
ASSIMILATION DE DONNÉES POUR AMÉLIORER LES MODÈLES DE QUALITÉ DE L'EAU : VERS UN INDICATEUR DE PRESSION AZOTÉE

Thèse de Samy **CHELIL**¹

Analysée par Marc **VOLTZ**²

Directeur de thèse : Julien **TOURNEBIZE**, Ingénieur de recherche, Unité de recherche HYCAR, Hydrosystèmes Continentaux Anthropisés - Ressources, Risques, Restauration (INRAE).

Co-directeur de thèse : Olivier **MALATERRE**, Ingénieur de recherche, Unité de recherche HYCAR, Hydrosystèmes Continentaux Anthropisés - Ressources, Risques, Restauration (INRAE).

Co-encadrement : Hind **OUBANAS** Ingénieur de recherche, INRAE, (G-EAU), Hocine **HENINE** Ingénieur de recherche, INRAE (HYCAR)

La thèse de Samy Chelil aborde la question de la modélisation des flux de nitrates dans les sols drainés. L'idée originale et intéressante du travail de thèse est de chercher à estimer par modélisation le stock résiduel de nitrates à l'entrée d'hiver par calage de la modélisation sur les flux de nitrates mesurés dans le réseau de drainage. En d'autres termes, l'idée a été d'utiliser le modèle de manière inverse, c'est-à-dire de prédire l'entrée du modèle à partir de la connaissance des sorties du modèle. En effet, Samy Chelil argumente à juste titre qu'il est plus aisé de mesurer des flux de nitrates à la sortie de drains que d'estimer un stock résiduel de nitrates dans le sol, sujet à une grande variabilité spatiale.

La démarche suivie par Samy Chelil a compris deux étapes majeures. Dans la première étape, Samy Chelil a développé et testé un modèle original de transfert des nitrates depuis le sol drainé vers l'exutoire du réseau de drainage. Ce modèle de nature conceptuelle avec trois réservoirs (un réservoir proche du drain responsable de transferts rapides et deux réservoirs superposés en inter-drain responsables de transferts lents) fait suite aux nombreux travaux menés par l'unité de recherche INRAE HYCAR à Antony. Les travaux d'évaluation menés montrent la très bonne capacité du modèle à reproduire, après calibration, les dynamiques de flux de nitrates en période hivernale à la sortie du réseau de drainage sur plusieurs sites d'observations. Ils montrent aussi la capacité du modèle à estimer par calage sur les données de flux des différences interannuelles de stock résiduel de nitrates à l'entrée de l'hiver.

¹ Thèse de doctorat en hydrologie de Sorbonne Université, École Doctorale N° 398, Géosciences, Ressources Naturelles et Environnement, Equipe ARTEMHYS (INRAE Jouy-en Josas, Antony), présentée et soutenue publiquement le 9/12/2022.

² Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, Directeur de recherche INRAE, section 5. « Interactions milieux-être vivants ».

Dans la seconde étape, une technique moderne d'assimilation de données (méthode variationnelle 4D-Var) a été mise en œuvre et testée avec succès pour prendre en compte la structure de corrélation temporelle des données d'observations utilisées pour le calage du modèle et ainsi améliorer la précision de celui-ci. Les différents tests effectués aboutissent à plusieurs résultats significatifs. Ils montrent notamment la possibilité théorique d'estimer numériquement, à partir de chroniques de flux de nitrates dans les drains, non seulement le stock du sol en nitrates à l'entrée de l'hiver mais également l'évolution de ce stock au cours d'une année sans avoir à représenter le cycle de l'azote dans le sol. Ils montrent également que, à cet effet, des chroniques à fréquence hebdomadaire, voire mensuelle, sont suffisantes.

Le manuscrit se lit bien avec des illustrations pertinentes. L'insertion d'articles déjà publiés ou en voie de soumission par l'auteur aurait toutefois mérité une introduction et une synthèse finale plus élaborées afin de mieux assurer les transitions avec les autres parties du texte. *A contrario*, il faut féliciter l'auteur pour sa valorisation de ses travaux de thèse (3 articles parus et 1 à soumettre dont 3 en premier auteur).

Au plan de la modélisation, le travail réalisé est très conséquent et original et repose sur une très bonne articulation entre phases de conceptualisation et d'évaluation expérimentale. De surcroît, il montre l'intérêt de l'application de méthodes élaborées d'assimilation de données pour des démarches de modélisation environnementale.

Au plan cognitif, le travail de thèse démontre la possibilité d'estimer un stock résiduel de nitrates en entrée d'hiver à l'échelle d'une parcelle ou d'un ensemble de parcelles à partir des chroniques de flux de nitrates observées dans un réseau de drainage des sols. Comme souligné par l'auteur, ce stock pourrait être utilisé comme indicateur de pression azotée. L'intérêt majeur d'un tel indicateur est qu'il est, par construction, spatialement intégré et calé sur des mesures *in situ* en temps réel de la contamination des eaux. Pour une utilisation opérationnelle de l'indicateur aux plans agronomique et environnemental, des investigations complémentaires seront toutefois à envisager dans le prolongement de la thèse de Samy Chelil. Il s'agira notamment d'approfondir la signification du stock en nitrates estimé, car elle dépend intrinsèquement des concepts de la modélisation développée pour l'estimation du stock. Il serait donc très intéressant dans le futur d'effectuer plus de comparaisons avec des stocks en nitrates mesurés dans les sols drainés, voire avec ceux estimés par modélisation du cycle de l'azote dans ces sols. Cela permettra ensuite de préciser les objectifs et conditions d'utilisation de l'indicateur.

Pour conclure, la thèse de Samy Chelil correspond à un excellent travail de modélisation hydrologique du transfert des nitrates dans des systèmes de drainage artificiel des sols. Il ouvre la voie à une estimation simplifiée et spatialement intégrée des stocks résiduels de nitrates à l'échelle d'un domaine de sols drainés. La connaissance de ces stocks est susceptible de servir d'indicateur pour une meilleure gestion de la fertilisation azotée et de ses conséquences environnementales sur les sols drainés. Cela nécessitera toutefois des travaux complémentaires précisant l'apport d'un tel indicateur par rapport aux approches agronomiques proposant un bilan azoté des sols cultivés.

Les résultats présentés dans cette thèse justifient que cette analyse figure sur le site de l'Académie et dans le Mensuel à titre de valorisation.