



**HAL**  
open science

## **Modélisation du transfert de deux herbicides en plein champ dans un système de culture maïs conventionnel : comparaison des modèles MACRO, PEARL et PRZM**

Jesús-María Marín-Benito, Valerie Pot-Genty, Lionel Alletto, Carole Bedos,  
Enrique Barriuso, Pierre Benoit, Laure Mamy

### ► To cite this version:

Jesús-María Marín-Benito, Valerie Pot-Genty, Lionel Alletto, Carole Bedos, Enrique Barriuso, et al.. Modélisation du transfert de deux herbicides en plein champ dans un système de culture maïs conventionnel : comparaison des modèles MACRO, PEARL et PRZM. 45e Congrès du Groupe Français des Pesticides "Devenir et impact des pesticides : verrous à lever et nouveaux enjeux, May 2016, Versailles, France. hal-01608164

**HAL Id: hal-01608164**

**<https://hal.science/hal-01608164>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

# Modélisation du transfert de deux herbicides en plein champ dans un système de culture de maïs conventionnel : comparaison des modèles MACRO, PEARL et PRZM

Marín-Benito Jesús-María<sup>(1)</sup>, Pot Valérie<sup>(1)</sup>, Alletto Lionel<sup>(2)</sup>, Bedos Carole<sup>(1)</sup>, Barriuso Enrique<sup>(1)</sup>, Benoit Pierre<sup>(1)</sup>, Mamy Laure<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> INRA-AgroParisTech UMR 1402 ECOSYS, 78850 Thiverval-Grignon – [jmmarin1981@hotmail.com](mailto:jmmarin1981@hotmail.com), [vpot@grignon.inra.fr](mailto:vpot@grignon.inra.fr), [bedos@bcgn.grignon.inra.fr](mailto:bedos@bcgn.grignon.inra.fr), [barriuso@grignon.inra.fr](mailto:barriuso@grignon.inra.fr), [benoit@grignon.inra.fr](mailto:benoit@grignon.inra.fr), [laure.mamy@versailles.inra.fr](mailto:laure.mamy@versailles.inra.fr)

<sup>(2)</sup> Université de Toulouse - INPT - École d'ingénieurs de Purpan UMR 1248 AGIR, 75 voie du TOEC BP 57611, 31076 Toulouse – [lionel.alletto@purpan.fr](mailto:lionel.alletto@purpan.fr)

## I Introduction

Les pesticides utilisés en agriculture peuvent engendrer des phénomènes de contamination de l'environnement et en particulier des eaux souterraines. Ainsi, de nombreux modèles ont été développés pour estimer les risques liés au transfert des pesticides vers l'eau, mais aussi vers le sol et l'atmosphère. L'objectif de ce travail est d'évaluer et de comparer la capacité de trois modèles (MACRO, PEARL et PRZM) à décrire le transfert vertical de deux herbicides en plein champ dans un système de culture de maïs conventionnel. Ces modèles ont été choisis car ils prennent en compte différents processus impliqués dans le devenir des pesticides.

## II Matériels et méthodes

Les simulations sont basées sur des expérimentations en plein champ réalisées sur le site de Lamothe près de Toulouse (France). Le système de culture étudié correspond à une monoculture de maïs irriguée avec une interculture en sol nu.

Deux herbicides du maïs ont été appliqués : le S-métolachlore (Kd = 0,8 L/kg et DT50 = 29 j dans l'horizon de surface (Alletto et al., 2013), doses appliquées 1.25 kg/ha en 2011 et 1.52 kg/ha en 2012) et la mésotrione (Kd = 0,48 L/kg et DT50 = 15,8 j dans l'horizon de surface (Dyson et al., 2002), deux fois 0.15 kg/ha en 2012).

Les trois modèles, MACRO 5.2 (Larsbo et Jarvis, 2003), PEARL 4.4.4 (Leistra et al., 2001) et PRZM 3.21 (Carsel et al., 1998), ont été paramétrés de manière identique, avec toutes les données expérimentales disponibles spécifiques au site. Les données manquantes (Kd, DT50, propriétés hydrodynamiques) ont été obtenues à partir de la littérature et de fonctions de pédo-transfert. Les données climatiques proviennent d'une station météorologique située sur le site. Les résultats des simulations ont été confrontés aux teneurs en eau et températures du sol mesurées à différentes profondeurs (20 cm, 50 cm, 100 cm) et aux concentrations en pesticides mesurées dans des plaques lysimétriques (- 100 hPa) situés à 1 m de profondeur.

Pour évaluer la performance des modèles, l'efficacité, EF, a été calculée à partir de la formule suivante (Nash et Sutcliffe, 1970) :

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

Avec  $O_i$  : valeur observée,  $\bar{O}$  : moyenne des  $O_i$ ,  $S_i$  : valeur simulée et  $n$  : nombre de mesures.

La correspondance entre simulations et observations est parfaite lorsque  $EF = 1$ .

### III Résultats et discussion

Une phase de calage des modèles, réalisée en deux étapes, s'est avérée nécessaire car le paramétrage initial avait conduit à des valeurs simulées parfois très différentes des valeurs observées : (1) calage de la dynamique de l'eau ; (2) calage de la DT50 de la mésotriène. En effet, la DT50 de la mésotriène avait été initialement estimée à partir du pH du sol (Dyson et al., 2002), mais la valeur obtenue (7,9 jours) a dû être multipliée par deux pour que les modèles reproduisent mieux les observations.

#### 1 Bilan hydrique

Dans l'horizon 0-20 cm, MACRO et PEARL simulent correctement et de manière identique la dynamique de l'eau (Figure 1, Tableau 1). En revanche, dans les horizons plus profonds (20-50 cm et 50-100 cm), PEARL simule un degré de saturation du sol plus important que MACRO car l'évapotranspiration simulée par MACRO est supérieure à celle de PEARL (résultats non présentés).

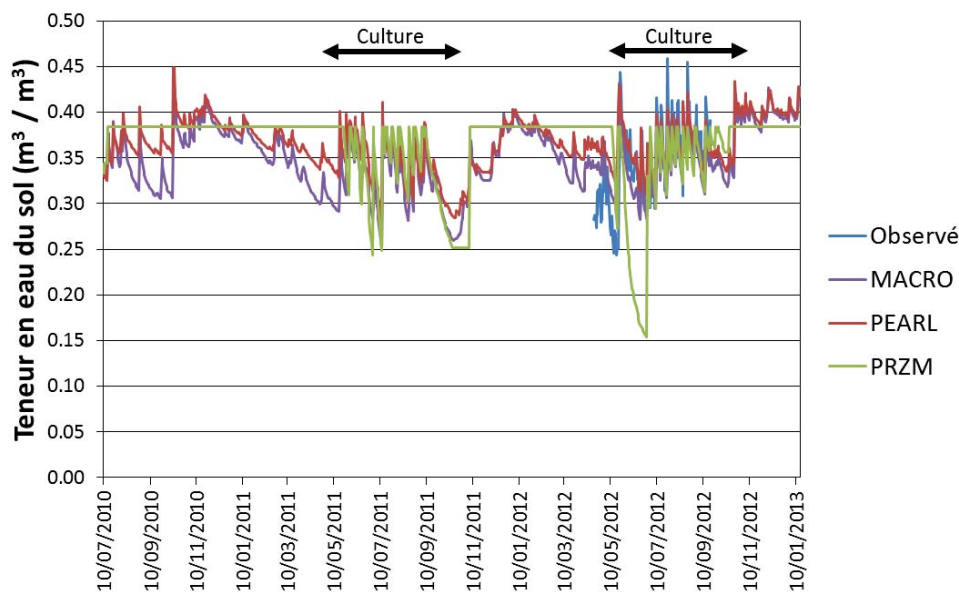


Figure 1. Exemple de la teneur en eau du sol à 20 cm de profondeur, observée (sondes TDR) et simulée par MACRO, PEARL et PRZM (Marín-Benito et al., 2014).

Pendant une saison culturale complète, les performances de MACRO et PEARL sont différentes pour les périodes correspondant à la croissance du maïs (humectation du profil liée à l'irrigation) et à l'interculture en sol nu (dessèchement du profil). Les modèles simulent bien la dynamique hydrique en période d'humectation mais moins bien en période d'interculture, probablement parce qu'aucun d'entre eux ne permet de considérer des propriétés hydrodynamiques (telles que la conductivité hydraulique) variables au cours du temps. PRZM ne simule pas correctement la dynamique de l'eau en interculture : il considère généralement que la teneur en eau du sol reste à la capacité au champ (Figure 1). Toutefois, en présence du maïs, PRZM reproduit les mêmes fluctuations de teneurs en eau que celles simulées par MACRO et PEARL (Marín-Benito et al., 2014).

#### 2 Température du sol

La vitesse de dégradation des pesticides dans les sols dépend fortement de la température, il est donc essentiel que les modèles soient capables de reproduire correctement la température du sol observée *in situ*. Les résultats ont montré que la performance des trois modèles pour décrire les évolutions de la température dans tout le profil est élevée (Figures 2 a & b, Tableau 1) (Marín-Benito et al., 2014). Toutefois, dans les horizons plus profonds, PEARL est moins performant que MACRO et PRZM (Figure 2b, Tableau 1). En effet, dans le cas du modèle PEARL, la température est considérée comme constante à la base du profil de sol contrairement aux deux autres modèles.

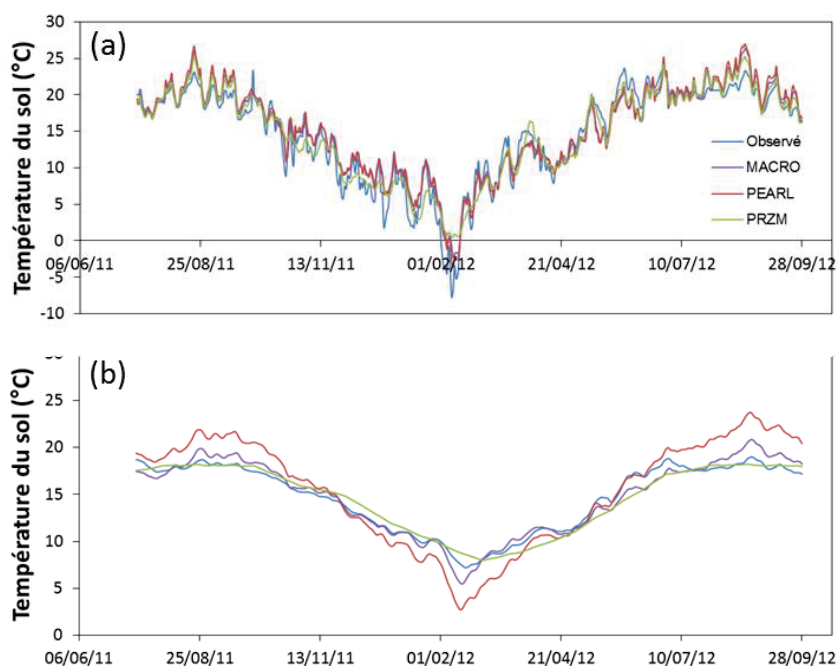


Figure 2. Exemples de la température du sol à 20 cm (a) et à 1 m (b) de profondeur, observée (sondes de température) et simulée par MACRO, PEARL et PRZM (Marín-Benito et al., 2014).

Tableau 1. Efficacité (EF) de MACRO, PEARL et PRZM à simuler la teneur en eau et la température du sol à trois profondeurs: 0-20 cm, 20-50 cm, 50-100 cm (Marín-Benito et al., 2014).

	MACRO	PEARL	PRZM
Teneur en eau du sol			
0-20 cm	0.47	0.34	- 1.79
20-50 cm	0.19	- 0.46	- 1.31
50-100 cm	- 0.65	- 0.82	- 2.75
Température du sol			
0-20 cm	0.92	0.92	0.92
20-50 cm	0.89	0.78	0.94
50-100 cm	0.94	0.57	0.94

### 3 Transfert des herbicides

Les observations indiquent que le S-métolachlore est présent dans les lixiviats à 1 m de profondeur 404 jours après son application, puis la concentration diminue jusqu'à devenir inférieure à la limite de détection. La mésotrione, quant à elle, est détectée dans les lixiviats 19 jours après son application à des concentrations similaires à celles du S-métolachlore bien que la dose soit dix fois inférieure. Pour les deux matières actives, les modèles ont tendance à sous-estimer les concentrations par rapport aux données expérimentales (Figure 3). Toutefois, tous les modèles surestiment la concentration en S-métolachlore observée en décembre 2012 et PRZM surestime les concentrations en mésotrione observées en octobre et décembre 2012 (Figure 3). Dans tous les cas, les concentrations simulées restent cependant du même ordre de grandeur que les observations (Marín-Benito et al., 2014). PRZM prédit les concentrations en pesticides les plus élevées car il surestime les flux d'eau verticaux (Figure 3). Ceci est souvent observé pour les modèles utilisant une approche capacitive pour la description de la dynamique de l'eau (Gottesbüren et al., 2000).

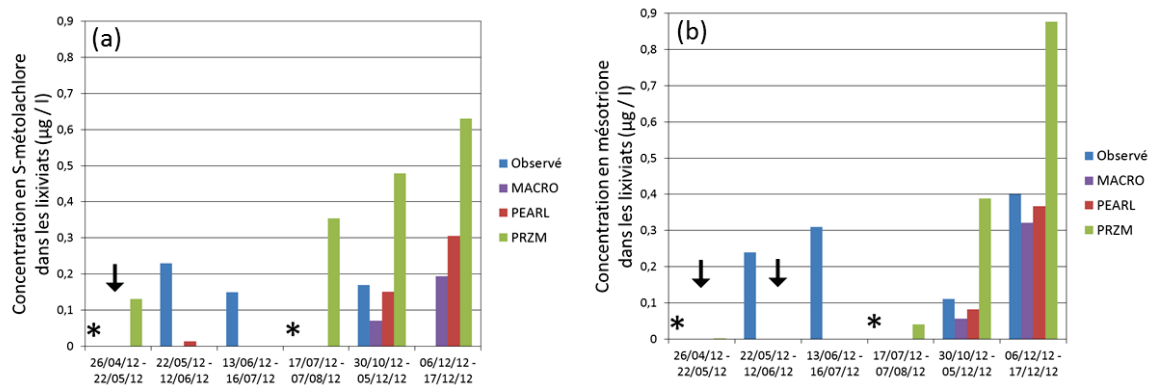


Figure 3. Concentrations moyennes en (a) *S*-métolachlore et (b) mésotrione dans les lixiviats, observées (lysimètres) et simulées par les modèles MACRO, PEARL et PRZM. Le symbole « ↓ » indique la date d'application de l'herbicide et le symbole « \* » indique une absence de mesure (volumes d'eau dans les lysimètres trop faibles pour réaliser des analyses) (Marín-Benito et al., 2014).

#### IV Conclusion

Pour la première fois, les modèles MACRO, PEARL et PRZM ont été paramétrés de manière identique afin de les comparer rigoureusement.

Les résultats montrent que la performance des trois modèles pour décrire la température du sol est élevée.

Concernant la représentation de la dynamique de l'eau, MACRO et PEARL s'avèrent être les plus performants.

D'une manière générale, les modèles sont capables de reproduire correctement la lixiviation observée des herbicides à 1 m de profondeur mais uniquement après une phase de calage de certains paramètres d'entrée (propriétés hydrodynamiques, DT50 de la mésotrione).

En résumé, MACRO et PEARL sont les modèles les plus performants pour estimer les concentrations en pesticides dans une monoculture de maïs irriguée.

#### V Références

Alletto L, Benoit P, Bolognesi B, Couffignal M, Bergheaud V, Dumény V, Longueval C, Barriuso E, 2013. Sorption and mineralisation of *S*-metolachlor in soils from fields cultivated with different conservation tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 128 : 97-103.

Carsel RF, Imhoff JC, Hummel PR, Cheplick JM, Donigian Jr AS, 1998. PRZM-3: a model for predicting pesticide and nitrogen fate in the crop root and unsaturated soil zones: user's manual for release 3.12. Athens, GA: National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.

Dyson JS, Beulke S, Brown CD, Lane MCG, 2002. Adsorption and degradation of the weak acid mesotrione in soil and environmental fate implications. *Journal of Environmental Quality*, 31 : 613-618.

Gottesbüren B, Aden K, Bärlund I, Brown C, Dust M, Görlitz G, Jarvis N, Rekolainen S, Schäfer H, 2000. Comparison of pesticide leaching models: results using the Weiherbach data set. *Agricultural Water Management*, 44 : 153-181.

Larsbo M, Jarvis NJ, 2003. MACRO 5.0. A model of water flow and solute transport in macroporous soil. Technical description. Rep EmergoUppsala, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences, 49 p.

Leistra M, van der Linden AMA, Boesten JJTI, Tiktak A, van den Berg F, 2001. PEARL model for pesticide behaviour and emissions in soil-plant systems: description of the processes. *Alterra Rep 13*. The Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Wageningen, 115 p.

Marín-Benito JM, Pot V, Alletto L, Mamy L, Bedos C, Barriuso E, Benoit P, 2014. Comparison of three pesticide fate models with respect to the leaching of two herbicides under field conditions in an irrigated maize cropping system. *Science of the Total Environment*, 499 : 533-545.

Nash JE, Sutcliffe JV, 1970. River flow forecasting through conceptual models, part I: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10 : 282-290.

## **VI Remerciements**

Action menée dans le cadre du projet MicMac Design financé par l'ANR Systerra (ANR-09-STRA-06) et du projet ECoPESt financé par l'APR 2011 du programme de recherche « Evaluation et réduction des risques liés aux pesticides » piloté par le Ministère en charge de l'écologie, avec l'appui financier de l'ONEMA, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto piloté par le ministère chargé de l'agriculture.

*Mots-clés : performance des modèles, lixiviation, pesticides, S-métolachlore, mésotrione*