



ECOLE NATIONALE DU GENIE RURAL, DES EAUX ET DES FORÊTS

N° attribué par la bibliothèque
/ / / / / / / / / / / / / / / /

THESE

pour obtenir le grade de

Docteur de l'ENGREF
Spécialité : Sciences de l'eau

présentée et soutenue publiquement le 24 mai 2002 par
Sylvain PAYRAUDEAU

à l'Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts
*Centre de : **Montpellier***

TITRE :

**MODELISATION DISTRIBUEE DES FLUX D'AZOTE SUR DES PETITS
BASSINS VERSANTS MEDITERRANEENS**

devant le jury suivant :

C. MILLIER	ENGREF	Président
M. BENOIT	INRA Mirecourt	Rapporteur
K. BEVEN	Université de Lancaster	Rapporteur
M. G. TOURNOUD	Université Montpellier II	Examineur
F. CERNESSON	ENGREF	Examineur
M. DEBLAIZE	Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse	Examineur
F. BRISSAUD	Université Montpellier II	Directeur de thèse

Thèse préparée à
L'Unité Mixte de Recherche Cemagref-ENGREF « Structures et Systèmes Spatiaux »
Montpellier

Introduction	1
<hr/>	
Partie A : Etude bibliographique	
<hr/>	
Chapitre A1 : Définition des concepts de bassins versant, de système et de modèle	7
Chapitre A2 : Le cycle de l'azote à l'échelle du bassin versant	15
Chapitre A3 : Les modèles de flux d'azote à l'échelle des bassins versants	25
Chapitre A4 : Premières pistes pour le choix du modèle	49
<hr/>	
Partie B : Matériels et méthodes	
<hr/>	
Chapitre B1 : Données disponibles sur la zone d'étude	55
Chapitre B2 : Présentation des quatre bassins versants modélisés	71
Chapitre B3 : Développement du modèle d'exportation d'azote POL	89
<hr/>	
Partie C : Application du modèle POL	
<hr/>	
Chapitre C1 : Etude de sensibilité du modèle POL en mode événementiel	109
Chapitre C2 : Application du modèle POL sur les bassins d'étude	161
Chapitre C3 : Confrontation du modèle POL aux données expérimentales	173
Conclusion générale	225
Bibliographie	233
Table des matières	255
Table des sigles et Glossaire	269
Annexes	277
<hr/>	
Annexe 1 : Caractéristiques des modèles de flux d'azote	281
Annexe 2 : Extraction des unités fonctionnelles du modèle	347
Annexe 3 : Apports d'azote anthropiques sur les bassins	383
Annexe 4 : Caractéristiques des 20 crues échantillonnées	413

Introduction	1
Partie A : Etude bibliographique	3
<i>A1. Définition des concepts de bassin versant, de système et de modèle</i>	<i>7</i>
<i>A1-1. Le bassin versant : un cadre physique</i>	<i>7</i>
<i>A1-2. Approche systémique du fonctionnement du bassin versant</i>	<i>8</i>
<i>A1-3. Du système au modèle</i>	<i>10</i>
<i>A1-4. Conclusion</i>	<i>11</i>
<i>A2. Le cycle de l'azote à l'échelle du bassin versant</i>	<i>15</i>
<i>A2-1. Le cycle de l'azote</i>	<i>15</i>
<i>A2-2. Variables d'entrée du cycle de l'azote</i>	<i>17</i>
A2-21. Apports anthropiques	17
A2-22. Apports naturels	17
<i>A2-3. Variables de forçage</i>	<i>18</i>
<i>A2-4. Processus associés au cycle de l'azote</i>	<i>18</i>
A2-41. Processus de transformation de l'azote	18
A2-42. Processus de transport de l'azote	19
<i>A2-5. Variables d'état</i>	<i>20</i>
<i>A2-6. Variables de sortie</i>	<i>21</i>
<i>A2-7. Conclusion</i>	<i>21</i>
<i>A3. Les modèles de flux d'azote à l'échelle du bassin versant</i>	<i>25</i>
<i>A3-1. Introduction</i>	<i>25</i>
<i>A3-2 Représentation de l'espace</i>	<i>27</i>
A3-21. Les modèles globaux (lumped models)	27
A3-22. Les modèles physiques spatialisés (Physically-based distributed models)	30
A3-23. Les modèles conceptuels spatialisés (semidistributed conceptual models)	33
<i>A3-3 Discrétisation temporelle</i>	<i>37</i>
A3-31. Modèles événementiels	37
A3-32. Modèles continus	38

A3-4. Approche par objets d'étude	39
A3-41. Du modèle agronomique parcellaire aux modèles de petits bassins versants agricoles	40
A3-42. Modèle de dynamique de l'azote dans le réseau hydrographique	42
A3-43. Modèles de gestion de la qualité de l'eau	43
A3-5. Conclusion	45
A4. Premières pistes pour le choix du modèle	49
Partie B : Matériels et méthodes	51
B1. Données disponibles sur la zone d'étude	55
B1-1. Caractéristiques physiques des bassins	56
B1-11. Topographie	56
B1-12. Contexte hydrogéologique	58
B1-13. Pédologie	59
B1-14. Occupation du sol	60
B1-2. Variable d'entrée « masses d'azote »	62
B1-21. Apports agricoles	63
B1-22. Apports industriels et domestiques	63
B1-3. Variables de forçage	66
B1-4. Variables de sortie	67
B1-5. Conclusion	68
B2. Présentation des quatre bassins versants modélisés	71
B2-1. Caractéristiques physiques et anthropiques des bassins d'étude	72
B2-2. Dynamique des flux d'azote sur les bassins d'étude	77
B2-21. Comportement général des bassins	77
B2-22. Analyse des événements échantillonnés	80
B2-3. Conclusion	86

<i>B3. Développement du modèle d'exportation d'azote POL</i>	89
<i>B3-1. Pourquoi un modèle de flux ?</i>	89
<i>B3-2. Hypothèses du modèle POL</i>	91
<i>B3-3. Formalisme mathématique</i>	95
B3-31. Fonction de production	95
B3-32. Fonction de transport	97
<i>B3-4. Environnement de développement</i>	99
<i>B3-5. Fonctionnement du modèle POL</i>	100
<i>B3-6. Conclusion</i>	101
<i>Partie C : Application du modèle POL</i>	105
<i>C1. Etude de sensibilité du modèle POL en mode événementiel</i>	109
<i>C1-1. Application du modèle POL sur un bassin élémentaire</i>	109
C1-11. Découpage de l'espace du bassin élémentaire	109
C1-12. Fonction de forçage pluviométrique	110
C1-13. Etat initial des sous-bassins de production	111
C1-14. Valeur du seuil de déclenchement de la crise	112
C1-15. Pas de calcul de modèle	112
C1-16. Conclusion	112
<i>C1-2. Variables de calage du modèle et fonction objectif</i>	113
C1-21. Caractéristiques de l'épisode test	115
C1-22. Résultats du calage du modèle élémentaire avec l'épisode test	116
C1-23. Conclusion	117
<i>C1-3 Revue rapide des tests de sensibilité</i>	118
C1-31. Stratégies locales et globales	118
C1-32. Exploration systématique et aléatoire	119
<i>C1-4. Choix de la méthode d'exploration de domaine des paramètres</i>	120
C1-41. Définition des conditions d'application	120
C1-42. Réponses du modèle lors d'une exploration systématique du domaine des paramètres	124
C1-43. Réponses du modèle lors d'une exploration aléatoire du domaine des paramètres	125
C1-44. Conclusion	127

C1-5. Etude de sensibilité du modèle événementiel	128
C1-51. Questions posées	128
C1-52. Cinq tests réalisés	128
C1-6. Conclusion	156
C2. Application du modèle POL sur les bassins d'étude	161
C2-1. Choix du réseau de référence	161
C2-2. Découpage spatial des 4 bassins d'étude	161
C2-3. Caractéristiques des biefs de rivières et sous-bassins associés	167
C2-4. Conclusion	169
C3. Confrontation du modèle POL aux données expérimentales	173
C3-1. Calage du modèle événementiel	174
C3-11. Prétraitements sur les données	174
C3-111. Calcul des masses et durées observées	174
C3-112. Choix des épisodes de crues	176
C3-113. Choix des constantes MIN et MAX	178
C3-12. Calage du modèle bassin par bassin	180
C3-121. Protocole	180
C3-122. Résultats	180
C3-123. Conclusion	181
C3-13. Calage du modèle crue par crue	182
C3-131. Protocole	182
C3-132. Résultats	185
C3-134. Prise en compte des incertitudes sur la masse et la durée lors du calage des paramètres	191
C3-135. Conclusion	199
C3-2. Application du modèle POL	200
C3-21. Recherche des relations de précaractérisation de T et N	200
C3-211. Précaractérisation du paramètre T	200
C3-212. Précaractérisation du stock d'azote N	205
C3-213. Conclusion	211
C3-22. Application du modèle POL sur une succession d'épisodes de pluie	212
C3-221 Comparaison du flux simulé par rapport au suivi régulier	212
C3-222 Transposition du modèle POL au bassin du Dardaillon	215
C3-221. Premières estimations des masses exportées sur les bassins de Thau et de l'Or à l'aide du modèle POL	217
C3-224. Conclusion	222
C3-3 Conclusion	223

Conclusion générale	225
Bibliographie	233
Table des matières	255
Table des sigles et glossaire	269
Annexes	277
Annexe 1 : Caractéristiques des modèles de flux d'azote	281
Annexe 2 : Extraction des unités fonctionnelles du modèle	347
2A : Concepts liés aux Systèmes d'information Géographique et intérêt du couplage « SIG - Modèle hydrologique/qualité de l'eau »	349
2B : Méthode d'extraction automatique des unités fonctionnelles (biefs de rivières et sous-bassin versants associés) à partir d'un MNT	363
2C : Méthode de correction du MNT pour améliorer la qualité des réseaux hydrographiques extraits	377
Annexe 3 : Apports d'azote anthropiques sur les bassins	383
3A : Evaluation des apports d'azote d'origine agricole	385
3B : Evaluation des rejets ponctuels domestiques et industriels	399
3C : Caractéristiques du SIRS (Système d'Information à Référence Spatiale) développé	411
Annexe 4 : Caractéristiques des 20 crues échantillonnées	413