



SECRETARIAT D'ÉTAT  
CHARGÉ DE L'ENVIRONNEMENT  
ET DE LA PRÉVENTION  
DES RISQUES TECHNOLOGIQUES  
ET NATURELS MAJEURS  
DIRECTION DE L'EAU ET DE LA PRÉVENTION  
DES POLLUTIONS ET DES RISQUES



n° 14893

# modélisation des transferts de nitrates dans un bassin versant

validation du modèle Biche et analyse de sensibilité

---

D. Thiery

août 1990  
R 30 976

## RÉSUMÉ

Les travaux décrits dans ce rapport ont deux objectifs : d'une part, la validation du modèle BICHE de transferts de nitrates dans un bassin versant, et d'autre part l'adaptation à ce modèle d'une méthode de calcul de l'intervalle de confiance des résultats obtenus. La validation du modèle a consisté à l'appliquer à 4 nouveaux sites :

- le bassin de KARUP à HOEGILD mill (Danemark)
- le bassin de FEUNTEUN VEUR (Bretagne)
- le bassin de GARBSEN (Allemagne)
- le bassin de NOVA BES (Tchécoslovaquie)

Les résultats obtenus sur ces 4 bassins sont satisfaisants. Ils montrent en particulier que la concentration en nitrates du bassin de KARUP pourrait passer, à long terme, de 10 mg/l actuellement à plus de 100 mg/l. Sur le bassin de FEUNTEUN VEUR, le modèle explique correctement l'augmentation de concentration de 60 mg/l il y a 15 ans à près de 100 mg/l actuellement, avec un flux souterrain de 280 kg/ha/an. Sur le bassin de GARBSEN, le modèle a permis de très bien expliquer les variations de teneurs en sulfates obtenues par dénitrification en présence de fer.

La méthode de calcul des intervalles de confiance a été appliquée sur les données suivantes :

- piezomètre Tilloloy : niveaux
- sources de la Voulzie
- bassin du GARBSEN

La vérification pratique de la méthode a été réalisée sur les niveaux du piezomètre Tilloloy par génération de 30 séries à partir de la série observée, affectées d'écarts (autocorrélés) ayant la même structure que l'écart de simulation. Les écarts types des 30 jeux de paramètres, les coefficients d'intercorrélation ainsi que les intervalles de confiance sont très semblables à ceux prévus par la méthode théorique. On montre sur cet exemple ainsi que sur celui du GARBSEN que la réduction du nombre de paramètres à déterminer par calage permet de diminuer énormément l'incertitude sur la recharge de la nappe. L'application aux sources de la Voulzie montrent également que les extrapolations de concentrations en nitrates ne sont fiables que si le nombre de paramètres est très réduit.

# TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	1
1 - CONTRÔLE ET AMÉLIORATION DE LA MÉTHODE DE CALCUL DES INTERVALLES DE CONFIANCE	3
1.1 - VÉRIFICATION SUR DES DONNÉES AUTOCORRÉLÉE	3
1.2 - RÉSULTATS OBTENUS ET AMÉLIORATION DE LA MÉTHODE	5
2 - PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT DU MODÈLE BICHE	7
2.1 - MODELISATION HYDROLOGIQUE	7
2.2 - MODELISATION CHIMIQUE	10
3 - APPLICATION DU MODÈLE BICHE AU BASSIN DE HOEGILD MILL	13
3.1 - SITUATION DU BASSIN ÉTUDIÉ	13
3.2 - DONNÉES HYDROCLIMATIQUES DISPONIBLES	13
3.3 - CALAGE HYDROLOGIQUE PLUIE-DÉBIT	14
3.4 - CALAGE DES TRANSFERTS DE NITRATES	16
3.5 - CONCLUSIONS	17
4 - APPLICATION DU MODÈLE BICHE AU CAPTAGE DE FEUTEUN-VEUR EN PLOUVORN	18
4.1 - LES DONNÉES DISPONIBLES	18
4.1.1 - Données hydrogéologiques	18
4.1.2 - Données hydroagricoles	19
4.2 - MODÉLISATION HYDROLOGIQUE	19
4.2.1 - Calage sur les niveaux piezométriques mensuels de la nappe	19
4.2.2 - Simulation des débits mensuels du captage de FEUNTEUN-VEUR	20
4.2.3 - Conclusion	21
4.3- MODÉLISATION CHIMIQUE	21
4.3.1 - Calage au pas de temps mensuel des variations des teneurs en nitrate de la nappe	22
4.3.2 - Résultats et analyse des simulations	22
4.4 - REPRISE DU CALAGE SUR LA PÉRIODE 1976-1986	23
4.5 - CONCLUSIONS	25

5 - APPLICATION AU PIEZOMÈTRE TILLOLOY - VÉRIFICATION DU CALCUL DES ÉCARTS TYPES ET DES INTERVALLES DE CONFIANCE DES NIVEAUX ET DE LA RECHARGE	27
5.1 - AJUSTEMENT DU MODÈLE	27
5.2 - ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES INCERTITUDES SUR LA RECHARGE	27
5.3 - CALCUL DES DÉRIVÉES ET ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES PARAMÈTRES	28
5.4 - APPLICATION DE LA MÉTHODE DE CALCUL AUTOMATIQUE DE L'ÉCART TYPE	28
5.5 - VALIDATION DE LA MÉTHODE DE CALCUL	32
5.5.1 - Principe de la validation	32
5.5.2 - Contrôle des écarts types des paramètres	33
5.5.3 - Contrôle des écarts types de simulation	33
5.6 - INFLUENCE DU NOMBRE DE PARAMÈTRES DU MODÈLE	36
5.7 - ESSAI D'INTERPRÉTATION DES RELATIONS ENTRE PARAMÈTRES	37
6 - APPLICATION AU BASSIN DES SOURCES DE LA VOULZIE	38
6.1 - MODÉLISATION HYDROLOGIQUE	40
6.2 - MODÉLISATION CHIMIQUE	41
6.3 - ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU MODÈLE	45
6.4 - CALCUL DES DÉRIVÉES ET ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DE L'INFLUENCE DES PARAMÈTRES	46
6.5 - CALCUL DES ÉCARTS TYPES DES PARAMÈTRES AVEC 12 VARIABLES	54
6.6 - CALCUL DES ÉCARTS TYPES AVEC 3 VARIABLES	60
6.7 - CALCUL DES ÉCARTS TYPES DE SIMULATION	60
7 - APPLICATION AU BASSIN DU GARBSEN	64
7.1 - PÉRIODE D'OBSERVATION	64
7.2 - CALAGE HYDROLOGIQUE	64
7.3 - ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES DÉRIVÉES	67
7.4 - CALCUL DES ÉCARTS TYPES DES PARAMÈTRES	67
7.5 - CALCUL DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE à 95 % SUR LA RECHARGE	70
7.6 - CALCUL DES INTERVALLES DE CONFIANCE DES NIVEAUX	71
7.7 - CALAGE DES PARAMÈTRES CHIMIQUES	73
8 - CONCLUSION GÉNÉRALE	76
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	77

# INTRODUCTION

## VALIDATION DU MODÈLE BICHE

Depuis 1985, quelques applications ont été réalisées avec le modèle BICHE. Il s'agit principalement des sources de la Voulzie (Provins) et de la nappe de la Beauce près de Pithiviers. Ces modélisations sont décrites par D. THIERY et J.J. SEGUIN (1985 a, 1985b, 1985c, 1986 et 1988) et par J.J. SEGUIN (1988).

Au cours des années 1988 et 1989, il a paru intéressant de valider le modèle en l'appliquant à d'autres sites ; ces nouveaux sites sont :

- \* Le bassin de KARUP à HOEGILD MILL (Danemark).  
Les données de ce bassin ont été gracieusement fournies par la DGU (Danish Geological Survey) à l'occasion d'une coopération scientifique en particulier par le Dr Edmund GOSK. Cette modélisation est décrite en détail par J. MARTIN et D. THIERY (1988) (rapport BRGM 88 SGN 954 EEE) ; nous avons donné une description sommaire dans le chapitre 3 ;
- \* Le bassin de FEUNTEUN VEUR (Bretagne).  
Ce bassin a été modélisé au BRGM par L. PARANTHOINE et les résultats sont présentés en détail dans sa thèse (Paranthoine 1988). Nous avons résumé cette modélisation dans le chapitre 4 et nous avons repris et étendu le calage sur une période de 11 ans au lieu de 3 et obtenu un très bon calage (corrélation 0,95 au lieu de 0,71) ;
- \* Le bassin de GARBSEN (Allemagne Fédérale)  
La modélisation de ce bassin -situé dans la région de Hanovre - a été réalisée à Orléans dans le cadre d'une coopération scientifique avec l'Institut für Bodenkunde de l'université de Hanovre avec les Pr RICHTER et R. ANLAUF. Les résultats obtenus sont décrits succinctement au chapitre 7 et donneront lieu à une publication commune ;
- \* Le bassin de NOVA BES (Tchécoslovaquie)  
Cette modélisation a été réalisée dans le cadre d'une coopération scientifique avec STAVEBNI GEOLOGIE de Prague en particulier avec les Dr BENES et KOLAYA. Les premiers résultats obtenus par J. MARTIN, disponibles à la date de rédaction de ce rapport, sont décrits dans un rapport à paraître en 1990.

## ANALYSE DE SENSIBILITÉ DES PARAMÈTRES DES MODÈLES

En 1989 une méthode permettant de calculer les écarts types des paramètres d'un modèle de simulation et les intervalles de confiance de prévisions a été décrite en détail dans le rapport n° R30092 EAU 4S 89 "Ajustement automatique d'un modèle n'ayant pas d'expression analytique-calcul de l'intervalle de confiance des paramètres et des prévisions". Cette méthode inspirée de LEIJNSE (1982) peut s'appliquer à tout modèle et en particulier à des modèles hydrologiques ou hydrochimiques globaux.

En 1990, cette méthode a été programmée en FORTRAN et a donné le jour aux deux logiciels généraux ECARPARA et ECARTYPE qui ont été couplés au modèle BICHE. La méthode a été améliorée pour prendre en compte efficacement l'autocorrélation des observations successives. Elle a été appliquée dans les bassins suivants :

- Bassin de la VOULZIE,
- Bassin du GARBSEN,
- piézomètre de TILLOLOY en Picardie.

Les résultats de ces applications sont présentés pour mettre en évidence l'intérêt de la méthode.

La recherche décrite dans ce rapport a été réalisée en partie sur crédit du Secrétariat d'État chargé de l'Environnement et de la prévention des risques technologiques et naturels majeurs et sur les fonds propres du BRGM dans le cadre du thème "Approches géostatistique en hydrogéologie et analyse de sensibilité des modèles" fiche projet EG26 en 1989 et EG21 en 1990.

## 8 - CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette recherche a montré la généralité du modèle BICHE pour la simulation des transferts de nitrates dans un bassin versant. Quatre nouveaux sites ont été modélisés avec succès (les résultats du 4ème site- le bassin de NOVA BES- ne sont cependant pas décrits dans ce rapport). Le modèle permet de reproduire correctement les concentrations de nitrates observées dans les eaux, à partir des données hydroclimatologiques et des pratiques agricoles. Il permet en outre de proposer un bilan des différents termes (fertilisation, minéralisation, consommation, percolation et stockage) et une extrapolation dans le futur.

La méthode de calcul des intervalles de confiance mise au point en 1989 a été adaptée au modèle BICHE et contrôlée sur les données du piézomètre Tilloloy (Picardie). On a mis en évidence qu'elle est opérationnelle et que l'hypothèse de linéarité locale de l'influence des paramètres et l'hypothèse de dépendance d'ordre 1 des écarts de simulation étaient réalistes. L'application de la méthode à 3 cas a montré qu'il était possible de calculer les intervalles de confiance sur les niveaux piézométriques, les concentrations en nitrates et la recharge de la nappe. L'influence du nombre des paramètres à déterminer par calage a été mise très nettement en évidence, en particulier sur l'intervalle de confiance, sur la recharge et sur les extrapolations. Le chapitre 6.7 montre qu'un calage faisant intervenir 12 paramètres n'est pas robuste puisque ces paramètres sont fortement autocorrélés. Une simplification du modèle en n'optimisant que 3 paramètres permet d'obtenir un calage robuste donnant une faible fourchette d'incertitude en extrapolation. Le chapitre 7.5 présente des résultats similaires sur l'estimation de la recharge de la nappe.