

# Modèle MACRO

Version : 5.2

La simulation des transferts des produits phytosanitaires en 1D

LOGAR

(Liaison Opérationnelle pour la Gestion de l'Aquifère Rhénan)

## Contact (F)

Nicolas SURDYK

BRGM

+33 238 64 35 74

n.surdyk@brgm.fr

## L'essentiel à savoir sur MACRO

Le modèle MACRO est un modèle 1D décrivant le transport de l'eau et des solutés en régime transitoire dans des milieux poreux. Il utilise des équations physiques ou des schémas conceptuels de fonctionnement pour simuler les différents transferts d'eau et de solutés dans les sols.

La simulation à l'aide de MACRO permet d'aborder différents phénomènes intervenant dans les transferts d'un produit phytosanitaire dans un sol : l'hydrologie, la climatologie, le développement du couvert végétal, la pédologie et les phénomènes d'atténuation spécifiques aux produits phytosanitaires (adsorption, dégradation).

La spécificité de MACRO par rapport à d'autres modèles est qu'il peut décrire le sol en deux compartiments : les micropores et les macropores. Les macropores représentent les failles dues aux retrait/gonflement des argiles ou des vides laissés vacants après la mort de racines ou le passage de vers. Afin de décrire les deux compartiments, la porosité totale du sol est scindée en deux domaines. Chaque domaine est caractérisé

par une vitesse différente pour les transferts d'eau et de produits phytosanitaires. La vitesse dans les macropores est plus rapide que celle dans les micropores. MACRO est considéré comme l'un des modèles les plus performants pour la simulation de transfert de produits phytosanitaires notamment grâce à cette prise en compte de la macroporosité (FOCUS, 2000).

### **Auteurs des concepts et de l'outil**

Ce modèle suédois, qui a été mis au point par Jarvis et al. (1991), a bénéficié de nombreuses améliorations (par exemple Larsbo et al., 2003). Il existe plusieurs versions du modèle, la dernière étant la 5.2. MACRO-DB est un outil de décision souvent utilisé conjointement avec MACRO. Il incorpore une base de données aidant au calcul des paramètres d'entrée du modèle. La version Focus. MACRO est une version pré-paramétrée utilisée dans de nombreux pays européens (comme la France ou la Suède) pour statuer sur l'homologation des produits phytosanitaires en Europe.

### **MACRO : une brique dans le système de modélisation LOGAR**

Dans le cadre du transfert des produits phytosanitaires, MACRO est la première brique de la modélisation LOGAR. Le modèle MACRO permet de simuler les transferts d'eau et de produits phytosanitaires dans les premiers horizons de sols. Ces informations constituent ensuite une donnée d'entrée du modèle hydrodynamique (Surdyk et al, 2011).

Dans les premières versions de la modélisation LOGAR, une fonction de pédotransfert était utilisée pour simuler le transfert dans la zone non saturée. Dans sa version actuelle, il s'agit de la même fonction de transfert que celle utilisée pour le modèle Stoffbilanz (concernant les transferts de nitrates). Bien que les nitrates et les produits phytosanitaires n'aient pas le même comportement, cette simplification néanmoins réaliste en l'état des connaissances, a été réalisée pour rendre la modélisation LOGAR plus homogène spatialement.

### **Aspects informatiques**

Le modèle Macro est codé en fortran. Jusqu'à la version 4.3, l'appel du modèle était réalisé via une console Dos. Depuis la version 5.0, l'appel est réalisé grâce à une interface GUI écrite en Microsoft Visual Basic 2008. Les versions 4.3 et antérieures sont écrites pour des systèmes en 32 bits et il semblerait qu'il soit impossible de les exécuter avec des micro-processeurs en 64 bits. Ce problème n'existe pas avec la version 5.0 et les suivantes.

## Mise en œuvre du modèle MACRO dans le cadre du réseau LOGAR

### Domaine d'application

Le modèle MACRO permet de simuler le transfert des produits phytosanitaires dans les sols en une dimension. Ainsi, Il peut gérer les hétérogénéités dans une seule dimension (la profondeur). Pour prendre en compte l'hétérogénéité spatiale, due par exemple à la variation de sols ou de climats, plusieurs simulations sont nécessaires.

### Limites d'utilisation

Dans MACRO, l'accent est mis sur les transferts issus d'une parcelle cultivée vers les eaux souterraines. La principale voie de transfert à simuler est donc l'infiltration, les autres voies de transfert ayant moins d'influence sur les eaux souterraines. En effet, les pertes par volatilisation influencent le compartiment atmosphérique. De même, le ruissellement n'a pas d'action directe sur les teneurs en produits phytosanitaires dans la nappe car il n'influence que les eaux superficielles. Ces deux types de transfert, volatilisation et ruissellement, ne sont pas pris en compte dans MACRO. De même, les relations nappe-rivière ne sont pas prises en compte. MACRO étant un modèle 1D, il ne peut pas répondre aux questions concernant les transferts latéraux.

### Données d'entrée du modèle MACRO

Date et dose d'application : Dans MACRO, une date et une dose d'application doivent être définies pour l'application de chaque molécule simulée. Les dates d'application et les doses peuvent être dépendantes pour chaque année étudiée.

Paramètres des substances : un paramètre rendant compte de la capacité de dégradation (DT50) et un paramètre rendant compte de la capacité de sorption sur la matière organique du sol (Koc) sont nécessaires. Ces paramètres sont généralement disponibles dans des bases de données mises à disposition au niveau international.

Paramètres agronomiques : un jeu de paramètres rendant compte de la période de culture (date de semis, date de récolte,...) et du potentiel du succion d'eau de la plante (profondeur des racines,...) sont nécessaires. Le nombre de paramètres disponibles pour différencier les plantes est élevé, MACRO est un modèle à vocation européenne et des différences de conduite de culture peuvent apparaître en fonction des pays. Un groupe de travail européen (FOCUS, 2001) a fourni des valeurs par défaut pour les cultures principales d'Europe.

Paramètres de sol : Une série de paramètre permettre de gérer l'écoulement vertical pour chaque sol. Ces paramètres permettre de gérer les écoulements d'eau dans la matrice ainsi que dans les macropores (Richards, 1931 ; Mualem, 1976 ; Van Genuchten, 1980). Pour prendre en compte les écoulements préférentiels, une équation d'écoulement spécifique est implémentée. Il est ainsi possible de faire la différence entre les sols sable et argileux. Les paramètres de ces équations doivent donc être obtenus pour simuler les transferts d'eau et de solutés.

Paramètre climat : les précipitations et l'évapotranspiration sont nécessaires pour calculer les transferts d'eau dans les zones étudiées.

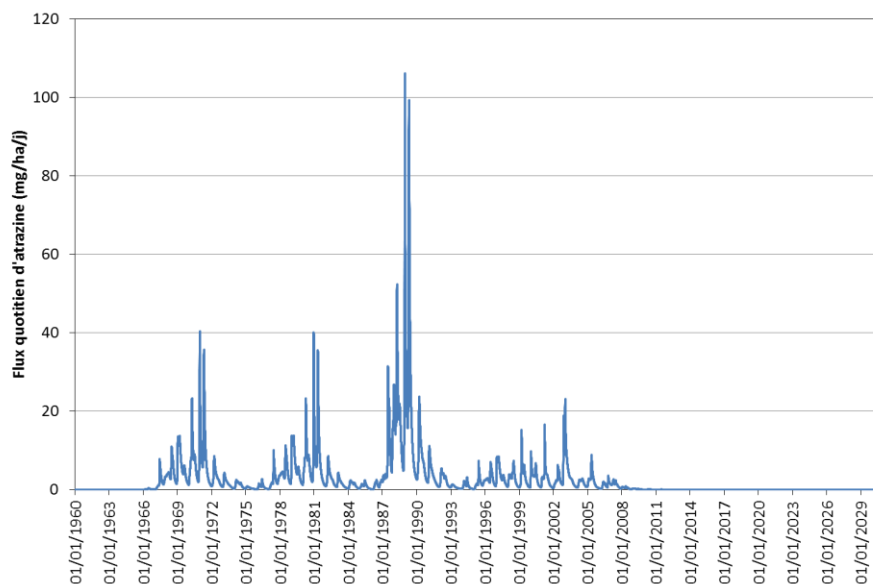
Autres paramètres : Un ensemble de paramètres annexe doivent être renseignés (paramètre de fonte des neiges, profondeur de mélange entre pluie et humidité du sol...). Les valeurs par défaut sont généralement utilisées pour ces paramètres annexes. Ils sont peu nombreux et les études de sensibilité ont montré que leur influence était limitée (Dubus et al., 2002; Dubus et al., 2003).

Au total, MACRO nécessite 70 paramètres d'entrée différents. Une description détaillée de chaque paramètre d'entrée a été proposée par un groupe de travail Européen (FOCUS, 2001).

### Résultats de simulation de MACRO

Les résultats issus de MACRO (dans le cadre de LOGAR) sont des quantités d'eau et de produits phytosanitaires. Ces quantités sont assemblées pour calculer des condensations de produits phytosanitaires au-delà de l'horizon racinaire.

Une simulation est nécessaire à chaque changement de modalité : climat, sol ou produit phytosanitaire. Le graphique ci-dessous présente le flux de produits phytosanitaires (ici, l'atrazine) pour un sol et un climat. La simulation proposée court du 1/1/1960 au 31/12/2030. Alliée à une simulation du flux d'eau sur la même période, une concentration pourra être calculée.



### Exemple de sortie macro dans le cadre de LOGAR : Chronique de flux simulés pour l'atrazine

Le modèle MACRO peut fournir une quantité importante de résultats (environ 40 sorties différentes) mais la plupart n'a pas été utilisée dans le cadre de LOGAR. Par exemple, des résultats par horizon ou des résultats concernant le développement végétal sont disponibles.

## Description de la méthode

L'objectif du projet " LOGAR " est de modéliser et de prédire les transferts d'eau et de solutés grâce au couplage de modèles robustes. Dans le cadre des produits phytosanitaires, les modèles sont MACRO (en 1D) et MODFLOW (en 3D). Il s'agit de prédire les transferts d'eau et de produits phytosanitaires à travers le sol (MACRO) puis dans la nappe (MODFLOW).

Le modèle unidimensionnel (logiciel MACRO) simulant les transferts de produits phytosanitaires dans le sol (jusqu'à un mètre de profondeur) a été utilisé afin de fournir les données d'entrée d'un autre modèle hydrodynamique. La mise en œuvre du premier modèle (1D) a été nécessaire afin de zoomer sur le premier mètre du sol qui joue un rôle capital dans la rétention et la dégradation des produits phytosanitaires. Les données issues des modélisations MACRO ont été fournies sous forme de fichiers pouvant être utilisés comme termes sources (entrée) dans le logiciel de modélisation MODFLOW, mis en œuvre dans le cadre du projet LOGAR.

Les simulations MACRO modélisent le devenir des produits phytosanitaires pour chaque combinaison "sol" x "climat" x "culture" x "substance". Le volume de pluie, la fréquence des pluies, le délai pluie-application, la teneur en matière organique, la profondeur du sol, le type de culture et la date d'application sont parmi les nombreux facteurs influençant le devenir des produits phytosanitaires, et chaque combinaison amène potentiellement à un transfert différent. Il n'a pas été nécessaire, ni possible, de simuler toutes les combinaisons agro-pédo-climatiques existantes sur le site de l'étude. En effet, seules les combinaisons prépondérantes le long du Fossé Rhéna ont été étudiées, en omettant celles qui associent des types de sols qui recouvrent de toutes petites surfaces, et certaines cultures peu cultivées sur la région.

Les données utilisées sont nombreuses et ont plusieurs sources, néanmoins il est possible de distinguer :

- Données pédologiques : 30 zones de sols ont été sélectionnées
- Données phytosanitaires : Dans une première phase, les transferts de 4 produits phytosanitaires (atrazine, métholachore, bentazone, et 2,4-D) et d'un métabolite (déséthyl-atrazine) ont été simulés (Surdyk et al., 2011). Dans une seconde phase, 2 autres produits phytosanitaires ont été simulés (dicamba et nicosulfuron -Surdyk, 2016) Les doses et les périodes d'application ont été sélectionnées d'après des enquêtes sur des parcelles agricoles.
- Données agronomiques : 2 cultures (blé et maïs) ont été sélectionnées, en lien logique avec les produits sélectionnés.
- Données climatiques : 5 zones climatiques ont été sélectionnées pour les simulations.

L'ensemble des données principales proviennent du consortium (LUBV, ARAA, LTZ).

Un certain nombre de paramètres n'ont pas pu être fournis par le consortium. Ces paramètres d'entrée du modèle MACRO ont été déterminés à partir des données bibliographiques et des fonctions de pédotransfert.

Les flux d'eau et de solutés par substance phytosanitaire ont été attribués à chaque maille d'un modèle hydrodynamique.

### Pour plus d'information

Dubus, I. G., Brown, C. D. (2002). Sensitivity and first-step uncertainty analyses for the preferential flow model MACRO. *Journal of Environmental Quality* 31: 227-240.

Dubus, I. G., Brown, C. D., Beulke, S. (2003). Sensitivity analyses for four leaching models. *Pest Management Science* 59: 962-982.

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 p.

FOCUS (2001). FOCUS Surface water scenarios in the EU evaluation process under 91/414/EEC. Report of the FOCUS Working group on surface Water scenarios. EC Document Reference SANCO/4802/2001 rev.2, 245 p.

Jarvis, N. J., Jansson, P.-E., Dik, P. E. and Messing, I. (1991) Modelling water and solute transport in macroporous soil. I. Model description and sensitivity analysis. *Journal of Soil Science* 42, 59-70.

Larsbo, M., Jarvis, N. (2003). MACRO 5.0. A model of water flow and solute transport in macroporous soil. Technical description. *Emergo* 2003:6. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, Uppsala, Sweden.

Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research* 12: 513-522.

Richards, L. A. (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1 (5): 318-333.

Surdyk, N., (2015). Modélisation des transferts de deux nouveaux produits phytosanitaires dans les sols de la vallée du Rhin Supérieur. Rapport final. Rapport BRGM, RP-65219-FR. 27p.

Surdyk, N., Urban, S. (2011). Modélisation des transferts de produits phytosanitaires dans les sols de la vallée du Rhin Supérieur. Rapport final. Rapport BRGM, RP-60246-FR. 69p

Van Genuchten, M. T. (1980). A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44: 892-898.

### Sites internet

<http://www.slu.se/en/collaborative-centres-and-projects/centre-for-chemical-pesticides-ckb1/areas-of-operation-within-ckb/models/macro-52/>

<http://www.slu.se/en/collaborative-centres-and-projects/centre-for-chemical-pesticides-ckb1/areas-of-operation-within-ckb/models/macroinfofocus/>

<http://www.logar2050.com>

## **LOGAR : Un réseau de coordination transfrontalière pour la protection de la nappe du Rhin supérieur**

*Le réseau d'experts pour une « Liaison Opérationnelle pour la Gestion de l'Aquifère Rhénan (LOGAR) » rassemble les acteurs et les compétences techniques permettant de disposer d'outils d'aide à la décision spécifiques à la protection de la nappe du Rhin supérieur. Il élabore à l'échelle transfrontalière les outils de modélisations nécessaires aux travaux de simulation prospective sur l'évolution spatiale et temporelle de la qualité de la nappe rhénane au regard des problématiques actuelles majeures relatives aux nitrates et aux produits phytosanitaires.*

<http://www.logar2050.eu/logar/reseau>

### **Partenaires du réseau LOGAR / Partner des Netzwerks LOGAR**

Région **ALSACE**  
**CHAMPAGNE-ARDENNE**  
**LORRAINE**



### **Correspondants techniques associés / Assoziierte Fachpartner**

