

Influence du changement climatique sur le transfert d'azote dans les sols et dans les aquifères.

Eric Gomez¹, Pascal Viennot¹, Emmanuel Ledoux¹

¹ Centre d'Informatique Géologique, ENSMP, 35rue Saint Honoré, 77305 Fontainebleau, gomez@cig.ensmp.fr

1. Introduction	1
2. Présentation du modèle intégré	1
2.1. Méthode d'intégration des modèles	1
2.2. Fonctionnalités du modèle intégré.....	3
3. Résultats	3
4. Simulations prospectives	4
4.1. Simulation de référence.....	4
4.2. Simulations « perturbées »	4

1. Introduction

L'accroissement régulier des concentrations en nitrate observées dans les eaux superficielles et souterraines du bassin de la Seine, depuis les années 70, est un sujet de préoccupation, tant du point de vue de l'approvisionnement en eau potable, que de celui des conditions d'eutrophisation du milieu.

Ainsi, depuis les années 80, les pouvoirs publics visent à appliquer une politique préventive conciliant agriculture performante et qualité des eaux, au moyen de réglementations (« code de bonnes pratiques agricoles ») et de mesures économiques incitatives.

Dans ce contexte, l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris a mis au point, dans le cadre du PIREN-Seine, un outil de simulation capable de simuler les transferts d'azote depuis les sols jusqu'aux eaux de surface, en tenant compte de l'inertie conférée par les temps de résidence parfois très longs de l'azote dans les sols et les aquifères. Les fonctionnalités de cet outil seront utilisées pour évaluer l'impact des changements climatiques sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine, dans le cadre du projet GICC-Seine.

2. Présentation du modèle intégré

2.1. Méthode d'intégration des modèles

Le principe du modèle intégré repose sur l'association de trois modèles existants : le modèle agronomique STICS, le modèle hydrologique MODCOU, et le modèle hydrogéologique NEWSAM, capables de simuler respectivement les flux de nitrates à la base de la zone racinaire, les écoulements superficiels et souterrains, et le transport de nitrate dans un système aquifère multicouche. Ces modèles fonctionnent de manière indépendante et les résultats de simulation sont transférés d'un modèle à l'autre de manière séquentielle.

Compte tenu de l'échelle spatiale du bassin de la Seine, le modèle intégré doit tenir compte des hétérogénéités du milieu. Les modèles MODCOU et NEWSAM utilisent une structure maillée qui se prête à une approche spatiale. En revanche, cet objectif a nécessité le développement d'une

procédure de régionalisation du modèle agronomique STICS en tenant compte, d'une part, des hétérogénéités spatiales rencontrées d'un point de vue météorologique, agronomique et pédologique et d'autre part, de la disponibilité des données, spatialement et sur une longue période de temps, en explorant tous les contextes pédologiques et agronomiques possibles au niveau local.

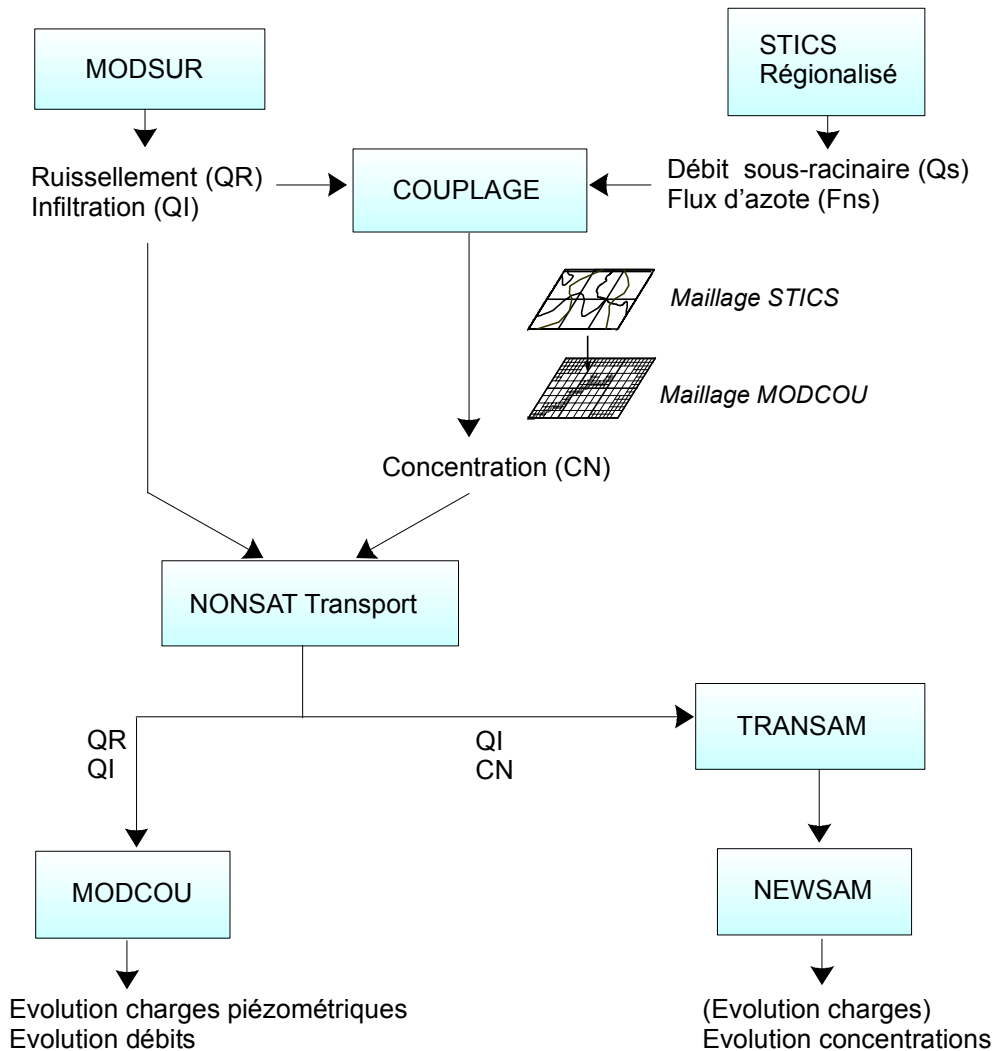


Figure 1 : Représentation schématique du couplage entre STICS et MODCOU-NEWSAM

La mise en œuvre de cette chaîne de modèles se déroule en plusieurs étapes, présentées par la figure 1.

Le calcul du bilan hydrique, réalisé par MODSUR, fournit les débits ruisselés (QR) et infiltrés (QI) sur chaque maille du domaine de surface suivant le pas de temps journalier. STICS calcule, au même pas de temps, des flux d'azote sous-racinaire (Fns).

Le flux d'azote délivré par STICS est alors acheminé vers les nappes souterraines, à travers la zone non-saturée, grâce à NONSAT Transport.

Les flux de nitrates sortant de la zone non-saturée sont répartis vers les mailles souterraines. Lorsqu'une maille de surface n'est pas connectée à une maille souterraine représentée explicitement par le modèle hydrogéologique NEWSAM, les nitrates sont transportés par le modèle à réservoir TRANSAM figurant l'aquifère local.

Enfin, le modèle de transport en milieu souterrain NEWSAM simule l'évolution des concentrations nitriques dans les aquifères suivant un pas de temps de 30 jours.

NEWSAM permet également de quantifier les flux de nitrates échangés entre les aquifères et les rivières. Parallèlement au calcul mené par NEWSAM, MODCOU, qui utilise les mêmes paramètres hydrodynamiques que NEWSAM, simule les niveaux piézométriques dans les aquifères ainsi que les débits en chaque point du réseau hydrographique.

2.2. Fonctionnalités du modèle intégré

L'association de STICS au modèle MODCOU-NEWSAM permet, comme nous venons de le voir, d'aboutir à un modèle intégré, chacun des modèles permettant une représentation, avec des degrés de conceptualisation variables, des processus qu'il simule. Le concept de « modèle intégré » se présente à deux niveaux : compartiments et échelles spatio-temporelles.

Du point de vue des compartiments, le modèle est conçu pour représenter les processus de transferts qui se déroulent d'une part, dans les sols agricoles et d'autre part, dans le domaine souterrain constitué par la zone non-saturée et les aquifères.

Du point de vue des échelles spatio-temporelles, la structure maillée du modèle permet de représenter le transfert des nitrates sur des bassins de quelques milliers à plusieurs dizaines de milliers de km². Ce modèle permet également de réaliser des simulations sur de longues périodes de temps (plusieurs dizaines d'années) en intégrant l'évolution de l'occupation des sols et des itinéraires techniques. Il est aussi conçu pour intégrer facilement les évolutions futures de la base de données des pratiques agricoles et des variables météorologiques.

Les résultats de simulations, spatialisées à l'échelle du bassin de la Seine, concernent :

- les écoulements : bilan hydrique, débit d'alimentation des nappes, évolution du débit dans les cours d'eau et de la piézométrie ;
- le transfert des nitrates : évolution des flux de nitrate à la base de la zone sous-racinaire et de la zone non-saturée. Evolution des concentrations en nitrate dans les aquifères et quantification des flux de matière échangés entre la nappe et la rivière.

La souplesse d'utilisation de ce modèle réside dans le fait que : (i) chacun des compartiments du système hydrologique peut être testé indépendamment des autres compartiments ; (ii) la base données peut être facilement modifiée pour rendre compte de l'évolution des données de forçage météorologiques ou anthropiques.

Les fonctionnalités de ce modèle intégré en font un outil particulièrement adapté à des études de type prospectif, permettant de quantifier l'impact de modifications des données d'entrées (agricoles, météorologiques, anthropiques ...) sur la réponse du système agronomique et hydrologique du bassin la Seine.

3. Résultats

Ce modèle intégré a été mis en œuvre sur le bassin de la Marne, où l'information est disponible, afin d'évaluer ses capacités de simulation. A terme, lorsque la base de données relative aux pratiques agricoles sera complétée, le modèle intégré sera mis appliqué sur l'ensemble du bassin de la Seine.

Les résultats de l'application montre que le modèle intégré permet de reproduire avec un réalisme acceptable le comportement d'un bassin de taille régionale vis-à-vis des flux d'eau et de nitrates.

Une étude d'impact a également permis de montrer les conséquences d'une évolution des pratiques agricoles sur la pollution nitrique des aquifères.

4. Simulations prospectives

Il est envisagé d'utiliser ce modèle pour analyser l'impact d'un changement climatique conjointement à l'évolution des activités agricoles, d'une part, sur la qualité des eaux et d'autre part, sur l'estimation des ressources en eaux.

Neufs simulations sont prévues, croisant 3 scénarios climatiques (conditions actuelles et 2 scénarios contrastés de changement climatique) et 3 scénarios de contraintes anthropiques directes (conditions actuelles et 2 scénarios contrastés d'évolution agricole).

Afin d'être en mesure de simuler ces scénarios, il convient au préalable, d'améliorer les capacités de simulation du modèle STICS de manière à ce qu'il soit en mesure de tenir compte des adaptations physiologiques des plantes (augmentation de la résistance stomatique) vis-à-vis d'un accroissement des teneurs en CO₂. De plus, le modèle STICS employé à l'échelle régionale permettra de fournir, en plus du lessivage des nitrates sous la zone racinaire, des résultats en terme de flux d'éléments biogènes, tels que la teneur en azote et en carbone dans les sols, les pertes d'azote vers l'atmosphère et la teneur en protéines des céréales. Les rendements, quant à eux, seront analysés en terme de viabilité des cultures sous changement climatique (nécessité d'un rendement minimal pour maintenir une culture).

La méthode retenue pour la modélisation des impacts consiste à définir un état de référence du système hydrologique, à l'aide du modèle intégré, qui sera comparé à un état « perturbé » relatif à des évolutions climatiques et/ou agronomiques.

4.1. Simulation de référence

L'année 1999 servira d'état initial au système hydrologique. Pour déterminer l'état de référence, nous utiliserons les données météorologiques dont nous disposons sur la période 1970-2000. Cependant, il est admis que les effets du changement climatique sont visibles depuis 1990. Donc, pour s'affranchir de ces effets, nous ne retiendrons que les données météorologiques de la période 1970-1990. Par ailleurs, l'inertie du système sol-plante peut atteindre plusieurs dizaines d'années. Ainsi, les simulations réalisées avec le modèle agronomique auront lieu sur une période de 40 ans, en juxtaposant deux fois la série climatique 1970-1990.

Les pratiques agricoles observées sur la période 1990-2000 seront appliquées, sur les 40 années de simulations, avec le modèle STICS de manière à obtenir un flux d'azote sous-racinaire stabilisé. Ce flux stabilisé, moyenné sur plusieurs années, servira à effectuer un calcul en régime permanent du transfert des nitrates en aquifères qui fournira une estimation de la pollution des aquifères à terme (état de référence) si l'on continuait à pratiquer pendant une durée infinie les activités agricoles observées sur la période 1990-2000 et avec les conditions climatiques de la période 1970-1990.

Le temps de réponse des aquifères à une pollution diffuse sera également évalué en appliquant le flux d'azote, en situation stabilisée, à l'entrée de la zone non-saturé, en régime transitoire sur une longue période de temps et en comparant les résultats de simulation à l'état de référence.

4.2. Simulations « perturbées »

Cette démarche de modélisation sera reproduite sous climat perturbé, d'après les résultats issus de 2 modèles de circulation générale distincts intégrant l'hypothèse d'un doublement de CO₂ par rapport à l'état actuel. D'un point de vue pratique, les perturbations climatiques seront appliquées au jeu de données météorologiques dont nous disposons. Les résultats de simulations seront alors comparés aux résultats obtenus avec l'état de référence. Enfin, les résultats seront analysés, suivant le même principe, en considérant cette fois une évolution des pratiques agricoles avec ou sans changement climatique.