

Analyse multicritère des modèles de transfert de pesticides à l'échelle de l'hydrosystème

Payraudeau S., Grégoire C.

(1) Centre d'Ecologie Végétale et d'Hydrologie (CEVH) – UMR MA 101 ULP/ENGEES, 1 quai Koch, BP. 1039 F, 67 070, Strasbourg Cedex, France

36^{ème} congrès du GFP
29 – 31 mai 2006
Strasbourg

Introduction

L'analyse des modèles de transfert de pesticides disponibles à l'échelle du bassin versant met en évidence une diversité de représentations associées à des approches différentes du transfert (hydrologie, agronomie, chimie) pour répondre à des objectifs variés. Sans chercher l'exhaustivité, ce travail vise à décrire et comparer 10 exemples de modèles jugés représentatifs de la diversité des approches. Une grille d'analyse identifie les similitudes et les différences permettant de guider le choix vers une famille de modèles en fonction des objectifs.

Présentation des 10 exemples de modèles de transfert

Modèles	GR5-Pesticide ¹	Projet SACADEAU ²	SWAT2000 ³	STREAM-pesticide ⁴	FlowT ⁵	MIKE SHE ADM ⁶	LEACHM-ruisselement ⁷	VESPP ⁸	I-Phy-Bvci ⁹	PHYLOU ¹⁰
Auteurs	Madier et al., 2006	Tortrat, 2005	Neitsch et al., 2002	Lecomte, 1999	Grégoire et al., 2005	Abbott et al., 1986 de Bruyn, 2004	Maison, 2000	de Bruyn, 2004	Thiollet-Scholius, 2004	Cernesson et Barreteau, 2003
Disciplines	Hydrologie, Chimie	Agronomie, Hydrologie	Hydrologie, Agronomie	Agronomie, Hydrologie	Hydrologie, Chimie	Mécanique des fluides	Mécanique des fluides, Agronomie	Hydrologie, Agronomie	Agronomie	Agronomie, Hydrologie
Approche	Modélisation conceptuelle	Modélisation semi-quantitative	Modélisation conceptuelle	Modélisation conceptuelle	Modélisation conceptuelle	Modélisation à bases physiques	Modélisation à bases physiques	Indicateur	Indicateur	Système Multi Agent
Discretisation spatiale	Globale	Distribuée	Distribuée	Distribuée	Distribuée	Distribuée	Distribuée	Distribuée	Distribuée	Distribuée
Durée de simulation	Episode pluvieux	Quelques mois	Pluri-annuelle	Episode pluvieux	Pluri-annuelle	Pluri-annuelle	Pluri-annuelle	Saison culturale	Episode pluvieux	Saison culturale
Voies de transfert des pesticides	Ruisselement	Ruisselement + écoulements de subsurface	Ruisselement + écoulements souterrains	Eaux de surface	Eaux de surface	Ruisselement + écoulements souterrain	Ruisselement + écoulements souterrains	Eaux de surface	Eaux de surface	Eaux de surface
Type de transport	Soluble	Soluble	Soluble / particulaire	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble
Sorties du modèle	valeurs (débit, concentration)	valeurs (concentration)	valeurs (débit, concentration)	valeurs (volume, concentration)	valeurs (débit, concentration)	valeurs (débit, concentration)	valeurs (débit, concentration)	Score	Score	valeurs (flux)
Objectifs	Reproduire les concentrations à l'exutoire	Evaluer l'impact des itinéraires techniques sur la qualité des eaux de surface	Evaluer le devenir des pesticides dans les eaux de surface	Evaluer les effets de dispositifs enherbés sur la qualité de l'eau de surface	Reproduire les chemogrammes à l'exutoire	Simuler le transfert des pesticides dans les eaux souterraines et superficielles	Simuler le transfert en se focalisant sur le fonctionnement de la zone non saturée	Caractériser la vulnérabilité potentielle des eaux de surface	Réaliser un diagnostic du risque de contamination des eaux de surface	Appropriation du phénomène de transfert par les acteurs concernés
Utilisateurs	Recherche	Conseillers agricoles	Recherche	Recherche	Recherche; animateurs de bassin	Recherche	Recherche	Gestionnaires de la ressource en eau	Gestionnaires de la ressource en eau; conseillers viticoles	Agriculteurs, conseillers agricoles, élus et chercheurs

Domaine de validité et d'utilisation

Superficie des bassins	de 10 à 100 km ² (agricole)	de 10 à 100 km ² (agricole)	de quelques 10 ^{000m²} à plusieurs milliers de km ²	de 10 à 1000 ha ² (agricole)	quelques 10 ^{aines} d'ha (agricole)	de 1 à plusieurs centaines de km ²	de 1 à 1000 ha (agricole)	de 1 à plusieurs centaines de km ²	de 1 à 1000 ha (agricole)	de 10 à 1000 ha (agricole)
Unité spatiale	-	Parcelle + connexion + bordure	Unité de Réponse Hydrologique	Maille carrée	Parcelle + connexion + bordure + chemin	Maille carrée	Maille carrée	Maille carrée	Parcelle	Maille carrée
Pas de temps des données	horaire	horaire	journalier	Durée de l'épisode	6 minutes	journalier	journalier	un an	décadaire	variable (6 minutes - journée)
Climat	Tout climat	Océanique supposé homogène sur le bassin	Tout climat	Tout climat	Tout climat	Tout climat	Tout climat	Tout climat	Tout climat	Méditerranéen
Dynamique hydrologique du bassin versant	Toutes dynamiques	Réponse inférieure à la journée pour le transfert par ruissellement	Temps de réponse >= journée	Réponse inférieure à la journée pour le transfert par ruissellement	Réponse inférieure à la journée pour le transfert par ruissellement	Toutes dynamiques	Temps de réponse < journée	Toutes dynamiques	Temps de réponse < journée	Temps de réponse < journée
Agriculture	pas de spécificité	Système de culture lié à l'élevage en zone de bocage	pas de spécificité	pas de spécificité	pas de spécificité	pas de spécificité	pas de spécificité	pas de spécificité	Viticulture	Viticulture
Type de molécules	tous types de molécules	Herbicides du maïs et du blé	tous types de molécules	tous types de molécules	tous types de molécules	tous types de molécules	tous types de molécules	tous types de molécules	tous types de molécules	Molécule A (faible solubilité; longue demi-vie) et molécule B (forte solubilité; demi-vie courte)

Le **domaine de validité** recouvre notamment la gamme de bassins (en terme de superficie) sur laquelle peut être appliqué un modèle. Le pas de temps des variables de forçage (par ex. pluie) est en général lié à la dynamique hydrologique et à la superficie des bassins versant. Le climat associé aux caractéristiques physiques du bassin peut conditionner les processus de ruissellement, principalement hortonien en contexte méditerranéen (10), et associés à une remontée de nappe sur les bassins bretons sur socle (2). En fonction des objectifs, les modèles ont été conçus pour intégrer un type de culture (la vigne pour 9 et 10) ou plusieurs (1 à 8).

Processus représentés

	Eau Plantes Pesticides	Eau Sol Pesticides	Flux Pesticides	Erosion Pesticides	Ruisselement Pesticides	Nappe Pesticides	Bordures et conexions Pesticides	Rivière Pesticides
Plantes Pesticides	-	-	X	-	X	-	-	-
Flux Pesticides	X	X	X	-	X	X	X	X
Erosion Pesticides	X	X	X	-	X	X	X	X
Ruisselement Pesticides	X	X	X	-	X	X	X	X
Nappe Pesticides	X	X	X	-	X	X	X	X
Bordures et conexions Pesticides	-	X	-	-	X	-	-	-
Rivière Pesticides	X	-	-	-	X	-	-	-

Les 10 modèles intègrent (X) ou non (-) les **processus de transfert** de l'eau et des pesticides dans le complexe eau-sol-plante, sur le versant, sur les éléments de bordures comme les bandes enherbées (2 à 5 et 8 à 10), dans les connexions comme les fossés (2, 5, 8, 9, 10), dans la nappe (2 à 3 et 6 à 7) et en rivière. Au sein d'un modèle, l'importance donnée à chaque étape du transfert ou compartiment est en général inégale selon l'objectif recherché : focalisé sur le rôle de la zone non saturée (7), de l'état de surface du sol (2, 4, 5), des chemins de l'eau (2, 5, 8), du karst (6), de la nappe (2).

Validation selon typologie de Bockstaller and Girardin (2003)

	Par dire d'expert	Comparaison avec observations	Comparaison avec autres modèles	Par usagers
Par dire d'expert	-	X	-	-
Comparaison avec observations	X	X	X	X
Comparaison avec autres modèles	-	-	-	-
Par usagers	-	-	-	X

Le mode de **validation** classique est la confrontation des simulations aux observations (de 1 à 7 et 9), par rapport à d'autres simulations (8), de façon directe ou par corrélation de rang pour les sorties de type score (8). Si les sorties du modèle ne peuvent être confrontées directement à des observations (10), l'acceptation par un panel d'experts peut constituer la seule étape de validation. L'appropriation du modèle par les usagers potentiels (exploitants agricoles, conseillers agricoles, gestionnaires de bassin, élus, ...) est une étape de validation cruciale pour les approches participatives (9, 10 et dans une moindre mesure 2).

Discussion

Les 10 exemples illustrent la diversité des approches ayant comme objectif général l'étude du transfert des pesticides en milieu agricole. L'analyse multicritère proposée permet de discuter des points clés permettant de guider le choix d'un modèle selon les objectifs attendus, les caractéristiques du modèle, son domaine de définition et d'application ainsi que les processus pris en compte. Le choix du modèle doit être également guidé par les caractéristiques du bassin versant et notamment par la hiérarchisation des processus de transfert prédominants. Ceci suppose une instrumentation spécifique (1, 2, 4, 5), la valorisation des données pré-existantes (3, 6, 7, 8, 9) ou une transposition du fonctionnement hydrologique de bassins voisins (10). Pour tester l'impact de changements de pratiques sur le transfert des pesticides, les itinéraires techniques doivent être suffisamment renseignés dans le modèle. Selon les domaines d'application des modèles, ces itinéraires sont obtenus par enquêtes exhaustives (4, 5, 7, 9), par typologies (2, 3, 10), ou réduits au minimum avec uniquement la dose (1, 6). Enfin, l'utilisateur d'un modèle doit être en mesure d'évaluer l'effet de la sensibilité des paramètres et de l'incertitude des données qu'il manipule sur le diagnostic qu'il porte. De telles analyses de sensibilité et de propagation de l'incertitude peuvent être réduites au test de quelques valeurs (8, 7, 9, 10) ou balayer l'ensemble des possibles notamment avec des approches de type Monte Carlo (1, 8).

Le mode de **validation** classique est la confrontation des simulations aux observations (de 1 à 7 et 9), par rapport à d'autres simulations (8), de façon directe ou par corrélation de rang pour les sorties de type score (8). Si les sorties du modèle ne peuvent être confrontées directement à des observations (10), l'acceptation par un panel d'experts peut constituer la seule étape de validation. L'appropriation du modèle par les usagers potentiels (exploitants agricoles, conseillers agricoles, gestionnaires de bassin, élus, ...) est une étape de validation cruciale pour les approches participatives (9, 10 et dans une moindre mesure 2).

Madier S., Levander T., Dubus I., 2006. Predictions of event-based pesticide flux at the catchment scale: a model evaluation exercise, 7th International Conference on Hydroinformatics, IHC 2006, Nice, France. Tortrat F., 2005. Modélisation orientée décision des processus de transfert par ruissellement et subsurface des herbicides dans les bassins versants agricoles. Thèse INRA, Rennes, France, 177 p. + annexes. Neitsch SL, Arnold JG, King JW, Williams JR, King KW, 2002. Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation. Temple, Texas, USA, 458 p. + annexes. Lecomte V., 1999. Transfert de produits phytosanitaires par le ruissellement et l'érosion de la parcelle au bassin versant. Thèse ENGREF, Paris, 231 p. + annexes. Grégoire C., Prachin N., Madier S., 2006. Gestion environnementale des risques dus à l'utilisation de produits phytosanitaires au sein d'un bassin versant viticole, apport d'un GIS, 35^{ème} congrès du GFP, Marne la Vallée, France. Abbott M, B., Bathurst J, O., Cunge J, A., Verwey A., O'Connell P, E. Et Rasmussen P, E., 1986. An introduction to the European hydrological System. Systeme Hydrologique European. "SHE": history and philosophy of a physically-based distributed modelling system. Journal of Hydrology, Vol 87, pp 45-59. Maison P., 2000. Un modèle hydrologique de suivi de la pollution diffuse en bassin versant. Approche multicritère des processus de la zone non saturée. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 203 p. de Bruyn 2003. Etude de la vulnérabilité des eaux de surface aux produits phytosanitaires : indicateur environnemental et modèle mécaniste, en vue d'une meilleure gestion du bassin versant de la Leyre (Garonne). Thèse Université Joseph-Fourier Grenoble, France, 255 p. Thiollet-Scholius M., 2004. Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface liés aux produits phytosanitaires à l'échelle du bassin versant viticole. Thèse Institut National Polytechnique de Lorraine, Colmar, France, 180 p. + annexes. Cernesson F., Barreteau O., 2003. DR case study - Participative design of an Agent-Based Model of pesticide diffusion (PHYLOU). In Report of the Workpackage 5 of the FIRMA Project, 45-69. Bockstaller, C., Girardin, B., 2003. How to validate environmental indicators. Agricultural Systems, 76, 2, 693-695.