1. Fiche de synthèse à diffusion publique_PERFORM

Nom du projet : Perform
Titre du projet : Approches de modélisation pour l'évaluation et la comparaison des performances environnementales de systèmes de culture innovants conçus pour réduire l'usage des pesticides : intégration spatiale et temporelle, traitement des incertitudes
Mois/Année de démarrage : 07/2013
Mois/Année de fin : 01/2017
Responsable scientifique : Laure Mamy
Partenaires : INRA (Enrique Barriuso, Carole Bedos, Pierre Benoit, Eric Justes, David Makowski, Laure Mamy, Nicolas Munier-Jolain, Valérie Pot, Sabine-Karen Lammoglia), ACTA (François Brun, Thibaud Quemar), AgroParisTech (Benoît Gabrielle), AgroSup Dijon (Bernard Nicolardot, Marjorie Ubertosi), INP EI-Purpan (Lionel Alletto, Simon Giuliano, Gaël Rametti), Université d'Uppsala - Suède (Julien Moeys), FERA - UK (Marc C Kennedy, Andy DM Hart), IRNASA-CSIC - Espagne (Jesús-María Marín-Benito)
Financements : APR « Pour et sur le plan Ecophyto 2018 » (PSPE1) - Edition 2012 : Pour et Sur trois dispositifs du Plan

Mot clés : Systèmes de culture, Pesticides, Modélisation, Variabilité, Incertitudes, Environnement, Santé

En quelques mots :
Lors de la conception de systèmes de culture permettant de réduire l'utilisation des pesticides, il est nécessaire de prendre en compte des critères liés aux impacts environnementaux et sanitaires de ces systèmes. De nouvelles approches de modélisation ont donc été développées pour permettre une évaluation *ex ante* des impacts liés aux pesticides. Une analyse de sensibilité des modèles et le traitement des incertitudes des paramètres les plus influents ont montré que les systèmes impliquant un travail du sol simplifié auraient tendance à augmenter les impacts (multiplication des traitements herbicides) tandis que les systèmes bas et très bas niveaux d'intrants, réduisant l'IFT d'au moins 50%, et les systèmes avec désherbage mécanique permettraient de réduire ces impacts.

Contexte et objectifs :
Le plan Ecophyto vise à réduire l'utilisation des pesticides et des impacts associés. Pour atteindre ces objectifs, il faut notamment concevoir de nouveaux systèmes de culture moins dépendants des pesticides. Différentes procédures permettent de concevoir des systèmes répondant à des objectifs prédéfinis, en particulier grâce à des outils d'aide à la décision intégrant l'évaluation *ex ante* des performances agronomiques et socio-économiques des systèmes. Cependant, dans ces outils, l'évaluation des impacts environnementaux et sanitaires des pesticides utilisés dans l'ensemble du système de culture est soit inexistante, soit imprécise et qualitative.
Dans ce contexte, l'objectif du projet Perform consiste à développer une démarche d'évaluation globale par système de culture permettant de comparer les impacts des pesticides sur l'environnement et sur la santé. Cette démarche tient compte (1) de la complexité des systèmes, (2) de l'utilisation globale des pesticides dans l'ensemble de la rotation, (3) de la variabilité spatio-temporelle des conditions agro-pédoclimatiques et (4) des principales sources d'incertitudes affectant les flux de pesticides responsables des impacts.
Le projet ECoPESt (APR Pesticides) a été mené en parallèle de ce projet pour compléter l'évaluation des outils de modélisation existants, permettre l'acquisition d'observations de terrain et établir le lien pratiques-pression-impacts.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Ecophyto :

Dans un premier temps, une nouvelle approche de modélisation basée sur une utilisation séquentielle du modèle de culture STICS et du modèle « pesticides » MACRO a été développée afin de simuler les flux de pesticides vers les eaux souterraines, dans des systèmes de culture complexes. Le modèle ainsi conçu, STICS-MACRO, a été testé en confrontant les résultats des simulations à des mesures de concentrations en pesticides dans l'eau du sol prélevée à différentes profondeurs. Ces mesures ont été faites dans des lysimètres implantés sur plusieurs sites où sont expérimentés des systèmes de culture innovants (Figure F1). Les résultats ont montré que la performance de STICS-MACRO était acceptable, sans phase de calage, même si elle dépend des conditions pédoclimatiques. Par rapport aux modèles « pesticides » existants, STICS-MACRO permet, en outre, d'accéder à d'autres sorties d'intérêt environnemental (dynamique des composés azotés) et agronomique (rendements).

Figure F1. (a) Site expérimental de Lamothe (© Lionel Alletto, INP - EI Purpan) ; (b) Site expérimental d'Auzeville (© Eric Justes, INRA) ; (c) Site expérimental de Dijon (© Pascal Farcy, INRA)

Une analyse de sensibilité globale de STICS-MACRO, basée sur la méthode de Morris, a ensuite permis d'évaluer et de comparer les effets d'un grand nombre de pratiques agricoles sur les flux de pesticides. L'apport de résidus organiques au sol et le travail du sol simplifié ont été identifiés comme étant les pratiques qui conduisent à une augmentation des flux d'eau et de pesticides vers les eaux souterraines, essentiellement parce qu'elles modifient le bilan hydrique dans les sols (Figure F2).

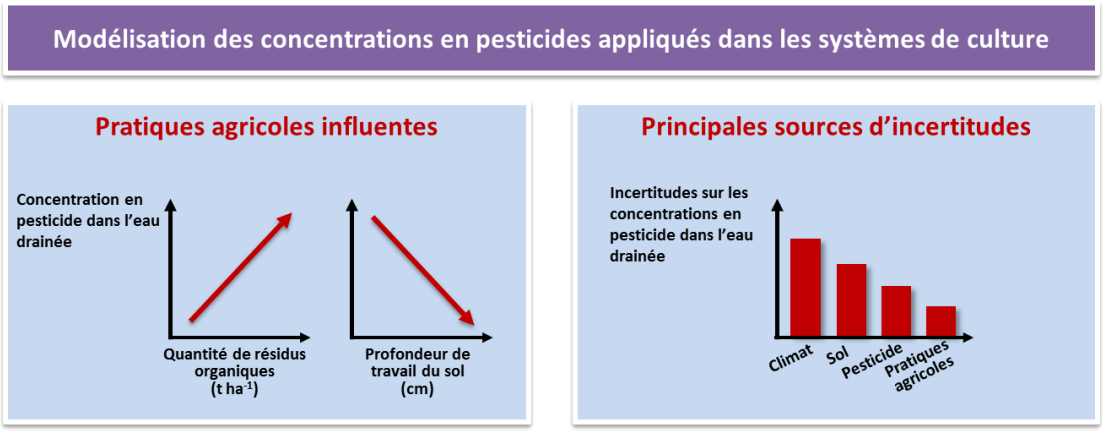

Figure F2. Synthèse des principaux résultats obtenus dans le projet Perform : identification par modélisation des pratiques agricoles les plus influentes et étude de leurs effets sur les concentrations simulées en pesticides dans l'eau drainée ; identification des principales sources d'incertitudes des concentrations en pesticides dans l'eau drainée

Dans une troisième étape, une analyse d'incertitudes, basée sur la méthode d'échantillonnage par Hypercube latin, a été réalisée afin de déterminer le niveau de confiance qui peut être accordé aux

résultats des simulations de STICS-MACRO. Cette analyse a été focalisée sur les caractéristiques du climat, du sol et des pesticides et sur les pratiques agricoles. Au final, les incertitudes liées au sol, aux pesticides et aux pratiques agricoles semblent avoir moins d'influence sur la prédiction des concentrations en pesticides dans les eaux souterraines que les incertitudes liées au climat (précipitations en particulier) (Figure F2).
Enfin, un modèle d'évaluation de l'exposition de la population humaine aux pesticides, BROWSE, a été utilisé afin d'estimer les risques pour la santé des applicateurs et des riverains liés à la totalité des pesticides utilisés dans un système de culture. Comme BROWSE ne peut traiter qu'un seul pesticide à la fois, nous avons proposé une méthode afin de représenter les résultats obtenus pour l'ensemble des pesticides appliqués dans un même système et ainsi comparer les différents systèmes étudiés. Cette méthode a montré que les systèmes basés sur un travail du sol simplifié tendent à augmenter les impacts sanitaires en raison de la multiplication du nombre de traitements herbicides. Les résultats de l'analyse de sensibilité avaient par ailleurs montré que ces systèmes présentaient aussi les risques les plus élevés de contamination des eaux souterraines par les pesticides. En revanche, les systèmes bas ou très bas niveaux d'intrants visant une réduction d'au moins 50% de l'IFT par rapport aux systèmes conventionnels correspondants, basés notamment sur des rotations et non sur des monocultures, et les systèmes de culture privilégiant les techniques de désherbage mécanique (i.e. systèmes sans herbicide) permettent de réduire de façon significative les impacts sur la santé et ils ont aussi un impact plus faible sur l'environnement.

Lien avec le plan Ecophyto :
Perspective de transfert :
Les résultats issus de la modélisation intéressent directement les professionnels car ils apportent des critères quantitatifs permettant, au moment de la mise en place des systèmes de culture, de connaître les risques environnementaux et sanitaires. Les outils de modélisation permettent en outre d'identifier les systèmes ayant le moins d'impacts, ainsi que les pesticides contribuant le plus aux risques globaux des systèmes, dans l'optique de leur substitution. Ces travaux seront diffusés dans Innovations Agronomiques, Phytoma... Par ailleurs, les participants au projet contribueront à des sessions de formation pour présenter les démarches, les résultats et les propositions de systèmes innovants.

Perspective de recherche :
Les nouvelles approches de modélisation développées se veulent génériques, mais pour pouvoir généraliser les résultats de ce travail, la capacité de STICS-MACRO à décrire correctement les flux de pesticides dans d'autres contextes agro-pédoclimatiques reste à tester. Il serait important d'élargir la gamme de variation des paramètres les plus sensibles et d'analyser les incertitudes associées aux modifications du régime hydrique et des températures dans un contexte, par exemple, de changement climatique. Enfin, les approches développées ici pourraient être utilisées dans le cadre du réseau FERME DEPHY afin d'étendre l'évaluation des impacts à une échelle nationale et d'intégrer une plus grande gamme de scénarios et de systèmes associés.

Publications scientifiques et autres valorisations du projet :
Références bibliographiques principales des documents valorisés (4 maximum)
- Lammoglia SK, 2016. Approches de modélisation pour évaluer et comparer les impacts sur l'environnement et sur la santé humaine des pesticides utilisés dans des systèmes de culture conçus pour réduire l'usage des pesticides. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay, 196p.
- Lammoglia SK, Moeys J, Barriuso E, Larsbo M, Marin-Benito JM, Justes E, Alletto L, Ubertosi M, Nicolardot B, Munier-Jolain N, Mamy L, 2017. Sequential use of the STICS crop model and of the MACRO pesticide fate model to simulate pesticides leaching in cropping systems. Environ Sci Pollut Res 24, 6895-6909.
- Lammoglia SK, Kennedy MC, Barriuso E, Alletto L, Justes E, Munier-Jolain N, Mamy L. Assessing human health risks from pesticide use in conventional and innovative cropping systems with the BROWSE model (soumis).

- Lammoglia SK, Brun F, Quemar T, Moeys J, Barriuso E, Gabrielle B, Mamy L. Modelling pesticides leaching in cropping systems: effect of uncertainties in climate, soil and pesticide properties, and agricultural practices (en préparation).