

MODELISATION DU TRANSFERT DES PESTICIDES VERS LES EAUX SOUTERRAINES A L'ECHELLE DE BASSINS VERSANTS PAR LE COUPLAGE STICS-Phytos - MODCOU

H. Blanchoud¹, A. Rat², P. Viennot², E. Moreau-Guigon¹, C. Schott³, F. Habets¹, W. Queyrel², M. Chevreuil¹ et E. Ledoux²

¹ UMR Sisyphe, EPHE, UPMC, BC 105, 4, place Jussieu 75252 Paris Cedex 5

² Centre de Géosciences, MINES Paristech, 35 av St Honoré, 77305 Fontainebleau, France

³ INRA SAD, BP 29, 88501 Mirecourt, France

*Auteur correspondant : helene.blanchoud@upmc.fr

Introduction

Les nouvelles réglementations concernant l'usage des pesticides en France font suite au grenelle de l'environnement, qui vise par ce biais à limiter la contamination du milieu naturel, faute de pouvoir proposer des alternatives efficaces d'usages. Cette connaissance du comportement des pesticides à l'échelle des bassins versants passe par la modélisation de leur transfert vers les eaux de surface et souterraines. En 2003, deux travaux parallèles ont débuté sur le bassin versant de la Vesle afin de modéliser le transfert de pesticides vers les eaux de surface d'une part et vers les eaux souterraines d'autre part. Les modèles PHYTODEL et STICS-Phytos ont été développés à partir de modèles existants pour répondre à ces objectifs. Le choix a été fait de partir de modèles hydrologique et hydrogéologique capables de représenter le bassin versant de la Seine et d'y adapter le transfert des pesticides de façon simplifiée en transposant les principaux processus issus de modèles de transfert des pesticides reconnus. Dans le cas de PHYTODEL (Guigon-Moreau, 2006), une attention particulière a été apportée sur les échanges avec l'atmosphère (volatilisation, lessivage atmosphérique). Pour les eaux souterraines, l'objectif général étant de mettre en place un modèle intégré simulant les transferts de pesticides depuis le sol jusqu'aux eaux souterraines, susceptible d'être employé à l'échelle d'un bassin, nous sommes repartis d'un couplage de modèles simulant le transfert des nitrates déjà agencé qui offre un caractère opérationnel déjà éprouvé sur le bassin de la Seine (Gomez, 2002). Pour étendre l'utilisation de ce modèle au cas des pesticides, le choix s'est porté sur la modification de STICS (modèle agronomique) déjà spatialisé et couplé avec MODCOU (modèle hydrogéologique). STICS a été simplifié en considérant la plante comme inactive dans le transfert des pesticides (pas d'interception, pas d'absorption) et a donc été modifié pour permettre de simuler des flux de pesticides. Pour cela, une première comparaison des modèles existants a permis de choisir le concept le plus facilement transposable : le modèle LEACHP. Ce modèle présente l'avantage d'être assez simple tout en conservant une base physique qui le rend très solide. Il est de plus, bien documenté au niveau des concepts utilisés, comme de sa structure informatique. Nous nous en sommes donc inspirés pour développer notre propre modélisation.

Matériels et méthodes

La phénoménologie prise en compte dans STICS-Phytos comprend la simulation de la sorption/désorption instantanée et lente, la dégradation (en fonction de l'humidité et de la température), la création de métabolites, ainsi que le transfert de l'eau et des solutés jusqu'à la zone sous racinaire. Ensuite le pesticide et ses sous-produits traversent la zone non saturée (module NONSAT) avant de rejoindre l'aquifère qui simule leur transport horizontal en fonction de l'évolution des niveaux piézométriques.

1. la sorption

Le modèle intègre deux sites de sorption, le premier où les échanges sont instantanés, le second où les échanges sont lents (figure 1). Les deux réactions ont lieu en parallèle directement avec la molécule en solution. Pour les échanges entre « site instantané » et la phase liquide, les phénomènes de sorption/désorption peuvent être simulés par une loi de Freundlich (MACRO, GLEAMS...) dégénérant en équation linéaire pour le cas $n=1$. La modélisation du second site, siège de mécanismes cinétiques, repose sur une adaptation des processus lents tel qu'utilisés dans AGRIFLUX (Larocque et al., 1997). Ce site représente physiquement les sites les moins accessibles. Le site lent est considéré comme une zone de stockage infini où les produits adsorbés ne subissent plus aucune transformation. Les échanges se font uniquement avec les pesticides en solution. Ils y sont modélisés à partir de cinétiques d'ordre 1 avec des vitesses définies individuellement pour la sorption et la désorption. Ce module impose donc un retard dans le transfert. Les vitesses de transfert simulées par STICS-Phytos dans le sol ont été validées sur le site de Thiverval avec des données expérimentales (Baer, 1996).

2. la dégradation

STICS-PHYTO utilise une dégradation qui est représentée par une cinétique d'ordre 1 décrite par exemple pour LEACHP par Huston et Wagenet (1992). Il est bien clair que la valeur de demi-vie est globale, intégrant de nombreux processus de dissipation. Ce modèle est appliqué aux pesticides en solution et sorbés sur le site 'instantané' que l'on suppose facilement accessible. Ainsi, cette cinétique est décrite à chaque pas de temps, pour chaque couche de sol et pour chaque compartiment en respectant une décroissance de la

dégradation en profondeur. La formation de métabolite est représentée par une fraction de la molécule mère qui se transforme en une ou plusieurs molécules filles ; celles-ci sont ensuite considérées comme de nouveaux pesticides qui transitent dans les compartiments.

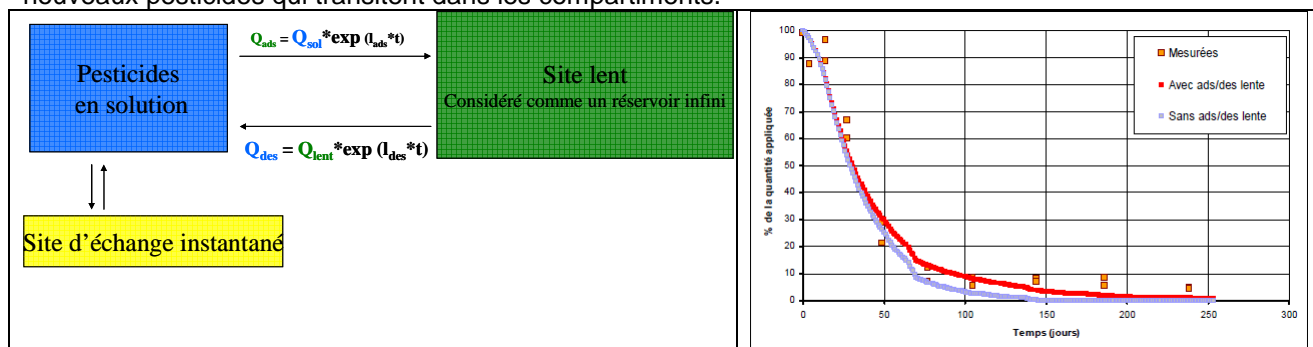


Figure 1 : Représentation des processus d'adsorption-désorption rapide et lent dans STICS-Phytos selon le modèle AGRIFLUX (Larocque et al., 1997), et validation sur le site de Thiverval

Principaux résultats

Une base de données des intrants phytosanitaires sur le désherbage de la vigne et du maïs dans le bassin versant sur les 30 dernières années a permis de recenser les usages de pesticides. Ces informations ont été intégrées au modèle STICS-Phytos couplé avec MODCOU pour simuler le transfert de l'atrazine notamment. Les résultats permettent de présenter une cartographie de la contamination de l'aquifère sur le bassin versant (Figure 2) ou alors de l'évolution de la contamination dans le temps, en considérant un arrêt des traitements en 2003 (réglementation) et une répétition de la météorologie des 50 dernières années.

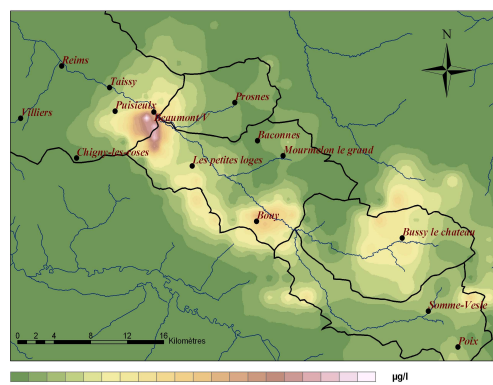


Figure 2 : cartographie des concentrations en atrazine en 2004 dans l'aquifère du bassin de la Vesle

Perspectives d'études

Les prochaines études vont consister à se servir des travaux menés jusqu'à présent en utilisant la dernière version de STICS v.7 dans la plateforme de modélisation Eau-Dyssée. La plante, initialement négligée pourra être prise en compte dans le cas notamment d'études sur les produits foliaires et dans l'interception de la volatilisation en y intégrant les fonctionnalités de PHYTODEL.

Bibliographie

- Baer U. (1996) – Comportement des pesticides dans les sols : Evaluation et simulation de la dissipation au champ. Thèse de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, 155p.
- Gomez E. (2002) - Modélisation intégrée du transfert de nitrate à l'échelle régionale dans un système hydrologique : application au bassin de la Seine, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Guigon-Moreau E. (2006) Transferts des pesticides vers les eaux superficielles et l'atmosphère : caractérisation et modélisation sur le bassin versant de la Vesle. Thèse de l'université Pierre et Marie Curie, 233p.
- Huston J.L and Wagenet R.J. (1992) – Leaching Estimation And Chemistry Model : A process based model of water and solute movement transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Continuum Vol.2, Version 3. Water Resources Inst., Cornell University, Ithaca, NY.
- Larocque M., Banton O. et Lafrance P. (1997) - Simulation par le modèle Agriflux du devenir de l'atrazine et du dééthylatrazine dans un sol du Québec sous maïs sucré, Revue des sciences de l'eau, 11, 191-208.
- Rat A., Ledoux E., Viennot, P. (2007), Transferts de pesticides vers les eaux souterraines, modélisation à l'échelle d'un bassin versant (Cas d'étude du bassin amont de la Vesle). Rapport d'activité du programme Piren-Seine 2006, 116p. <http://www.sisyphe.upmc.fr/piren/>