

VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE À LA CONTAMINATION PAR LES NITRATES : CARACTÉRISATION GÉOLOGIQUE ET SIMULATION HYDRODYNAMIQUE SUR UN SOUS-BASSIN DE LA RIVIÈRE YAMASKA, QUÉBEC

Bolduc, S. Dép. Sci. de la Terre et de l'Atmosphère, Univ. du Québec à Montréal, Montréal, Québec

Larocque, M. Dép. Sci. de la Terre et de l'Atmosphère, Univ. du Québec à Montréal, Montréal, Québec

Prichonnet, G. Dép. Sci. de la Terre et de l'Atmosphère, Univ. du Québec à Montréal, Montréal, Québec

RÉSUMÉ

Cette étude vise à quantifier la contamination par les nitrates sur la rivière Noire, un sous-bassin de la Yamaska. Des travaux de terrain et de modélisation sont réalisés. Les résultats montrent que les dépôts du Quaternaire sont discontinus, augmentant ainsi la vulnérabilité de la nappe. Les concentrations en nitrates sont supérieures à 10 mg N-NO₃/l dans 10% des puits échantillonnés, généralement les moins profonds. La modélisation montre que les zones de recharge contribuent à un écoulement local, circulant dans les couches superficielles du roc et drainé par la rivière Noire.

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize groundwater nitrate contamination on the Noire River, a sub-watershed of the Yamaska. The methodology includes field and modeling work. Results show that Quaternary deposits are discontinuous, which increases groundwater vulnerability. Nitrate concentrations exceed 10 mg N-NO₃/l in 10% of the sampled wells, mostly in those of shallow depths. Modeling indicates that recharge contributes to a local groundwater flow system, circulating in the upper meters of fractured bedrock, and drained by the Noire River.

1. INTRODUCTION

Des études récentes montrent que la rivière Yamaska (Montérégie, Québec) est un des affluents du fleuve Saint-Laurent les plus contaminés par les activités agricoles. La production intensive de porcs et de maïs rend le sous-bassin de la rivière Noire particulièrement vulnérable à la contamination des eaux souterraines. L'hydrogéologie de cette région a été sommairement décrite dans un nombre limité d'études (Paré, 1978; McCormack et Lacouline, 1996). Ces études ont utilisé une approche régionale et n'ont pas considéré les conditions locales à la source de la contamination par les nitrates. L'objectif de ce travail était de caractériser la pollution des eaux souterraines par les nitrates sur une partie du bassin de la rivière Noire. La zone d'étude couvre 104 km², près de la confluence entre les rivières Noire et Yamaska, près des municipalités de Saint-Hyacinthe et Granby. La rivière Noire coule au centre de la zone, tandis que le ruisseau des Aulnages coule sur le flanc ouest du sous-bassin. Les limites hydrogéologiques est et ouest correspondent à celles du bassin versant. Sur la rivière Noire, plus de 50% des engrais ne sont pas absorbés par les plantes (Delisle *et al.*, 1998). La méthodologie utilisée dans ce travail

inclut des études géologiques et hydrogéologiques combinées à de la modélisation des eaux souterraines.

2. GÉOLOGIE

La zone d'étude est située sur le piedmont des Appalaches, à la limite sud-est des Basses-Terres du Saint-Laurent. Les roches du substratum correspondent à des unités stratigraphiques composées d'ardoises, de schistes à blocs, de calcaires argileux, de grès et de conglomérats (Prichonnet, 1984). Pendant le Wisconsinien supérieur et la période Holocène, des sédiments variés ont été déposés sur le roc, incluant du till de fond et des sables et graviers fluvio-glaciaires, plus tard recouvert de sables et d'argile d'origine marine. La photo-interprétation, l'échantillonnage, la granulométrie et la résistivité électrique ont été utilisés pour évaluer la répartition spatiale des unités stratigraphiques afin de déterminer les zones vulnérables à la contamination des eaux souterraines.

Les résultats montrent que les affleurements rocheux (28% de la zone d'étude) sont surtout localisés à l'est de la rivière Noire. Des crêtes de roc transperçant les

dépôts quaternaires sont observées plus près de la rivière. La résistivité électrique a montré la présence d'une zone très conductrice dans les premiers 10 à 15 m du substratum. Cette couche plus perméable joue probablement un rôle important dans l'écoulement des eaux souterraines. Des dépôts de till relativement peu perméables sont observés au nord-est (4%). Les dépôts d'argile marine (38%) sont situés dans le centre de la vallée, directement au-dessus du roc. Ils peuvent atteindre 20 m d'épaisseur et sont considérés imperméables. Des dépôts de 3 à 6 m d'épaisseur de sables et gravier (30%) sont dispersés sur les flancs est et ouest du sous-bassin. Cette couche très perméable repose soit sur l'argile, soit directement sur le roc. Un esker a été identifié dans le centre de la zone d'étude. Il a une orientation nord-sud et repose directement sur le roc. Tous les affleurements rocheux et dépôts de sables reposant sur le substratum rocheux constituent des zones de recharge de grande vulnérabilité. À l'inverse, les zones d'argile sont mieux protégées contre la contamination.

3. HYDROGÉOLOGIE

Dans cette région des Basses-Terres du Saint-Laurent, les eaux souterraines s'écoulent des Appalaches vers le fleuve Saint-Laurent (Paré, 1978). Cet aquifère régional est recouvert par des sous-aquifères délimités par la topographie et les réseaux hydrographiques. La séparation du débit de base a montré que la contribution des eaux souterraines à la rivière Noire représente en moyenne 48% du débit total de la rivière. Ce résultat, combiné à la carte piézométrique, confirme que la rivière Noire joue un rôle dans la création d'un sous-aquifère local. Les charges hydrauliques mesurées sont relativement constantes, un indice que les fractures du roc communiquent bien dans toute la zone. Les niveaux de la nappe sont situés près de la surface topographique et ne varient pas significativement durant l'année.

L'échantillonnage des eaux de surface et souterraines ont été réalisés à tous les deux mois entre juin 2001 et juin 2002 dans 28 puits privés et neuf stations de rivière. 10% des puits échantillonnés dépassaient 10 mg N-NO₃/l et 18% de puits supplémentaires dépassaient 2 mg N-NO₃/l, montrant alors un signe de contamination. Les basses concentrations en nitrates ont été observées dans les puits situés près de la rivière Noire, où l'argile recouvre le roc fracturé. Les concentrations élevées ont été trouvées sous les zones de recharge identifiées précédemment. Les résultats montrent que la concentration en nitrate décroît généralement avec la profondeur du puits. Les concentrations dans les eaux de surface dépassaient souvent 10 mg N-NO₃/l et étaient supérieures dans le ruisseau des Aulnages,

probablement à cause du ruissellement direct et du drainage. Les rapports isotopiques de l'oxygène des eaux de surface et souterraines ont été mesurées en octobre 2001 et avril 2002. Le ¹⁸O des eaux de surface était inférieur au printemps, probablement à cause de l'appauvrissement des isotopes lourds dans les précipitations de la saison froide (Clark et Fritz, 1997). Le ¹⁸O des eaux souterraines s'avérait constant dans l'espace et dans le temps. Ceci peut être expliqué par le mélange des eaux de la recharge avec des eaux plus anciennes dans l'aquifère et par les taux de recharge faibles dans plusieurs secteurs de l'aquifère.

Deux essais de pompage de courte durée effectués sur des puits privés montrent des transmissivités de $2,5 \cdot 10^{-5}$ à $8,7 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Ces résultats sont compris dans l'intervalle des valeurs mesurées par Paré (1978) sur le bassin de la Yamaska. La conductivité hydraulique des dépôts meubles a été mesurée sur le terrain avec un perméamètre de Guelph fournissant des valeurs de $2,1 \cdot 10^{-4}$ m/s pour les sols sableux à $1,4 \cdot 10^{-9}$ m/s pour les sols argileux.

4. MODELISATION HYDROGÉOLOGIQUE

Un modèle d'écoulement des eaux souterraines a été développé en utilisant MODFLOW (McDonald et Harbaugh, 1988) pour intégrer les données géologiques et hydrogéologiques et vérifier les hypothèses d'écoulement. La plupart des paramètres requis ont été dérivés des caractérisations géologique et hydrogéologique décrites ci-dessus, mais le calage du modèle a été nécessaire pour simuler adéquatement les charges mesurées. Les données piézométriques ne montrant que peu de variation durant l'année, des niveaux moyens ont été utilisés pour le calage en régime permanent. Des couches de conductivités élevées ont été attribuées aux premiers 10 à 15 m de roc, comme le suggéraient les résultats de résistivité électrique. Des puits d'injection de faibles débits ont été requis sur les limites latérales pour simuler des entrées d'eau provenant des régions adjacentes, indiquant que les bassins hydrologiques utilisés pour délimiter la zone d'étude ne correspondaient pas exactement au bassin hydrogéologique. Le modèle calé simule très bien les charges mesurées ($r^2=0,99$). Le modèle représente adéquatement les conditions d'écoulement en régime permanent. L'hypothèse de l'écoulement des eaux souterraines des zones de recharge vers la rivière Noire dans les couches supérieures du roc fracturé apparaît donc réaliste.

Le transport des nitrates de la surface du sol vers l'aquifère est en cours de réalisation. Les flux de nitrates du sol en zone non saturé sont évalués en utilisant Agrisk, un outil éducatif dérivé du logiciel Agriflux

(Larocque et Banton, 1997), un modèle mécaniste et stochastique permettant de simuler le lessivage des nitrates dans les sols cultivés. Les résultats seront alors utilisés pour simuler la contamination par les nitrates dans les zones de recharge de la rivière Noire.

5. CONCLUSION

Les résultats montrent que la plupart des puits contaminés par les nitrates sont situés sous les zones de recharge et que les concentrations sont plus élevées dans les puits les moins profonds. Les autres résultats de terrain et de modélisation montrent que la recharge contribue au système d'écoulement local des eaux souterraines, circulant dans les couches supérieures du roc fracturé et drainé par la rivière Noire. Une portion minimale de la recharge semble contribuer au système d'écoulement régional qui conduit vers le fleuve Saint-Laurent sans influence notable de la surface. La vulnérabilité des aquifères dépend donc de la présence de contaminants dans les zones de recharge, de l'épaisseur du roc fracturé conducteur et du système d'écoulement local influencé par la géologie, la topographie et l'hydrologie de surface. L'identification des zones vulnérables à l'échelle locale est par conséquent d'une importance capitale pour protéger les ressources locales d'eau souterraine. Ce travail a montré que les caractérisations géologique et hydrogéologique, combinées à la modélisation hydrogéologique, constituent des outils appropriés pour atteindre cet objectif à l'échelle locale.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, le Conseil de gestion du bassin de la Yamaska et tous les producteurs agricoles et propriétaires participants.

RÉFÉRENCES

- Clark et Fritz. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis publishers.
- Delisle, Gariépy et Bédard. 1998. Bassin versant de la Yamaska : l'activité agricole et ses effets sur la qualité de l'eau. MENV et Saint-Laurent Vision 2000.
- Larocque et Banton. 1997. AgriFlux 2.0 – Manuel d'utilisation. Logiciel d'évaluation des pertes environnementales de nitrates et de pesticides. Rapport INRS-Eau, Sainte-Foy, Québec.
- McCormack et Lacouline. 1996. Eaux souterraines - état des connaissances. Dans : Colloque sur la gestion de l'eau en milieu rural - Stratégie de gestion : vers une vision commune, CPVQ, Québec.

MacDonald et Harbaugh. 1988. A modular 3D finite-difference groundwater flow model. USGS TWRI.

Paré. 1978. Étude hydrogéologique, bassin versant de la Yamaska: Québec, Ministère des Richesses Naturelles, Direction générale des eaux.

Prichonnet. 1984. Dépôts quaternaires de la région de Granby, Québec: Commission géologique du Canada.