

Mémoire présenté pour l'obtention du titre de
Docteur de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées de Paris

"Sciences et Techniques de l'Environnement"

**MODELISATION DES TRANSFERTS DE NITRATES,
CONFRONTATION DES CONCEPTS, DES DONNEES
ET DES INFORMATIONS :
APPLICATION AU BASSIN DE LA CHARENTE**

Gabriela MANTILLA MORALES

Soutenu le 6 juillet 1995

Devant le Jury composé de:

M. R. POCHAT	.	Directeur de Thèse
M. C. BOCQUILLON	:	Rapporteur
M. B. CAUSSADE	:	Examineur
Mme. S. DAUTREBANDE	:	Rapporteur
M. Th. LEVIANDIER	:	Examineur

PLAN

20396

RESUME

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1	3
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE 2	30
PRESENTATION DU SITE D'ETUDE: LE BASSIN DE LA CHARENTE	
CHAPITRE 3	53
PRESENTATION DU MODELE DE BASE	
CHAPITRE 4	73
CRITIQUE DU MODELE SUR UN PETIT BASSIN EXPERIMENTAL DE LA CHARENTE: LE BASSIN DU RUINE	
CHAPITRE 5	104
REVISION DU MODELE SUR LE BASSIN DE LA CHARENTE	
CONCLUSION GENERALE	153
BIBLIOGRAPHIE	157
LISTE DES FIGURES	169
LISTE DES TABLEAUX	173
LISTE DES ABREVIATIONS	175
LISTE DES ANNEXES	179
TABLE DE MATIERES	180
ANNEXES	181

RESUME

La modélisation du transfert de nitrates a été étudiée à différentes échelles de bassins versants. Un modèle **semi-distribué** à pas de temps journalier a été élaboré et testé sur des sous-bassins de la Charente (France). Il prend en compte les transferts d'azote depuis les apports de fertilisants jusqu'à la dénitrification dans le cours d'eau. Le but principal recherché est la simulation de la concentration en nitrates-à l'exutoire des bassins versants.

Un modèle hydrologique de type conceptuel (**GR3**) a été choisi et adapté à la simulation du transfert de nitrates. Le modèle conceptuel de lessivage est relié de manière étroite au modèle pluie - débit, tant par les variables d'état que par les paramètres. Le calage a été fait sur les **sous-bassins** où sont connus, à la fois, les débits et les concentrations. L'utilisation du modèle est ensuite étendue à des bassins sur lesquels on ne dispose que d'un seul de ces deux termes ou bien d'aucun d'entre eux.

Le modèle résultant de ces travaux a été appliqué à la fois sur un grand bassin versant d'environ **9500 km²** (la Charente), sur ses stations intermédiaires de suivi de qualité de l'eau et sur un petit sous-bassin expérimental d'environ **5,5 km²** (le Ruiné). Les résultats montrent que le modèle reproduit d'une manière correcte la tendance à long terme des flux. Les variations saisonnières sont bien respectées pour la plupart des stations à défaut de rendre compte de toutes les valeurs isolées.

Le comportement de la concentration en nitrates pendant les crues a été étudié sur le Ruiné à un pas de temps horaire. Nous avons observé, dans la relation avec les débits, des formes d'hystérésis analogues à celles qui se présentent avec les matières en suspension, ce qui témoigne de la complexité des phénomènes de lessivage et de transfert dans ce bassin versant. Ces processus ne peuvent être convenablement reproduits à l'heure actuelle, qu'au prix d'une variation des paramètres du modèle qu'il reste encore à expliquer.

MOTS CLEFS: Modèle conceptuel / cycle de l'azote / nitrates / lessivage de nitrates / dénitrification / hystérésis.

INTRODUCTION GENERALE

L'évolution des techniques agricoles et de la production industrielle depuis la fin des années cinquante a eu comme répercussion l'altération de la qualité des milieux aquatiques, avec en particulier, l'accroissement de la pollution par les nitrates et l'eutrophisation. La qualité d'un milieu aquatique est directement dépendante des rejets qu'il **reçoit, qu'ils** soient d'origine diffuse (dus principalement à l'agriculture intensive) ou bien d'origine ponctuelle (provenant des villes, des industries ou des élevages).

Les pollutions par les nitrates des nappes souterraines et des petits bassins sont plus souvent évoquées que celles des grands bassins. La sensibilité particulière d'un milieu marin nous a conduit à aborder ce sujet sur un bassin versant assez grand (la Charente, 9500 **km²**), à vocation essentiellement rurale, ce qui laisse supposer la prédominance des pollutions d'origine diffuse, malgré l'impact non négligeable de quelques agglomérations riveraines, en particulier les villes d'Angoulême et Cognac, surtout lors des étiages prononcés.

Ce travail s'insère à la suite des travaux sur la modélisation hydrologique et de la qualité des eaux menés par le Cemagref (Institut de recherche pour la génie de l'agriculture et de l'environnement) et l'IFREMER (Institut Français de Recherches et **d'Exploitation** de la Mer) dans le cadre du Programme "Charentes-Marennes-Oléron". L'objectif principal de celui-ci est, d'une part, d'améliorer la connaissance des transferts d'éléments depuis l'amont d'un bassin versant continental jusqu'au bassin maritime associé et, d'autre part, de fournir un outil rationnel de gestion de l'eau, permettant par simulation et prévision, de réguler la compétition entre les activités utilisatrices d'eau et de limiter les risques d'atteintes à l'environnement.

La modélisation est le coeur du sujet. Il s'agit en effet d'établir des relations quantitatives entre les apports de fertilisants et les flux de nitrates dans le réseau hydrographique, nécessairement couplés aux écoulements. Sans nous écarter notablement des principes d'un modèle

précédent établi uniquement à partir d'observations recueillies à des fins de surveillance du milieu aquatique qui restent l'essentiel de l'information disponible, nous nous sommes donnés pour tâche de l'améliorer en incorporant des résultats d'observations de différents processus. Le modèle est conceptuel et présente une résolution spatiale très grossière, qui fait de la physique, au mieux, un fil conducteur et non la base du modèle.

Ce mémoire de thèse est structuré en cinq chapitres: -

Le chapitre 1 est une synthèse bibliographique sur les interactions entre les différentes composantes du cycle de l'azote, les différentes approches utilisées dans la modélisation et une brève revue des modèles de transfert d'azote sur un bassin versant ayant une composante sol.

Le chapitre 2 présente la description du bassin versant continental étudié: ses caractéristiques climatiques et physiques, les activités agricoles et le bilan partiel de l'azote sur le bassin.

Le chapitre 3 comporte la description du modèle de base (hydrologie et qualité des eaux) utilisé dans notre étude, puis l'exposé des insuffisances de ce modèle.

Les travaux précédents de mise au point du modèle ont montré la nécessité de détailler les données liées aux pratiques agricoles et d'approfondir l'étude de certains phénomènes biochimiques. **Le chapitre 4** présente l'adaptation du modèle hydrologique et de qualité sur le Bassin Versant Représentatif et Expérimental du Ruiné.

Le chapitre 5 décrit la mise au point du modèle sur le bassin de la Charente et les sous-bassins qui le forment et les apports vers l'estuaire. Les principales modifications que le modèle a subies ont consisté à utiliser les résultats expérimentaux de dénitrification dans la Charente et à modifier la structure du modèle conceptuel de transformations chimiques et de lessivage.

La conclusion générale comprend la synthèse des résultats obtenus et présente des voies de recherche à développer pour compléter et améliorer les connaissances dans le domaine de la modélisation de la production et du transfert des nitrates.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de notre étude était d'améliorer un modèle conceptuel de transfert de nitrates, partie intégrante de la modélisation du flux et des concentrations, à l'exutoire d'un grand bassin versant (la Charente). Un second volet de notre recherche consistait à tester ce modèle et à le valider en utilisant un petit bassin versant représentatif et expérimental (le Ruiné) situé à l'intérieur de ce grand bassin.

Ce modèle prend en compte de manière simplifiée les mécanismes élémentaires de transfert des polluants azotés vers un système hydrographique: le transfert dans l'eau, les transformations biochimiques de l'azote dans le sol, l'absorption de l'azote par les plantes, la dénitrification dans la rivière. Il représente les grandes variations interannuelles et saisonnières des flux de nitrates sur ce bassin versant essentiellement agricole tout en intégrant les variations climatiques et culturelles.

Une modélisation de ce type fait appel à des disciplines aussi variées que la mécanique des fluides, la biologie, la chimie, l'agronomie. Le degré d'avancement des connaissances est assez inégal, ce qui se traduit par des modèles paradoxalement parfois simplistes, parfois extrêmement compliqués. **La possibilité de couplage de ces différents processus a finalement été établie malgré certaines difficultés.** Ainsi, le modèle pluie-débit choisi, *GR5*, n'est pas le plus performant de ceux que nous avons essayé pour simuler les débits, mais sa façon de prendre en compte les échanges souterrains nous a semblé la plus compatible avec les transferts de nitrates. Ce modèle a été testé sur huit sous-bassins de la Charente.

Les résultats obtenus montrent la capacité du modèle à simuler les différents cas de fertilisation et l'importance de la **dénitrification** sur chaque sous-bassin. La réponse assez rapide à la variation des apports (assez bien connus) nous permet de présumer un faible effet des écoulements souterrains. **Des relations avec les paramètres du**

modèle pluie-débit, la pédologie et la géologie du bassin ont été proposées malgré le faible nombre de cas étudiés.

Les concentrations observées sur les sous-bassins présentent des variations de plus faible amplitude que sur le bassin versant où le modèle a été conçu à l'origine (sous-bassin de Mélarchez, bassin versant de l'Orgeval, Seine-et-Marne). L'atténuation de la réponse du modèle nitrates sur les sous-bassins a été obtenue en provoquant un effet de mélange dans un réservoir fictif plus grand.

Lors de la vérification du calage du modèle avec ce mélange, nous avons obtenu, pour l'ensemble des sous-bassins, une valeur constante pour le paramètre contrôlant la diffusion entre les deux réservoirs composant le modèle. Le paramètre de dilution des engrais est presque dans le **même** cas car ses effets sont très peu sensibles. Ainsi, le modèle de transfert a pu être simplifié en passant de cinq à quatre paramètres (voire trois) en supprimant ceux qui ne faisaient qu'alourdir l'estimation des autres.

En outre, nous avons pu expliquer de façon satisfaisante le seuil de déclenchement du lessivage rapide en fonction de la capacité du réservoir de routage du modèle pluie-débit. Les paramètres du modèle nitrates sont difficiles à **déterminer** faute de données. En essayant de les rattacher à ceux du modèle pluie-débit, on a testé la même démarche sur le paramètre de lessivage rapide et le coefficient de division entre les réservoirs racinaire et intermédiaire, mais les résultats obtenus ne sont pas très significatifs. En cas de nécessité opérationnelle, **il ne semble toutefois pas hors de portée de proposer un modèle de transfert de nitrates n'utilisant que des paramètres constants ou ne dépendant que des paramètres du modèle pluie-débit**. Les caractéristiques du lessivage des nitrates seraient assez largement déterminées par la seule information sur le comportement hydrologique du bassin.

Pour la **dénitrification** dans la rivière, nous n'avons pas utilisé un modèle purement conceptuel, mais **nous avons intégré une formulation découlant des études expérimentales** mises en oeuvre à la suite des premiers travaux de modélisation effectués. Toutefois, la valeur numérique de la vitesse de dénitrification reste arbitraire tant