

SIMPLIFIED HYDROLOGICAL AND NITROGEN TRANSFER MODELING IN A SUBSURFACE DRAINED CATCHMENT (ORGEVAL-FRANCE) AND UNDRAINED CATCHMENT (PORIJÕGI ESTONIA)

MODÉLISATION SIMPLIFIÉE DU TRANSFERT D'EAU ET DE NITRATE DANS UN BASSIN VERSANT ARTIFICIELLEMENT DRAINE (ORGEVAL- FRANCE) ET NON DRAINE (PORIJÕGI ESTONIE)

Hocine HENINE¹, Morgan HIVER², Julien Tournebize³, Jaan Parn⁴, Cédric Chaumont⁵,
Bernard Vincent⁶; Ulo Mander⁷;

ABSTRACT

In agricultural area, the nitrogen pollution loading in surface water depends on land use, agricultural practices as well as the hydrology and the climate condition of the catchment. In the literature review, most of modeling of nitrogen transfer needs the use of large and complex data set, that are difficult to collect. The main goal of this study is to carry out a hydrological and a geochemistry modeling by using a simplified as much as the input data set. The distributed Hype model was used to perform the simulations in two different catchments: in the Orgeval catchment (in France) and the Porijõgi catchment (Estonia). The hydrological simulations were calibrated within the observation data at each catchment taking into account their physical specificities: the Orgeval catchment is mainly subsurface drained, and the Porijõgi catchment is fed mainly by groundwater flow and surface runoff. The fitted hydrological models were then used to study nitrogen transfer. Input nitrogen data are limited to the remaining pools at the beginning of winter season. Orgeval results show a good fit between simulated and observed concentrations at the outlet of the whole catchment and some sub-catchments. The results show that a good fit of hydrological model allows a good modelling of nitrogen transfer. In addition, the use of remaining pools at the beginning of winter season as the only input data for quality model allow to simulate accurately the annual dynamic of nitrogen concentration in the river.

RÉSUMÉ

Dans les bassins versants agricoles, le transfert de nitrate vers le réseau hydrographique dépend de l'utilisation des sols, des pratiques agricoles ainsi que de l'hydrologie du bassin versant. Dans la littérature, les modèles de transfert de nitrate nécessite l'utilisation d'un grand nombre de données d'entrée qui sont en général difficile à collecter. Le modèle hydro-géochimique à base physique HYPE (du Swedish Meteorological and Hydrological Institute (Arheimer et al., 2008)) a été appliqué au bassin versant des Avenelles (sous-bassin versant de l'Orgeval) qui a pour particularité d'être drainé à 80% et sur le bassin versant de Porijõgi (en Estonie). L'objectif de l'étude est de comprendre et de modéliser l'hydrologie des deux bassins versants en tenant compte de leurs spécificités : Le bassin versant de l'Orgeval est principalement alimenté par la nappe souterraine et par le drainage artificiel en hiver, le bassin versant Porijõgi, quant à lui, est alimenté principalement par la nappe et le ruissellement de surface. Limiter les données à fournir au modèle dans le but de

¹ [Phd], [Irrstea], [HBAN unit, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, 92761, Antony, France], [Hocine.henine@irstea.fr];

² [Master], [Irrstea], [HBAN unit, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, 92761, Antony, France], [Hocine.henine@irstea.fr];

³ [Phd], [Irrstea], [HBAN unit, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, 92761, Antony, France], [julien.tournebize@irstea.fr];

⁴ [Phd], [Univ.], [Department of Geography, University of Tartu, 46 Vanemuise St, Tartu, 51014 Estonia], [jaan.parn@ut.ee]

⁵ [Design eng.], [Irrstea], [HBAN unit, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, 92761, Antony, France], [cedric.chaumont@irstea.fr]

⁶ [Phd], [Irrstea], [HBAN unit, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, 92761, Antony, France], [bernard.vincent@irstea.fr]

⁷ [Prof.], [Univ.], [Department of Geography, University of Tartu, 46 Vanemuise St, Tartu, 51014 Estonia], [ulo.mander@ut.ee]

simplifier la mise en place de telles simulations est un des axes de l'étude. Les apports artificiels en azote sont limités au reliquat entrée-hiver en fonction du semis utilisé. Les résultats de la modélisation obtenus sur le bassin versant des Avenelles montrent une bonne représentation des débits et des concentrations. Les résultats montrent donc la possibilité de représenter un flux de nitrates avec l'appui au préalable d'une bonne simulation hydrologique.

Keywords: nitrogen transfer; artificial drainage; modeling

1. Introduction

La pollution par les nitrates est aujourd'hui un problème reconnu et des actions tant scientifiques que gouvernementales sont menées dans le but de réduire l'utilisation du principal apport en azote dans l'environnement, les engrais synthétiques. L'objectif principal de cette étude est de limiter les données à fournir au modèle dans le but de simplifier la mise en place des simulations de transfert de nitrate.

Le transfert de nitrate dans les bassins versants est directement lié au comportement hydrologique de ceux-ci. La modélisation des flux d'eau est donc une part importante dans toute étude de transfert de nitrate dans les bassins versants. L'utilisation d'un modèle à base physique permet de représenter au mieux la totalité des processus qu'il intègre, pour obtenir un résultat se voulant proche de la réalité. Cela implique la présence d'un grand nombre de paramètres rendant difficile la phase de calage (Ferrant et al. 2011, Lindstrom et al. 2010). Néanmoins, à la différence des modèles conceptuels, le modèle à base physique permet de comparer les flux à de multiples niveaux aux observations de terrain.

Un problème important lié aux modèles à base physique est l'acquisition de données servant d'entrées au modèle. Tant sur le plan hydrogéochimique que sur le plan agronomique, la disponibilité des données ne permet pas toujours de satisfaire les besoins minimum d'un modèle. Des lacunes réparties de façon aléatoire dans les différentes données obligent l'utilisateur à trop restreindre les périodes et l'espace des simulations (Drouet et al. 2008). C'est pour cela qu'une réflexion sur la limitation des données à utiliser est faite dans ce travail, et plus précisément sur la partie agronomique des données.

Dans le cadre de ce travail, nous avons appliqué le modèle hydro-géochimique à base physique HYPE (du Swedish Meteorological and Hydrological Institute (Arheimer et al. 2008)) aux deux bassins versants pilotes (Orgeval en France et Porijõgi en Estonie).

2. Modélisation

Notre choix scientifique est de tester l'influence hydrologique et principalement la présence du réseau de drainage enterré sur le transfert de nitrate dans le bassin de l'Orgeval. LE modèle hydro-géochimique HYPE (Swedish Meteorological and Hydrological Institute (Arheimer et al. 2008)) a été utilisé pour simuler les débits les concentrations en nitrates dans les différents compartiments du cycle de l'eau. Le bassin versant est découpé en sous bassin homogène de 400 ha, seuil défini comme étant un invariant de culture. Ainsi, sur chaque sous bassin la répartition des cultures est une donnée d'entrée qui reste constante dans le temps.

Le système hydrologique représenté est les compartiments de subsurface drainé (0-1m), de l'aquifère de Brie (1-10m). Le premier compartiment est connecté au réseau hydrographique par les tuyaux de drainage et à l'aquifère de Brie par un terme d'infiltration sous drainage. L'aquifère de Brie contribue aussi à l'écoulement à l'aval. Les pertes en rivière observées à l'aval (vers l'aquifère du Champigny) n'ont pas été représentées dans cette approche.

Le cycle agronomique de l'azote a été simplifié et représenté par un apport artificiel d'azote en septembre pour reconstituer le stock d'azote potentiellement lixiviable, principalement par le réseaux de drains enterrés (Tournebize et al. 2014). Ce stock correspond au reliquat entrée-hiver qui est fonction de la carte des cultures et de la moyenne interannuelle de REH mesuré en Seine et Marne (données acquises par l'équipe).

3. Résultats

Les résultats des simulations de transfert d'eau et de nitrate dans le bassin versant de l'Orgeval nous ont permis de mieux comprendre certains aspects de la modélisation. Tout d'abord, la concentration de base visible en permanence dans le cours d'eau, en dehors des périodes de crue, est facilement modélisable en prenant en compte simplement comme donnée d'entrée le reliquat entrée hiver (REH) et la dénitrification dans le sol et dans le sédiment (Billen and Garnier 1994). Ensuite, en analysant les variations intra-annuelle des concentrations, il est possible de voir que le phénomène d'entraînement ou de dilution est responsable d'augmentation ou de diminution de la concentration dans le cours d'eau (Figure 1). En effet, sachant que la concentration de la nappe profonde (nappe de Brie) varie peu en période hivernale, au début d'une pluie intense, si un stock d'azote est disponible pour la lixiviation par le réseau de drainage, celui-ci va entraîner une augmentation de la concentration dans le cours d'eau, suivie d'une forte baisse des concentrations à la fin de la crue.

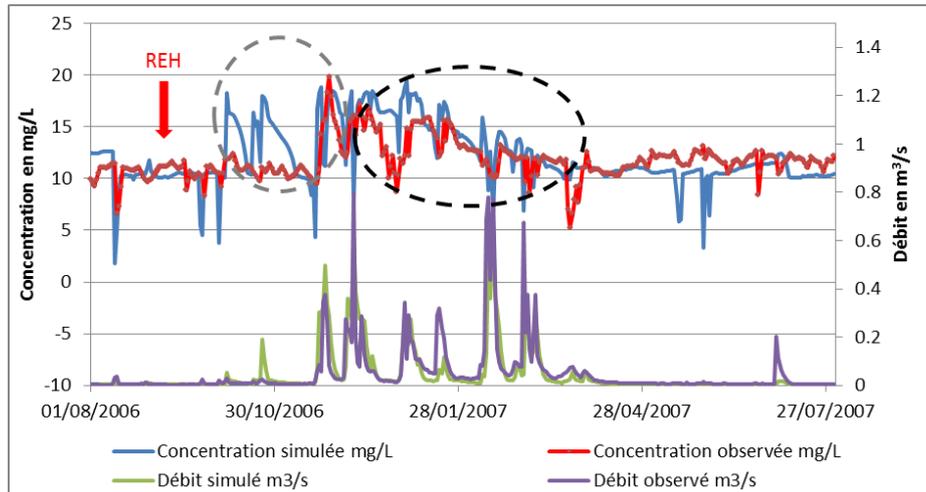


Figure 1 : Concentration et débit de l'année 2006 à Mélarchez (BV de l'Orgeval) ; mise en évidence des effets d'entraînement (cercle gris) et de dilution (cercle noir) et de l'application du REH (flèche noir)

Le graphique de la Figure 1 montre également l'intérêt de l'utilisation au préalable d'un bon calage du modèle hydrologique. Une mauvaise simulation hydrologique entrainera des variations inattendues des concentrations. En effet, à Mélarchez (sous-bassin versant de l'Orgeval), la séparation d'hydrogrammes (Figure 2) montre clairement une prédominance du drainage lors des périodes humides. Le ruissellement n'est présent que durant les pluies les plus intenses. On remarque aussi qu'à l'échelle d'une crue, le ruissellement se produit en début de la crue, et s'annule juste après la fin de l'épisode pluvieux. En période sèche, le faible débit restant est composé uniquement du débit de base. Il en va de même pour les périodes de récession. Ce schéma correspond aux connaissances à priori que nous avons sur le comportement d'un bassin versant artificiellement drainé comme l'Orgeval.

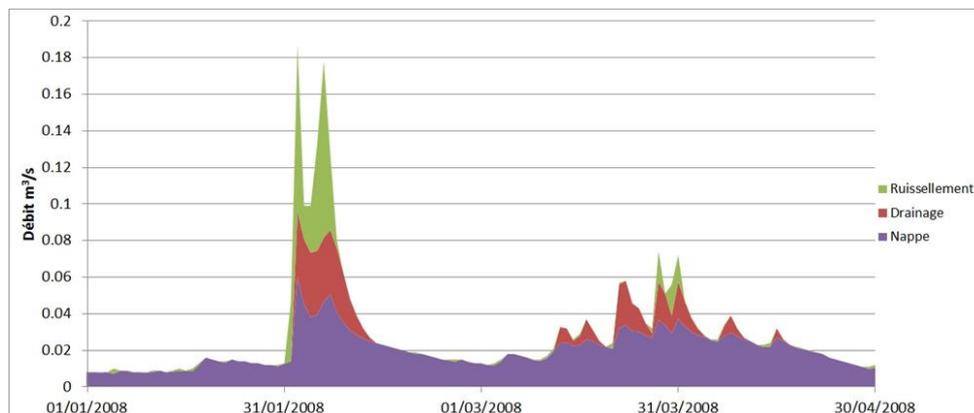


Figure 2 : Séparation d'hydrogramme aux Avenelles de janvier à avril 2008

A partir des résultats du modèle, on peut comparer les moyennes hebdomadaires des simulations et des observations pour éliminer les effets d'interpolation des mesures hebdomadaires au pas de temps journalier. On remarque que la période estivale subit moins de variations que la période hivernale. Cette dynamique est bien représentée par le modèle. La différence entre la moyenne annuelle observée et simulée est inférieure à 2%.

La dynamique des concentrations simulées sur les deux pas de temps (Figure 1 et Figure 3) permet de mettre en évidence le paramétrage des paramètres du modèle de la dénitrification en rivière du modèle. Les paramètres utilisés dans le modèle concordent avec les informations qu'on retrouve dans la littérature :

- La dénitrification en rivière a bien un rôle élevée dans la dénitrification totale lors des périodes d'étiage du fait des faibles débits qui permettent de meilleurs échanges entre l'eau et les sédiments.
- Au contraire, la dénitrification dans le sol est moins importante en étiage. Cela est fortement limité par la faible teneur en eau du sol en été.
- En été, la dénitrification benthique devient donc prépondérante.

4. Modélisation du bassin versant de Porijõgi (Estonie)

Sur le bassin versant de Porijõgi (situé en Estonie), les mêmes principes de modélisation que sur le bassin versant de l'Orgeval ont été appliqués. Les simulations du débit à l'exutoire sont très proche des observations (Figure 4). Les pics de crues sont dans l'ensemble bien représentés. Les périodes de montée de crue et de récession correspondent bien aux observations, ce qui montre une bonne réaction des réservoirs de sub-surface et profonds. La séparation des hydrogrammes correspond elle aussi à nos attentes. Le débit provient majoritairement de la nappe. Des simulations de transfert de nitrates seront envisagées dans la suite de ce travail.

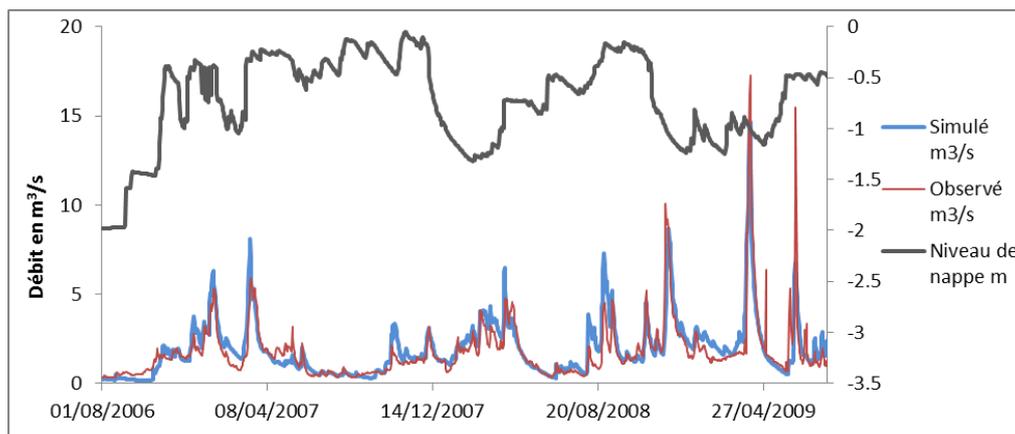


Figure 4 : Hydrogramme de calage et niveau de nappe du bassin versant de Porijõgi

5. Conclusion

Les résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Orgeval a démontré la possibilité de représenter un flux de nitrate à l'exutoire en associant une simulation hydrologique et une seule donnée d'entrée pour le cycle de l'azote correspondant au REH (Reliquat Entrée Hivers). Ceci démontre que le drainage agricole est le principal vecteur dynamique de l'azote en période d'écoulement hivernal, que l'aquifère de Brie a une contribution permanente avec une concentration peu variable annuellement. Cette représentation du système Orgeval peut servir, en perspective, à tester des scénarios de gestion de résilience de la qualité de la nappe de Brie

Références

- Arheimer B, Lindström G, Pers C, Rosberg J, Strömquist J. 2008. Development and test of a new Swedish water quality model for small-scale and large-scale applications. Pages 483-492. XXV Nordic Hydrological Conference, Reykjavik.
- Billen G, Garnier J. 1994. Modelling phytoplankton development in whole drainage networks: the RIVERSTRAHLER Model applied to the Seine river system. *Hydrobiologia* 289: 18.
- Drouet J, Cellier P, Duret S, Durand P, Theobald M, Dragosits U, Olesen JE, Hutchings N, Dalgaard T, Breuer L. 2008. The conceptual scheme of NitroScape: An integrated tool to simulate reactive nitrogen transfer and greenhouse gas balance at the landscape scale. *The conceptual scheme of NitroScape*: 71-72.
- Ferrant S, Oehler F, Durand P, Ruiz L, Salmon-Monviola J, Justes E, Dugast P, Probst A, Probst J-L, Sanchez-Perez J-M. 2011. Understanding nitrogen transfer dynamics in a small agricultural catchment: Comparison of a distributed (TNT2) and a semi distributed (SWAT) modeling approaches. *Journal of Hydrology* 406: 1-15.
- Lindstrom G, Pers C, Rosberg J, Stromqvist J, Arheimer B. 2010. Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41: 295-319.
- Tournebize J, Chaumont C, Fesneau C, Guenne A, Vincent B, Garnier J, Mander Ü. 2014. Long-term nitrate removal in a buffering pond-reservoir system receiving water from an agricultural drained catchment. *Ecological Engineering*.