



n° 12065

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
DIRECTION DE LA PRÉVENTION DES POLLUTIONS
Service de l'Eau

modélisation globale
des transferts de nitrates
dans un bassin hydrogéologique
pour prévoir l'évolution
des concentrations
dans les eaux souterraines

description du modèle BICHE
trois exemples d'application

D. Thiery
J.-J. Seguin

décembre 1985
85 SGN 663 EAU

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Département Eau

B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - Tél.: (33) 38.64.34.34

RESUME

Ce rapport réalisé à la demande du Ministre de l'Environnement dans le cadre de son programme d'études relatif à la protection des eaux souterraines (Convention 43/83) est composé de 2 parties :

- d'une part une description du modèle mathématique global BICHE de simulation des transferts de nitrates dans un bassin versant
- d'autre part -en annexe- trois exemples d'application du modèle : à un système de sources karstiques dans le département de la Meuse, aux sources de Provins, à un captage de Pithivier en Beauce.

Le modèle BICHE permet de simuler en continu l'évolution des concentrations en nitrates à l'exutoire d'un bassin versant hydrologique ou dans un piézomètre du bassin. C'est un modèle global qui effectue un bilan (au pas de temps journalier, pentadaire, décadaire ou mensuel) entre les quantités de nitrates apportées (par épandage et par minéralisation du sol), consommées (par les plantes) et infiltrées (par les pluies efficaces). Les données nécessaires au modèle sont :

- les pluies et l'évapotranspiration potentielle sur le bassin versant,
- les données d'épandage d'engrais, de besoins des plantes et de minéralisation sur le bassin versant.

Les exemples d'application ont montré qu'il était possible de reproduire les historiques de concentrations observées et de prévoir l'évolution qui résulterait de différents scénarios d'épandages et d'occupation des sols. Pour obtenir des résultats fiables il faut disposer d'historiques de concentrations d'autant plus longs que le système a une réaction lente (3 à 5 ans pour un petit bassin rapide, 5 à 10 ans pour l'exemple de la Beauce et plusieurs dizaines d'années pour l'ensemble des sources de Provins). Pour rendre le modèle plus efficace et déterminer la précision à attendre des résultats il serait particulièrement intéressant de lui adjoindre une possibilité d'analyse de sensibilité automatique des résultats.

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	
MODELE BICHE	
1 - BUT DU MODELE BICHE	5
2 - LES DONNEES NECESSAIRES A L'UTILISATION DU MODELE	5
3 - LES DONNEES "D'ENTREE" DU MODELE	7
3.1 - La lame d'eau	8
3.2 - L'évapotranspiration potentielle (ETP)	9
3.3 - L'épandage d'engrais et de fumier	9
3.4 - La consommation par les plantes	10
3.5 - La minéralisation par le sol	10
3.6 - Libération par les résidus de culture	10
4 - LE FONCTIONNEMENT DU MODELE	11
4.1 - Réservoirs du modèle	11
4.2 - Fonction "Production" et fonction "Transfert"	15
4.3 - Initialisation	15
5 - LE BILAN DANS LA RESERVE SUPERFICIELLE	16
5.1 - Dissolution de l'engrais solide	16
5.2 - Libération par les résidus de cultures	17
5.3 - Apports de la réserve superficielle	17
5.4 - Consommation dans la réserve superficielle	17
5.5 - Mélange dans la réserve superficielle	17
5.6 - Vidange de l'excédent de la réserve superficielle	18
6 - TRANSFERT DANS LES RESERVOIRS INTERMEDIAIRES ET SOUTERRAINS	18
6.1 - Le réservoir intermédiaire	18
6.2 - Le réservoir souterrain G1	20
6.3 - Le réservoir souterrain lent G2	21
6.4 - Réservoir souterrain unique G	21
7 - LES GRANDEURS CALCULEES PAR LE MODELE	22
7.1 - Simulation hydrologique	22
7.2 - Simulation chimique	22

	Pages
8 - CALAGE DU MODELE	23
9 - LES PARAMETRES DU MODELE	26
9.1 - Les paramètres hydrologiques	26
9.2 - Les paramètres chimiques	27
10 - MODE D'EMPLOI DU MODELE BICHE	28
10.1 - Définition du nombre et du contenu des fichiers de paramètres	28
10.2 - Questions préliminaires posées par le programme	29
10.3 - Description du fichier des paramètres	31
11 - LES FICHIERS DES DONNEES HYDROCLIMATIQUES ET CHIMIQUES	43
12 - LES RESULTATS PRODUITS PAR LE MODELE	49
13 - EXEMPLE D'APPLICATION	51
14 - SIMULATION DU MELANGE ENTRE LES DEUX PHASES D'UN RESERVOIR	66
15 - ANALYSE DE LA MONTEE EN CONCENTRATION DANS UN RESERVOIR CONSTITUE DE DEUX PHASES	67
15.1 - Equation de continuité	67
15.2 - Système d'équations différentielles	69
15.3 - Résolution de l'équation caractéristique	71
15.4 - Résolution approchée dans le cas (le plus général) ou $k \ll 1$	72
15.5 - Calcul des constantes	73
15.6 - Cas particulier d'une cinétique instantanée	75
15.7 - Cas particulier d'une cinétique infiniment lente	76
15.8 - Cas particulier d'un flux liquide nul	76
15.9 - Exemples	77
15.10 - Liste de variable	80
16 - APPLICATIONS DU MODELE BICHE	81
CONCLUSION	82
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES GENERALES	83
ANNEXE I - Application au site de Rembercourt-aux-Pots	85
ANNEXE II - Application au bassin des sources de la Voulzie	119
ANNEXE III - Application au captage AEP de Pithiviers (Beauce)	153

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 - Modèle GARDENIA à Schéma de fonctionnement hydrologique	12
Figure 2 - Schémas de transfert hydrologiques simplifiés	13
Figure 3 - Modèle BICHE - Principe du fonctionnement chimique	14
Figure 4 - Bilan dans la réserve superficielle	16
Figure 5 - Alimentation du réservoir souterrain G1	19
Figure 6 - Alimentation du réservoir souterrain G2	20
Figure 7 - Alimentation du réservoir souterrain G	21
Figure 8 - Bordereau pour des données pentadaires, décadaires ou mensuelles	44
Figure 9 - Bordereau pour des données journalières	45
Figure 10 - Bordereau de données journalières séquentielles	46
Figure 11 - Fichiers pour le programme BICHE	50
Figure 12 - Simulations concentration en nitrates - Voulzie 1947/83, 1907/83	64
Figure 13 - Analyse de sensibilité de deux paramètres du modèle BICHE	65
Figure 14 - Mise en régime avec phase mobile et phase fixe $\alpha = 0.05$ - Fort amortissement	78
Figure 15 - Mise en régime avec phase mobile et phase fixe $\alpha = VM/(VM+VF) = 0.20$ - Faible amortissement	79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Exemple de données hydroclimatiques	47
Tableau 2 - Exemple de fichier de données agricoles	48
Tableau 3 - Fichier de paramètres pour une simulation hydrologique (sans prise en compte des transferts de nitrates)	52
Tableau 4 - Principaux résultats d'une simulation hydrologique	53
Tableau 5 - Fichier de paramètres pour une simulation des transferts de nitrates	54
Tableau 6 - Fichier de paramètres pour une simulation des transferts de nitrates (suite)	55
Tableau 7 - Paramètres en fin de calage	57
Tableau 8 - Devenir des nitrates depuis la fin de la période de démarrage	58
Tableau 9 - Bilan mensuel de l'année 1983	59
Tableau 10 - Bilan annuel de l'année 1983 et bilan annuel moyen	60
Tableau 11 - Exemple de fichiers de résultats : TABLEAU.LST, TABLCHIM.LST, MINMAXMOY.LST, MOYBILAN.LST	62

INTRODUCTION

Le département EAU du BRGM dispose déjà depuis un certain nombre d'années de modèles globaux de simulation PLUIE-DEBIT ou PLUIE-NIVEAU. Ces modèles globaux représentent le cycle de l'eau depuis les précipitations sur un bassin versant jusqu'au débit à l'exutoire ou au niveau aquifère en un point. Ils sont globaux, car ils considèrent une "entrée" globale (une "lame d'eau" sur le bassin et une évapotranspiration potentielle) et une "sortie" unique (qui est suivant le cas le débit à l'exutoire ou le niveau piézométrique en un point). Ils simulent le cycle de l'eau par un système de 3 à 4 réservoirs en cascade qui représentent respectivement :

- les premiers décimètres du sol dans lesquels se produit l'évapotranspiration,
- une zone intermédiaire qui produit un écoulement rapide,
- une ou deux zones aquifères qui produisent l'écoulement souterrain.

L'ensemble du système est décrit par un nombre maximum de 8 paramètres globaux (capacité du sol pour l'évapotranspiration, temps de demi-vidange des réservoirs, etc...). Le modèle hydrologique de ce type le plus récent est le modèle GARDENIA, décrit dans le rapport BRGM 84 SGN 337 EAU (modèle Global A Réservoir pour la simulation des DEbits et des Niveaux Aquifères).

Il nous a paru intéressant d'utiliser une même démarche globale pour simuler les transferts de nitrates apportés sous forme d'engrais et de minéralisation du sol, consommés en partie par les plantes et entraînés par les pluies vers les horizons inférieurs pour ressortir plus tard par les exutoires.

On a donc adapté le modèle pour lui permettre de simuler à partir d'un nombre limité de paramètres (une dizaine) la concentration mesurée dans un débit (de cours d'eau ou de source) ou dans un piézomètre d'observation.

Ce travail a été réalisé dans le cadre des travaux méthodologiques du département EAU.

CONCLUSION

Cette application a montré comment il était possible d'utiliser un modèle global de simulation des transferts de nitrates (le modèle BICHE), pour reproduire des historiques de concentrations mesurés dans l'eau prélevée dans un forage AEP. Un tel modèle qui fait intervenir des paramètres globaux, doit être calé :

- du point de vue hydrologique,
- du point de vue chimique.

Le calage hydrologique est réalisé sur les variations de niveaux observés dans un piézomètre voisin, et le calage chimique sur les concentrations mesurées.

Après calage, on a estimé avec le modèle l'évolution probable des concentrations, en supposant que les pluies des 50 prochaines années seront identiques aux pluies des 50 dernières années et en supposant des cultures et des fertilisations identiques à celles de la période 1974-1984. Ces calculs ont montré que les concentrations pourraient augmenter jusqu'à 80 mg/l de nitrates.

Le calage hydrologique a été réalisé au pas de temps mensuel, mais les simulations chimiques au pas de temps annuel. Une simulation au pas de temps mensuelle quoique plus délicate, et plus coûteuse, pourrait être envisagée et permettrait d'obtenir des résultats plus précis en particulier car elle permettrait un meilleur calcul de la pluie efficace.

* *

*