
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 Sabine Karen **YEMADJE LAMMOGLIA**¹

Analysée par Christian **HUYGHE**²

Directeur de thèse : Enrique **Barriuso**, Directeur de thèse INRA
Co-encadrante de thèse : Laure **Mamy**, Ingénieur de recherche INRA

Cette thèse, réalisée à l'Inra Grignon, sous la direction et l'encadrement d'Enrique Barriuso et Laure Mamy, s'inscrit pleinement dans l'ensemble des travaux de recherche visant à la mise en œuvre du plan Ecophyto et à l'objectif de réduction d'impact et d'usage des produits phytopharmaceutiques. Ce travail de thèse a pour objectif d'évaluer et de 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, en tenant compte de la complexité des systèmes, de l'utilisation globale des pesticides, de la variabilité spatio-temporelle des conditions agro-pédoclimatiques et des principales sources d'incertitudes des modèles. Il se situe dans un contexte de production de grande culture, où l'intensification des productions avec une forte mobilisation des intrants chimiques et une augmentation de la productivité du travail s'est accompagnée d'une simplification des systèmes.

La grande originalité de ce travail de thèse réside dans l'utilisation de modèles mécanistes. Pour analyser l'impact sur l'environnement, c'est un couplage entre le modèle STICS (modèle qui stimule le fonctionnement des systèmes sol-plante-climat à l'échelle de la parcelle) et le modèle MACRO (modèle de simulation du devenir des pesticides) qui est utilisé. Pour l'analyse de l'impact sur la santé, c'est le modèle BROWSE (modèle qui évalue les risques liés aux produits phytosanitaires pour la santé humaine) qui a été mobilisé.

A partir de quelques situations de production représentatives des systèmes de production, tant en cultures d'automne que de printemps, différents scénarios de diversification ont été imaginés et simulés. La modélisation (à l'aide de modèles validés) et la simulation d'une diversité de scénarios sont en effet l'option la plus pertinente pour pouvoir prendre en compte la diversité des conditions de milieu et, en même temps, tester un grand nombre de systèmes culturaux.

Parmi les acquis de ce travail de thèse, il convient d'aborder de souligner l'importance des développements méthodologiques permettant le chaînage des modèles, les analyses de sensibilité à

¹Thèse soutenue et présentée le 19 décembre 2016. Université Paris-Saclay préparée à AgroParisTech : institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement. Ecole doctorale n° 581 Agriculture, Alimentation, Biologie, Environnement et Santé (ABIES), Spécialité de doctorat : Sciences de l'Environnement

² Christian HUYGHE, membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section (1) Productions végétales.

la fois à un grand nombre de pratiques agricoles et conditions de milieu (variabilité de sol, variabilité climatique), mais aussi aux paramètres des modèles.

Une analyse de sensibilité globale montre que l'apport de résidus organiques au sol et le travail du sol simplifié semblent être les pratiques qui, du fait de la modification du bilan hydrique et à l'interception du pesticide par le couvert végétal, entraînent une augmentation des flux d'eau et de pesticides vers les eaux souterraines.

Une autre production originale de ce travail a été de montrer que les incertitudes liées au sol, aux pesticides et aux pratiques agricoles avaient moins d'influence sur la prédiction des flux de pesticides vers les eaux souterraines que les incertitudes liées au climat. Ceci ne manquera pas de nous interroger sur les incidences du changement climatique, dont la première incidence est l'accroissement des variations interannuelles, mais aussi sur le danger des conclusions que l'on peut tirer des observations sur l'état du milieu, observations toujours conduites sur un petit nombre d'années et donc marquées par cette même dépendance.

Le modèle d'évaluation de l'exposition de la population aux pesticides (BROWSE) et d'estimation des risques pour la santé a montré que les systèmes innovants visant une réduction de 50 % de l'IFT (Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires) et les systèmes de culture privilégiant les techniques de désherbage mécanique permettent de réduire de façon significative les risques pour la santé par rapport aux systèmes conventionnels correspondants.

Ce travail bien évidemment ouvre un champ nouveau pour la recherche, l'innovation et la mise en œuvre des politiques publiques.

Pour la recherche, il est évidemment indispensable de poursuivre les développements méthodologiques, permettant d'améliorer la précision des résultats de simulation, sur les modèles utilisés dans cette thèse, de les comparer avec d'autres modèles disponibles et de comprendre les sources d'incertitude. Il sera également indispensable de coupler ceci avec les prévisions de production et de performance économique, et l'analyse des autres impacts environnementaux (biodiversité, émissions de gaz à effet de serre). L'exportation vers d'autres systèmes de production devra également être mise en œuvre. La prise en compte des caractéristiques des molécules pesticides devra également être approfondie.

En matière d'innovation, ces approches par simulation permettront de tester *ex ante* une grande diversité de systèmes de production, dans une grande diversité de milieux et de conditions de sols, et sous différents scénarios climatiques.

En matière de politiques publiques, ces approches présentent également un très fort potentiel, lors de l'homologation de molécules, mais dans l'élaboration d'alternatives, qu'il s'agisse des politiques en faveur de la diversification des cultures, de modalités de couverture des sols, de l'aménagement des paysages, ou encore pour le désherbage mécanique.

Cette thèse a fait l'objet d'une valorisation significative sous forme d'articles, certains publiés pendant la thèse elle-même, et par des présentations dans des congrès nationaux. Ceci souligne aussi la qualité de ce travail de thèse.