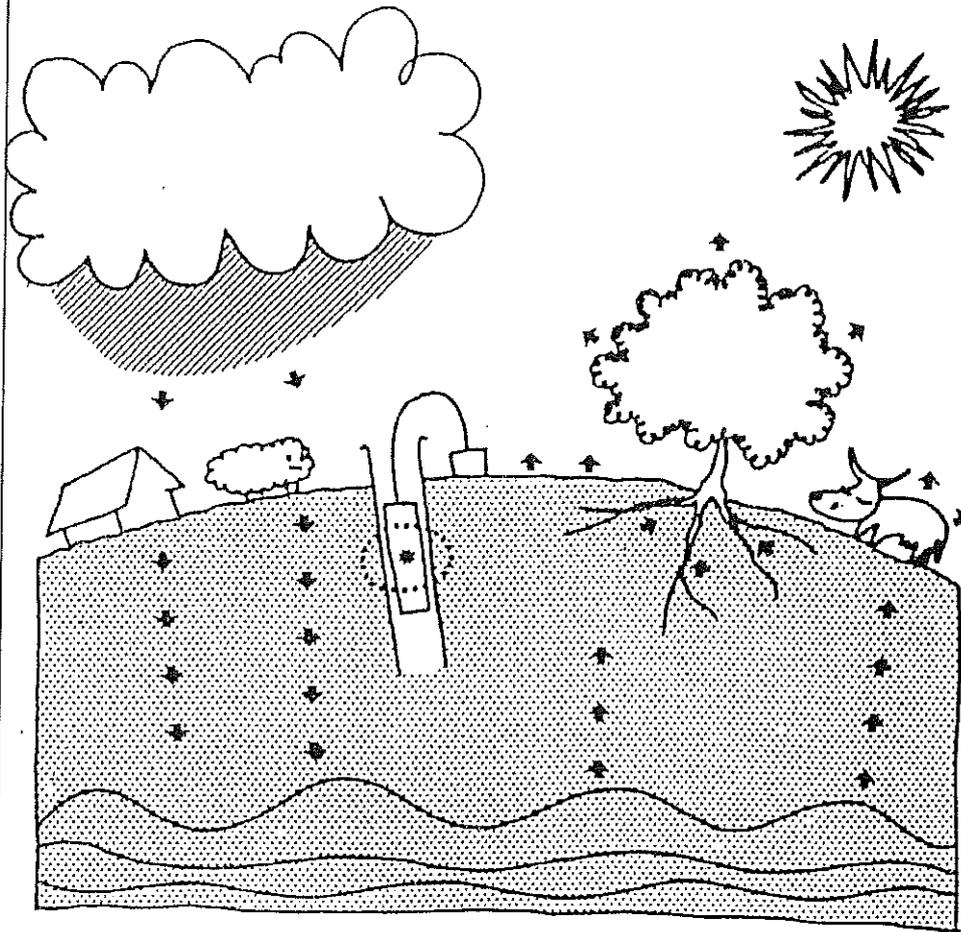


ISSN : 0997 - 1076

MILIEUX POREUX ET TRANSFERTS HYDRIQUES

BULLETIN DU GROUPE FRANCOPHONE HUMIDIMETRIE
ET TRANSFERTS EN MILIEUX POREUX



N° 56

Le Groupe Francophone Humidimétrie et traNsferTs en milieux poreux est le lieu de rencontre privilégié des

- agronomes,
- géotechniciens,
- pédologues,
- physiciens et mécaniciens du sol,
- hydrologues,
- géographes, ...

dont les préoccupations sont liées à la connaissance des transferts de l'eau dans les sols et matériaux poreux. A cet effet, il organise chaque année des journées scientifiques et édite régulièrement un bulletin.

Ce bulletin est publié semestriellement. Il comprend des articles scientifiques et des textes de communications aux journées du GFHN. Les sommaires des bulletins ou les résumés des articles sont publiés dans le Bulletin signalétique, Current Contents.

Le prix de l'inscription au GFHN, comprenant l'abonnement au bulletin, est de 50 € (un prix réduit est accordé aux adhérents individuels et étudiants). Les inscriptions (voir formulaire à photocopier en dernière page) sont à adresser à :

Jean-Pierre RAMEL, Trésorier du GFHN,
 CIRAME
 779 Chemin de l'Hermitage Hameau de Serres
 84200 CARPENTRAS FRANCE
 tél. : (33) 04 90 63 22 66
 fax : (33) 04 90 63 02 62
 e-mail : ramel-jp@agrometeo.fr

Pour tout renseignement complémentaire, notamment sur les Journées Scientifiques, vous pouvez consulter le site WEB du GFHN :

<http://www.gfhn.fr>

Coordonnées bancaires du compte GFHN.

code établissement	code guichet	n° de compte	clé rib	domiciliation
30041	00001	1945390K020	65	CCP PARIS

TRANSFERTS EN MILIEUX POREUX :
 HÉTÉROGÉNÉITÉ DES PROCESSUS
 ET DES PROPRIÉTÉS

BULLETIN DU G.F.H.N.

GRUPE FRANCOPHONE HUMIDIMÉTRIE
 ET TRANSFERTS EN MILIEUX POREUX

SIÈGE DE LA PUBLICATION

SECRETARIAT

Earth and Life Institute/ ELIE
 Mathieu Javaux
 GERU
 Croix du Sud, 2, bte L7.05.02
 B-1348 Louvain-la-Neuve
 Belgique
 tél. : +32 10 473708
 mathieu.javaux@uclouvain.be

CEMAGREF
 Carole Isbérie
 UMR G-EAU
 3275, route de Cézanne
 CS 40061
 13182 Aix en Provence cedex 5
 France
 tél. : +33 4 42 66 69 67
 carole.isberie@cemagref.fr

AgroSup Dijon
 Marjorie UBERTOSI
 Dép. Agronomie, Agroéquipement,
 Élevage et Environnement
 26, Bd Dr Petitjean
 BP 87999
 21079 DIJON cedex, France
 tél. : 03 80 77 23 46
 m.ubertosi@agrosupdijon.fr

**EVALUATION DE LA SENSIBILITÉ DES SOLS AU TRANSFERT DES
PESTICIDES VERS LES EAUX SOUTERRAINES EN WALLONIE
(BELGIQUE) AVEC LE METAMODÈLE METAPEARL**

BAH B.¹, MATTERN S.¹, VANCLOOSTER M.², OGER R.¹

¹ Centre wallon de Recherches agronomiques, Belgique, b.bah@cra.wallonie.be

² Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain, Belgique

RÉSUMÉ

Cette étude présente l'utilisation du métamodèle MetaPEARL (Tiktak et al., 2006) pour évaluer la sensibilité des sols au transfert des pesticides vers les eaux souterraines en Wallonie. MetaPEARL prédit la concentration de pesticide lixivié au bas du profil pédologique en fonction de données facilement disponibles sur les sols, le climat, et les propriétés des pesticides. MetaPEARL a été appliqué pour quatre pesticides génériques A, B, C et D (FOCUS, 2000). Les résultats obtenus montrent une sensibilité plus importante des sols de Wallonie aux transferts des pesticides de type A et B, permettant ainsi de distinguer des régions relativement contrastées d'un point de vue de la sensibilité de leurs sols au transfert des pesticides vers les eaux souterraines. Ce contraste régional est corrélé d'une part à la variabilité régionale des teneurs en matière organique des sols, et d'autre part au gradient pluviométrique nord-sud observé en Wallonie. On constate également que la concentration en pesticide lixivié est plus importante en automne qu'au printemps.

Mots clés : pesticides, sensibilité des sols, MetaPEARL, Wallonie.

ABSTRACT

**ASSESSMENT OF SOIL SENSITIVITY TO PESTICIDES LEACHING
TOWARDS GROUND WATER IN WALLONIA WITH THE METAMODEL
METAPEARL**

This study presents the results of the use of MetaPEARL (Tiktak et al., 2006) to assess the sensitivity of soil to pesticide leaching towards groundwater in Wallonia. MetaPEARL predicts the concentration of leached pesticides at the bottom of the soil profile in terms of available properties of soils, climate and pesticides. MetaPEARL has been applied for 4 generic pesticides A, B, C and D (FOCUS, 2000). The results show a more important sensitivity of pesticide leaching to soil type for pesticide A and B, allowing that way distinguishing rather contrasted areas in terms of pesticide leaching sensitivity at the regional scale. This regional contrast is correlated with the variability of organic matter and precipitation (important north-south gradient) at the regional scale. It is also demonstrated that the potential leaching is more important in the autumn than in spring.

Key words: pesticides, soil sensitivity, MetaPEARL, Wallonia.

1. INTRODUCTION

La pollution des ressources en eaux par les produits phytopharmaceutiques, communément appelés pesticides, reste un problème majeur pour la gestion durable

des eaux. En Wallonie (Belgique), 80% de l'eau de distribution provient des captages d'eau souterraine (DGARNE, 2010). Des indicateurs de risque de pollution des eaux souterraines par les pesticides sont donc nécessaires afin d'aider les autorités à atteindre les objectifs fixés par la législation.

Une alternative à l'utilisation directe d'un modèle complexe de lixiviation des pesticides consiste à le réduire en une équation mathématique (analytique) simple, par une étape de « métamodélisation », qui permet de conserver les comportements principaux du modèle mécanistique plus complexe d'origine. Nous utilisons, dans le cadre de cette étude, le métamodèle MetaPEARL (Tiktak et al., 2006) pour évaluer la sensibilité des sols de Wallonie au transfert des pesticides vers les eaux souterraines, et ainsi mettre en évidence le risque potentiel (vulnérabilité partielle liée au sol) de pollution des masses d'eau souterraines de Wallonie. L'évaluation de la sensibilité des sols est réalisée pour quatre pesticides « types » (A, B, C et D). Nous montrons dans cette étude que cette sensibilité est non seulement dépendante des paramètres pédologiques et climatiques, mais aussi de la précision des données spatiales disponibles pour réaliser ces prédictions.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Le métamodèle MetaPEARL

MetaPEARL décrit les principaux processus de lixiviation des pesticides vers les eaux souterraines, tout en minimisant l'effort et les données d'entrée requises (Tiktak et al., 2006). L'équation de MetaPEARL est la régression linéaire multiple suivante :

$$\ln(C_L) = \alpha_0 - \alpha_1 X_1 - \alpha_2 X_2 \quad (1)$$

Où α_0 , α_1 et α_2 sont les coefficients de régression linéaire, et X_1 (adimensionnel) et X_2 sont des variables de régression indépendantes, qui sont définies de la manière suivante :

$$X_1 = \frac{\mu \theta L}{q} \quad (2)$$

$$X_2 = \frac{\mu \cdot \rho \cdot f_{om} \cdot k_{om} \cdot L}{q} \quad (3)$$

Avec :

- C_L : concentration en pesticide lixivié à la profondeur considérée ($\mu\text{g L}^{-1}$);
- μ : coefficient de dégradation de premier ordre du pesticide (jour^{-1});
- θ : teneur en eau volumique du sol ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);
- L : profondeur du sol considérée (m);
- q : flux d'eau dans le sol (bilan hydrique) (m jour^{-1});
- ρ : densité apparente du sol (kg dm^{-3});
- f_{om} : fraction en matière organique (MO) du sol (g g^{-1} ou kg kg^{-1});

K_{om} : coefficient de partage du pesticide entre la matière organique et l'eau ($\text{dm}^3 \text{kg}^{-1}$).

2.2. Application de MetaPEARL en Wallonie

2.2.1. Calcul des variables d'entrée

Les données nécessaires au calcul des variables d'entrée pédologiques proviennent de la base de données Aardewerk (Van Orshoven & Vandebroucke, 1993), qui a accompagné la cartographie des sols de la Belgique. Certaines variables comme la densité apparente du sol, non directement disponibles dans Aardewerk, ont été estimées à partir de fonctions de pédotransfert¹.

Les données climatiques utilisées pour calculer la variable d'entrée hydrodynamique (flux d'eau dans le sol) proviennent de la base de données B-CGMS (Tychon et al., 2000). Ce flux d'eau (bilan hydrique) au bas du profil pédologique est calculé comme la différence entre la pluie et l'évapotranspiration potentielle.

Quatre pesticides types ont été choisis sur base des recommandations FOCUS (FOCUS, 2000). Leurs caractéristiques nécessaires à MetaPEARL sont reprises au tableau 1.

Tab. 1 - Propriétés des quatre pesticides types utilisés

Pesticide	K_{oc} ($\text{dm}^3 \text{kg}^{-1}$)	K_{om} ($\text{dm}^3 \text{kg}^{-1}$)	DT50 (jours)	μ (jours^{-1})
A	103	60	60	0,0116
B	17	10	20	0,0347
C	172	100	20	0,0347
D	60	35	20	0,0347

2.2.2. Détermination des paramètres de régression liés à la saison climatique

MetaPEARL a été calibré pour deux saisons climatiques, correspondant à deux périodes d'application des pesticides : printemps et automne. Les paramètres du modèle choisis pour ces deux saisons sont présentés au tableau 2. Ils correspondent à la zone climatique « TW - Temperate and Wet » (tempérée et humide) choisie pour nos régions.

Tab. 2 - Paramètres de MetaPEARL liés à la saison climatique (printemps ou automne)

Paramètre	Printemps	Automne
α_0	4,72	4,95
α_1	0,39	0,16
α_2	0,58	0,60

¹ Une fonction de pédotransfert utilise des données pédologiques brutes mesurées et reprises dans les bases de données pédologiques existantes pour estimer des données pédologiques non directement disponibles dans ces mêmes bases de données.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Estimation des concentrations en pesticides lixiviés pour la Wallonie

Les concentrations en pesticides lixiviés prédites par MetaPEARL augmente dans l'ordre suivant : pesticide B > pesticide A > pesticide C ≈ pesticide D, comme le montre la figure 1 pour une application annuelle en automne. Les sols de Wallonie sont donc plus sensibles à la lixiviation des pesticides A et B et moins sensibles pour les pesticides C et D. En effet, lorsque le K_{oc} (rétention du pesticide) est très élevé et que le DT50 (temps de demi-vie) est très faible, ce qui est le cas notamment pour le pesticide C (cf. Tab. 1), la concentration en pesticide lixivié est très faible (< 0,01 $\mu\text{g/L}$) tant au printemps qu'en automne.

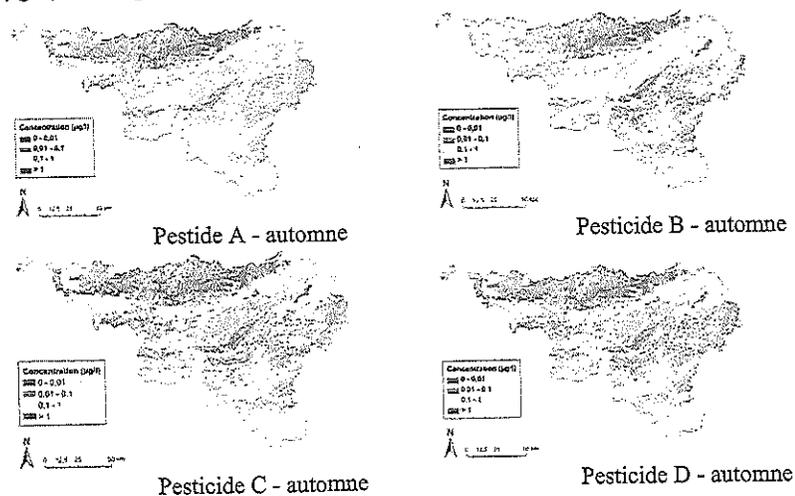


Fig. 1 - Concentrations en pesticides A, B, C et D lixiviés prédites pour des applications des pesticides en automne

Le fort contraste régional observé pour le pesticide B souligne une bonne corrélation avec les teneurs en matière organique d'une part, et le gradient pluviométrique nord-sud d'autre part.

Par ailleurs, on constate, surtout pour les pesticides A et B, que MetaPEARL prédit des concentrations en pesticides lixiviés plus importantes en automne qu'au printemps. Ceci confirme le fait que la fraction de pesticide qui percole en profondeur est extrêmement sensible à la quantité de pluie, surtout au cours de la période qui suit directement l'application du produit, comme l'ont également montré Tiktak et al. (2006).

3.2. Analyse de sensibilité et d'incertitude de MetaPEARL

L'analyse de sensibilité s'est focalisée uniquement sur les paramètres pédologiques. Les résultats obtenus montrent que les variables d'entrée pédologiques de MetaPEARL les plus sensibles vis-à-vis des concentrations en pesticide lixivié prédites sont par

ordre d'importance l'épaisseur du profil de sol, la densité apparente et la teneur en MO du sol, tel que l'ont également montré Vanclooster et al. (2009).

Une analyse d'incertitude, selon la technique de Monte Carlo, réalisée sur les trois variables les plus sensibles (épaisseur du profil de sol, densité apparente² et teneur en MO du sol) permet d'observer une dispersion (cf. Fig. 2) très importante des concentrations en pesticide lixivié prédites. Ces trois paramètres requièrent donc une plus grande précision spatiale, afin de réduire l'imprécision liée à MetaPEARL.

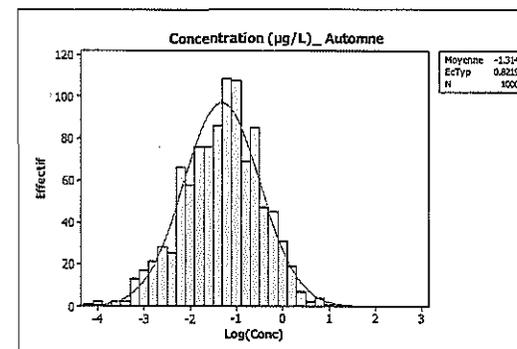


Fig. 2 - Histogrammes de distribution de fréquences des 1000 prédictions aléatoires des concentrations en pesticide lixivié pour un sol "Gbbp0_1"³ en automne

4. CONCLUSIONS

MetaPEARL a été appliqué à l'échelle de la Wallonie pour quatre pesticides types (A, B, C et D), et pour deux saisons climatiques (printemps et automne). On observe une sensibilité importante des sols à la lixiviation des pesticides de type A et B, et une faible sensibilité pour les pesticides de type C et D.

L'analyse de sensibilité de MetaPEARL pour les paramètres pédologiques et hydrodynamiques montre qu'il faut rester attentif à l'estimation de l'épaisseur du sol, de la densité apparente et de la teneur en matière organique du sol, sous peine d'affecter une grande incertitude aux concentrations prédites par MetaPEARL. L'analyse d'incertitude montre par ailleurs que l'imprécision spatiale associée aux données les plus sensibles (l'épaisseur du sol, la densité apparente et la matière organique) engendre une dispersion très importante des concentrations en pesticide lixivié prédites. Cette dernière analyse met en lumière l'importance de la prise en compte de l'incertitude liée aux concentrations en pesticide prédites, due notamment à

² Seule la densité apparente de la fraction minérale (VMF) a été testée, afin d'éviter des redondances avec la variable "matière organique", qui est testée à part.

³ Sols limono-caillouteux à charge psammitique ou schisto-psammitique et à drainage naturel favorable, profonds (plus de 125 cm de profondeur).

la variabilité spatiale des données d'entrée, dans le cadre de l'évaluation des risques de pollution des eaux par les pesticides.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

FOCUS, 2000 – FOCUS groundwater scenarios in the EU review of active substances. Report of the FOCUS Groundwater Scenarios Workgroup. *EC Document Reference Sanco/321/2000 rev.2*, 202 pages.

DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT, 2010 – Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie. <http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas>, *Namur-Jambes*, 23 pages.

TIKTAK A., BOESTEN J., VAN DER LINDEN A.M.A., VANCLOOSTER M., 2006 – Mapping ground water vulnerability to pesticide leaching with a process-based metamodel of EuroPEARL. *J. Environ. Qual.*, 35, 1213-1226.

TYCHON B., DEHEM D., EERENS H., VERHEIJEN Y., VEROUSTRAETE F., WOUTERS K., OGER R., BUFFET D., 1995 – Prévission des productions végétales à l'échelle nationale basée sur un système intégré "Modèle agrométéorologique-Téledétection". *Ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture, OSTC, VITO. Rapport final*, 146 pages + 73 pages (annexes).

VANCLOOSTER M., BAH B., OGER R., TIKTAK A., 2009., 2004 – Impact of short range variability of soil and subsance properties on regional scale atrazine exposure to groundwater. *En attente de publication*.

VAN ORSHOVEN J. & VANDENBROUCKE D., 1993 – Guide de l'utilisateur de AARDEWERK. Base de données de profils pédologiques. *Rapport 18B*, 46 pages.