une période de dix 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 10/12 feuilles).

Les conditions climatiques du sol déterminent le comportement migratoire des larves de taupins et leur régime alimentaire. Les larves se protègent des conditions climatiques qui leur sont défavorables dans l'horizon profond du sol (au-delà de 30 cm de profondeur) et cessent totalement ou partiellement de s'alimenter. Dans notre étude, nous mettons en évidence une augmentation du niveau d'attaques associée à l'augmentation du niveau moyen de précipitations dans les cinquante jours précédant le semis. En résumé, les conditions relativement froides et/ou relativement humides du sol sont favorables à de plus fortes attaques de taupins sur maïs.

Influence de la nature du sol

Les caractéristiques du sol considérées dans le modèle influencent notablement le niveau d'attaques et comptent dans leur ensemble pour 20% de l'influence totale.

Le pH du sol est un facteur explicatif prépondérant du niveau d'attaques de taupins (INF = 10%). Globalement, les sols basiques sont défavorables aux attaques. Plus précisément, dans la gamme de valeurs étudiée (4,8-8,5), le niveau de dégâts décroît très substantiellement lorsque le pH évolue de 5,4 à 6,4 (effet insignifiant au-delà de 6,4). La richesse en matière organique du sol, sa texture et sa capacité de rétention en eau présentent un impact plus modeste.

Historique et pratiques culturelles sur la parcelle, et environnement

Concernant les différents descripteurs de 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.

Parmi les modalités d'interculture étudiées, la présence d'une culture intermédiaire courte ou un sol maintenu nu (signifiant un travail du sol minimum) dans la période précédant le semis de maïs diminue le niveau de risque par rapport aux parcelles où il y a eu des repousses ou, de façon bien plus significative, une prairie temporaire de ray-grass (de plus de 18 mois). Certaines pratiques agricoles, dans les systèmes de culture rencontrés par cette étude, peuvent éventuellement agir sur le niveau d'attaques, mais dans une moindre mesure en comparaison avec les autres catégories de variables explicatives évoquées précédemment. Ainsi, la

date de semis, l'usage d'engrais starter et l'apport de chaux ou d'effluents organiques dans la parcelle apparaissent comme des facteurs ayant une très faible influence sur le risque.

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 les variables qui représentent 95% de l'influence totale du risque.

Évaluation du niveau de risque d'attaques de taupins

Construction d'un modèle prédictif

Un objectif à terme de ce travail est de produire un outil de prévision du risque d'attaques de taupins. Le modèle prédictif, construit sur le jeu de données issues de notre enquête, est utilisé pour discriminer les

Plantule de maïs présentant des symptômes caractéristiques à la suite d'une morsure du collet par une larve de taupin.

Un sol froid et humide favorise les attaques de taupins.





Photo : Pixabay

Une prochaine étape consistera à tester et valider le modèle prédictif sur des parcelles qui n'ont pas été considérées dans la phase d'ajustement du modèle.

parcelles présentant des attaques inférieures à 15 % de plantes attaquées, niveau pouvant être considéré comme faible, de celles de plus de 15 % de plantes attaquées, niveau pouvant être considéré comme fort. Le modèle de discrimination offre de bonnes propriétés en termes de sensibilité (probabilité de détecter une parcelle à fort niveau d'attaques) et de spécificité (probabilité de correctement identifier une parcelle à faible risque).

En effet, sur les 336 parcelles étudiées, nous dénombrons douze cas de faux négatifs ($\approx 3,5\%$; parcelles à risque élevé prédites à tort comme à risque faible) et vingt-cinq cas de faux positifs ($\approx 7,5\%$; parcelles à risque faible prédites à tort à risque élevé), soit 11 % d'erreur de classification.

Un premier pas vers la prévision

Un jalon posé

Prévoir les dégâts causés aux cultures par les larves de taupin est une tâche ambitieuse et difficile étant donné les nombreux processus biologiques et écologiques impliqués, et leurs interactions complexes. En appliquant à une base de données substantielle, rassemblant les informations issues de 336 parcelles de maïs suivies sur trois années, un modèle statistique d'apprentissage supervisé, nos travaux posent un premier jalon sur le chemin de l'élaboration d'un outil de prévision du risque d'attaques de taupins. Mais des améliorations restent nécessaires.

Il faudra d'abord sélectionner les variables explicatives sur la base du compromis entre pertinence, facilité d'accès et précision de la mesure, afin de produire un outil simple et robuste.

Une étape cruciale consistera ensuite à tester et valider le modèle prédictif sur de nouvelles données, à savoir pour des parcelles qui n'ont pas été considérées dans la phase d'ajustement du modèle.

Coûts associés, systèmes de culture variés

Des développements complémentaires concernent la prise en compte des coûts associés aux prévisions du modèle. Aux différentes issues possibles de la classi-

fication des parcelles (c'est le cas des vrais positifs ou vrais négatifs, et des faux positifs ou faux négatifs) correspondent en effet différents coûts, dépendant principalement de l'impact économique des pertes de rendement causées par les bioagresseurs et du coût des solutions de contrôle.

Dans le contexte de la gestion des ravageurs des cultures, il convient de réduire le nombre de faux négatifs car ce sont les plus pénalisants en termes économiques. En effet, l'impact économique des dégâts excède généralement fortement le coût de la protection.

Une analyse des bénéfices associés aux décisions, basée sur les coûts réels de contrôle des ravageurs et des pertes de rendement causés par les dégâts, apparaît essentielle. Il semble également pertinent d'étendre progressivement cette étude à des parcelles conduites selon des systèmes de culture plus contrastés.

Dissocier deux caractéristiques

Plus fondamentalement, les dégâts occasionnés par les taupins résultent de deux caractéristiques principales :

- les conditions climatiques qui régissent la migration verticale des larves et la vulnérabilité de la culture ;
- les niveaux d'abondance du ravageur, principalement liés aux processus de colonisation et de développement de la population locale,

et donc particulièrement sensibles à l'historique de la parcelle, et dans une moindre mesure aux pratiques agricoles et au contexte paysager.

La dissociation des effets des différents facteurs sur ces deux caractéristiques principales améliorerait sans aucun doute notre compréhension des facteurs de risque. Pour cela, des recherches doivent être menées afin de poursuivre l'acquisition de connaissances relatives à la dynamique des populations, pour évaluer la dispersion et la colonisation des taupins adultes, la survie des œufs et jeunes larves, et leur lien avec les

éléments du paysage et les pratiques agricoles.

Des travaux sont engagés en ce sens au sein de l'Unité mixte de recherche Igepp du Centre de recherche de Bretagne-Normandie et par Arvalis. □

Il serait intéressant d'étudier la dispersion et la colonisation des taupins adultes.

POUR EN SAVOIR PLUS

CONTACTS : sylvain.poggi@inra.fr
jb.thibord@arvalis.fr

LIENS UTILES : <https://www6.rennes.inra.fr/igepp> (Igepp)
<https://www6.inra.fr/startaup> (Startaup)

BIBLIOGRAPHIE : - Jung J., Racca P., Schmitt J., Kleinhenz B. (2014), SIMAGRIO-W, Development of a prediction model for wireworms in relation to soil moisture, temperature and type, *Journal of Applied Entomology* 138:183-194. doi: 10.1111/jen.12021

Poggi S., Le Cointe R., Riou J.-B., Larroudé P., Thibord J.-B., Plantegenest M. (2018), Relative influence of climate and agroenvironmental factors on wireworm damage risk in maize crops, *Journal of Pest Science* 91:585-599. doi: 10.1007/s10340-018-0951-7

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* 35:793-802. doi: 10.1007/s13593-014-0279-5