Réseau d'écotoxicologie terrestre et aquatique

Fiche thématique N°19 - Février 2019

Impacts comportementaux, démographiques et fonctionnels des pesticides sur des annélides oligochètes du sol

Introduction

Les pesticides, produits phytopharmaceutiques (PPP) ou produits phytosanitaires sont utilisés pour la prévention, le contrôle et l'élimination d'organismes jugés indésirables pour les cultures, qu'il s'agisse de plantes, d'animaux, de champignons ou de bactéries. L'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), au niveau européen, et l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'Environnement et du travail), au niveau français, sont responsables de l'évaluation du risque liée à l'utilisation des pesticides pour les organismes non cibles. Cette évaluation est en constante évolution notamment grâce aux apports des recherches réalisées en écotoxicologie, qui est la science qui étudie les mécanismes et les conséquences écologiques des contaminants sur les organismes, les populations, les communautés et les écosystèmes.

Les annélides oligochètes, principalement représentés pas les vers de terre, sont utilisés comme bioindicateurs de l'activité biologique des sols. Ils jouent en effet un rôle clé dans leur fonctionnement en agissant comme de véritables ingénieurs de ces écosystèmes. Ils influencent la structure du sol et la transformation de la matière organique grâce à la création de galeries et à l'incorporation des résidus organiques de surface dans le profil de sol. En évaluation du risque, l'espèce modèle de vers de terre est *Eisenia fetida.* L'évaluation du risque se fait *via* l'utilisation de tests écotoxicologiques, standardisés (ISO et OCDE), sur la mortalité ou la reproduction. Cette espèce est cependant peu représentative des agroécosystèmes, les tests réalisés sont peu réalistes et l'analyse statistique de type *ad hoc* qui en est faite ne permet aucune extrapolation dans le temps ou à des niveaux d'organisation supérieurs.

Les objectifs de ma thèse étaient ainsi de (i) proposer une espèce modèle de ver de terre plus pertinente d'un point de vue écologique, pour l'évaluation du risque liée à l'utilisation des pesticides, de (ii) prendre en compte l'impact des pesticides sur l'ensemble de ses traits d'histoires de vie et d'utiliser des outils de modélisation pour l'analyse des données, et enfin (iii) d' évaluer l'impact des pesticides sur l'une des fonctions écologiques fournies par les vers de terre, la dégradation de la matière organique.

Principaux résultats

Partie 1

Dans la première partie de ma thèse, une lecture approfondie de la littérature scientifique a été réalisé afin de définir une nouvelle espèce modèle. Le choix s'est tourné vers l'espèce endogée *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826) (Figure 1.). J'ai ainsi réalisé une revue bibliographie focalisée sur les effets des pesticides sur le cycle de vie de cette espèce et son comportement lors d'expérimentation en

Figure 1*: Aporrectodea calignosa* (Savigny, 1826)

laboratoire. Cette revue a aussi été l'occasion de proposer une méthode d'élevage basée sur la littérature et enrichie de premières expériences au laboratoire. L'élevage en laboratoire est un élément clé pour une espèce modèle, puisqu'il permet l'approvisionnement en individus pour les expérimentations.

Ensuite, afin d'améliorer les connaissances sur son cycle de vie, des expériences de croissance et de reproduction ont été réalisées. Les données ont été utilisées pour calibrer un modèle basé sur la gestion de l'énergie qui a fourni une description pertinente du cycle de vie d'*A. caliginosa* en condition *ad libitum* (exemple Figure 2), mais aussi lorsque les individus étaient limités en quantité de nourriture. Ce modèle bioénergétique a pour vocation d'être utilisé par la suite pour l'analyse des effets des pesticides.

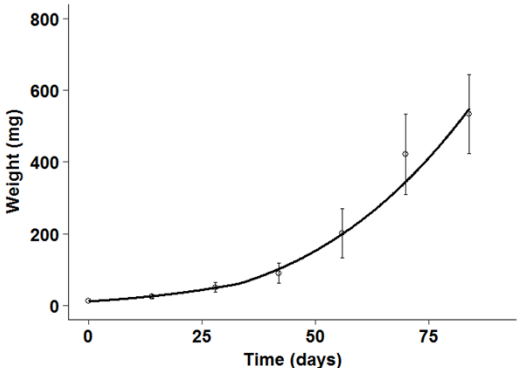

Figure 2: Courbe de croissance d'*A. caliginosa* nourri *ad libitum*. La ligne représente le modèle et les points sont les données.

Partie 2

Pour mettre en place la démarche (i.e. prise en compte de tous les stades de vie et l'utilisation d'outils de modélisation pour l'analyse des effets), nous nous sommes appuyés sur l'utilisation de deux pesticides d'intérêts. Le premier était un fongicide inorganique à base de cuivre, et le second un fongicide synthétique, le Swing® Gold, composé de deux substances actives : la dimoxystrobine et l'époxyconazole.

La première étape a été de déterminer des concentrations sublétales de ces deux fongicides et d'évaluer la capacité des individus à éviter les zones contaminées par ceux-ci. Des tests de mortalité et d'évitement ont ainsi permis de déterminer une LC50 à 6.3 fois la dose recommandée de Swing® Gold et une incapacité des individus à éviter ce fongicide. Pour le fongicide cuivré, aucune LC50 n'a pu être déterminée, mais une EC50 évitement a été estimé à 51.2 mg kg^{-1} de cuivre.

Ensuite, à partir des concentrations sublétales définies, nous avons évaluer l'impact des pesticides sur la reproduction en prenant en compte (i) la production de cocons des adultes, (ii) la dynamique d'éclosion des cocons produits, mais nous avons également (iii) exposé des cocons « naïfs », produits par des individus adultes dans un sol contrôle. Les résultats ont mis en évidence que les effets observés sur les cocons « naïfs » exposés aux fongicides étaient plus faibles que les effets sur (i) la production de cocons par des adultes exposés et (ii) sur le succès et le taux d'éclosion de ces derniers (Figure 3). Nous avons ainsi mis en évidence un effet négatif sur le succès d'éclosion des cocons produits par des adultes exposés à 1 fois la dose recommandée de Swing® Gold, ce qui en fait le paramètre le plus sensible.

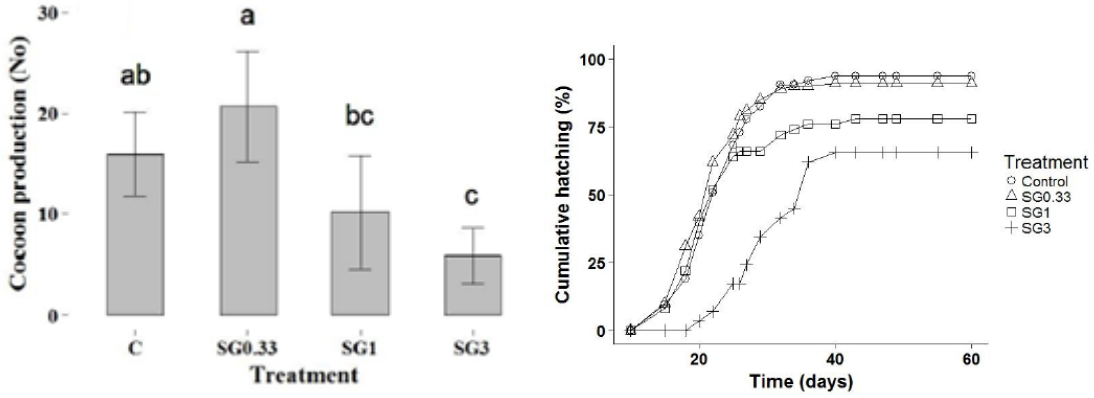

Figure 3 : Production de cocons (à gauche), de 4 *A. caliginosa* exposés dans un sol control (C) et dans des sols traités à 0.33, 1 et 3 fois la dose recommandée de Swing® Gold (i.e. SG0.33, SG1 et SG3). Dynamique d'éclosion des cocons produits à droite.

L'étape suivante a été d'évaluer l'impact sur la croissance en exposant des individus juvéniles de 3 âges différents. Les données ont été analysées avec un modèle toxicodynamique basé sur la gestion de l'énergie (calibré dans la partie 1), couplé à un modèle toxicocinétique (le modèle à un compartiment). Cette analyse a permis l'estimation de concentration sans effet (CSE) (exemple : CSE cuivre estimée à 65 mg kg^{-1}), qui ne sont pas dépendante du temps d'exposition. L'analyse faite avec le modèle a aussi permis d'apporter une compréhension mécanistique des effets. En effet, la prise en compte d'une dilution par la croissance dans le modèle toxicocinétique a permis d'expliquer le délai dans les effets observés qui dépendait de l'âge d'exposition des individus (Figure 4). Des dosages de cuivre et des composés du Swing® Gold ont été réalisées dans les vers de terre à la fin de l'expérimentations et ont confortés les analyses du modèle.

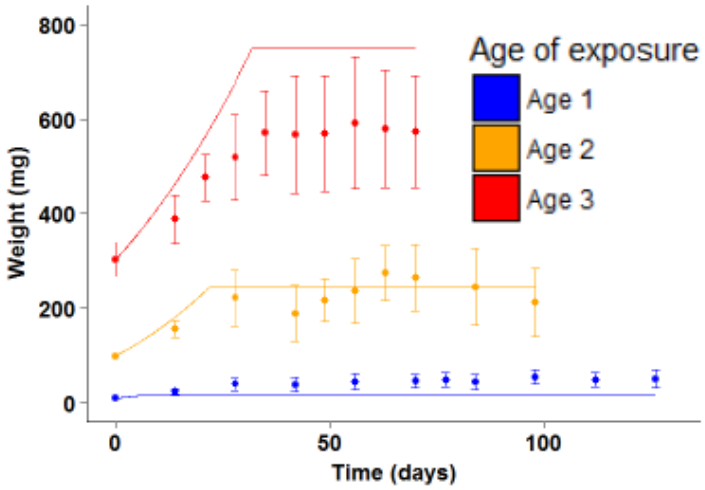

Figure 4 : Courbes de croissance d'individus juvéniles d'*A. caliginosa* de trois âges différents exposés dans un sol contaminé à 77.5 mg kg^{-1} de cuivre. Les lignes représentent le modèle et les points sont les données.

Dans le dernier chapitre de la thèse, nous nous sommes intéressés à un enjeu majeur de l'évaluation du risque lié à l'utilisation des pesticides qui est la préservation de la qualité du sol au travers son fonctionnement écologique, pour assurer une production agricole durable. Nous avons ainsi évalué l'impact des pesticides sur une fonction clé à laquelle participent les vers de terre : la dégradation de la matière organique (MO). Pour cela, je me suis intéressé à l'activité microbienne du sol qui participe activement à la minéralisation de celle-ci. Les vers de terre sont connus pour favoriser cette activité microbienne et donc la dégradation de la MO. Ainsi, des mesures d'activités microbiennes (activités enzymatiques et potentiel de nitrification) ont été réalisés et ont été synthétisées sous forme d'indices (exemple Figure 5). Ces mesures ont été réalisées en la présence et en l'absence de vers de terre.

Le principal résultat a été la mise en évidence de la capacité des vers de terre à favoriser les activités microbiennes en l'absence mais aussi en présence des fongicides étudiés. Il aussi été mis en évidence que les vers de terre atténuaient les effets des pesticides sur celles-ci, alors qu'en l'absence de vers de terre, les fongicides ont augmenté les activités.

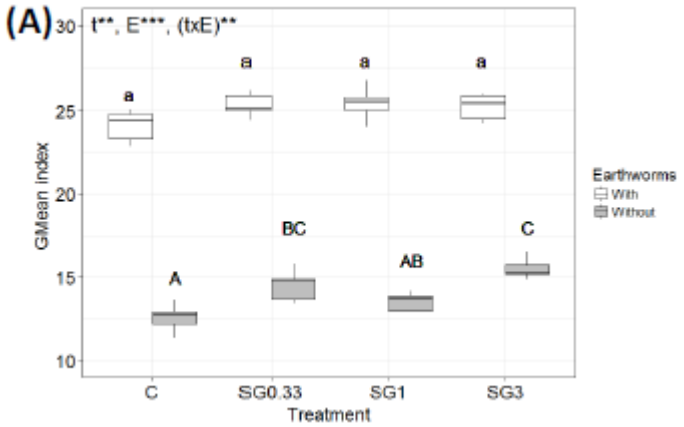

Figure 5 : Indice Gmean d'un sol control (C) et de sols traités à 0.33, 1 et 3 fois la dose recommandée de Swing® Gold (i.e. SG0.33, SG1 et SG3), avec (blanc) et sans vers de terre (gris).

Conclusions et perspectives

Les différents résultats présentés dans cette thèse permettent de poser de premiers jalons pour aller vers une amélioration de l'évaluation du risque liée à l'utilisation des pesticides, avec (i) la proposition d'une espèce modèle de ver de terre et (ii) le développement d'un modèle bioénergétique associé à cette espèce, qui a pour vocation de servir à l'analyse de données écotoxicologiques. Les différents résultats expérimentaux ont apporté des connaissances nouvelles sur les effets de deux formulations commerciales de fongicides, largement utilisées en Europe, sur le cycle de vie d'*A. caliginosa.* Dans cette évaluation des effets, les différents stades de vie de l'espèce ont été pris en compte (cocons, juvéniles et adultes) et il a été mis en évidence que chaque stade peut être impacté. De plus, nous avons analysé les effets sur la croissance à l'aide du modèle bioénergétique, couplé à un modèle toxicocinétique-toxicodynamique, permettant l'estimation de concentrations sans effet (CSE) et une compréhension mécanistique des effets. Il reste cependant encore des recherches à mener pour modéliser les effets sur l'ensemble du cycle de vie, à l'aide du modèle bioénergétique. Enfin, cette modélisation des effets au niveau individuel pourra servir à l'extrapolation au niveau de la population, à l'aide d'outils de modélisation (i.e. modèle individu-centré). De plus, les résultats obtenus sur l'impact des vers de terre sur les activités microbiennes (responsables de la dégradation de la matière organique), en condition d'exposition aux pesticides, pourront servir de sorties fonctionnelles à un modèle de dynamique des populations.

Réseau d'écotoxicologie terrestre et aquatique

Fiche thématique N°19 - Février 2019

Contact

Sylvain Bart

Ecologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes ECOSYS, pôle Ecotox

sylvain1.bart@outlook.fr

Route de Saint-Cyr, 78026 Versailles

Directeurs de thèse : Alexandre Péry et Céline Pelosi

Pour en savoir plus

http://www.theses.fr/s141601

Remerciements

La thèse a été soutenue par le département EA de l'INRA et l'Initiative Doctorale Interdisciplinaire de l'IDEX Paris-Saclay, dans le cadre de l'Ecole Doctorale ABIES.

Bibliographie

Bart S, Laurent C, Péry ARR, Mougin C, Pelosi C (2017) Differences in sensitivity between earthworms and enchytraeids exposed to two commercial fungicides. Ecotox Environ Safe. 140, pp 177-184. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.02.052

Bart S, Roudine S, Amossé J, Mougin C, Péry ARR, Pelosi C (2018) How to assess the feeding activity in ecotoxicological laboratory tests with enchytraeids? Environ Sci Pollut Res. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1701-3

Bart S, Amossé J, Lowe CN, Péry ARR, Mougin C, Pelosi C (2018) Aporrectodea caliginosa, a relevant earthworm species for a posteriori pesticide risk assessment: Current knowledge and recommendations for culture and experimental design. Environ Sci Pollut Res. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2579-9

Bart S, Barraud A, Amossé J, Péry ARR, Mougin C, Pelosi C. Assessing pesticide effects on earthworm reproduction by exposing adults and cocoons. Soumis à Ecotoxicology and environmental safety

Bart S, Pelosi C, Péry ARR. Towards a better understanding of the life cycle of the earthworm Aporrectodea caliginosa: new data and energy-based modelling. Soumis prochaiement à Pedobiologia

Bart S, Pelosi C, Nélieu S, Lamy I, Péry ARR. An energy-based model to analyse growth data of earthworms exposed to two fungicides. Soumis à Environmental Science and Technology

Bart S, Pelosi C, Barraud A, Péry ARR, Cheviron N, Mougin C, Crouzet O. Earthworms mitigate pesticide effects on soil microbial activity. En révision dans Frontiers in microbiology.