



# VERS UNE GESTION DURABLE DE L'EAU SOUTERRAINE DANS LES RÉGIONS AGRICOLES

.....

DAVID L. RUDOLPH, UNIVERSITÉ DE WATERLOO  
*Publié avril 2015*



# VERS UNE GESTION DURABLE DE L'EAU SOUTERRAINE DANS LES RÉGIONS AGRICOLES

DAVID L. RUDOLPH, UNIVERSITÉ DE WATERLOO  
*Publié avril 2015*

## CONTEXTE

L'agriculture compte pour plus de 70 % des prélèvements d'eau douce à l'échelle mondiale. À mesure que la demande mondiale en nourriture augmente, la demande en eau douce continue elle aussi d'augmenter. L'agriculture est une industrie majeure dans de nombreux pays, dont le Canada, et la compétitivité économique met en jeu l'utilisation appropriée de produits agrochimiques. Cependant, l'utilisation à long terme d'engrais chimiques a entraîné la dégradation de la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine.

Les nitrates proviennent du fumier et des engrais minéraux et affectent la qualité de l'eau souterraine. Parce que les engrais sont appliqués sur de grandes surfaces, la source des nitrates dans l'eau souterraine est largement distribuée et très variable dans l'espace et le temps. Une autre complication est la lenteur de l'écoulement et la longueur des voies d'écoulement en subsurface, deux facteurs qui causent des hausses graduelles chroniques et préoccupantes des concentrations ainsi que des baisses très lentes de ces concentrations.

Il existe de nouvelles pratiques de gestion conçues pour harmoniser les taux et fréquences d'application des engrais avec les exigences des cultures. La mise en œuvre de ces bonnes pratiques de gestion (BPG) vise à minimiser l'impact environnemental et à optimiser l'utilisation des engrais. Les agriculteurs ont besoin de conseils quant aux BPG les plus appropriées et rentables pour leurs conditions particulières. Les autorités municipales d'approvisionnement en eau souterraine jouent un rôle dans le soutien à l'implantation de BPG à l'échelle régionale dans les terres agricoles avoisinantes. Les analystes politiques des gouvernements provinciaux ont besoin de données scientifiques probantes pour mettre au point des outils législatifs fonctionnels.

Bien que des programmes de BPG aient été adoptés partout dans le monde, il existe peu de résultats basés sur le rendement qui permettraient d'évaluer l'utilité des efforts de gestion des éléments nutritifs dans la réduction des concentrations en nitrates dans l'eau souterraine à l'échelle d'un champ agricole. Cela se doit en partie aux longues périodes que ce genre d'évaluation nécessite et aux difficultés associées au maintien d'un programme de surveillance au cours de ces périodes.

Notre projet de recherche a suivi le rendement de différentes BPG des éléments nutritifs appliquées à l'échelle régionale sur des terres agricoles actives situées près de puits de branchement au réseau public (puits publics) qui affichent de façon chronique des concentrations en nitrates élevées. Le projet a exploré différentes méthodes d'évaluation du rendement à court terme et a évalué plus de dix ans de données sur la qualité de l'eau tirées d'une surveillance détaillée de l'eau souterraine et de ces puits publics. De plus, de nouvelles stratégies in situ de restauration de l'eau souterraine ont été conçues et évaluées en vue de réduire les concentrations en nitrates dans les puits publics avant que les pleins effets des BPG ne soient constatés après leur adoption. Les résultats visent à fournir aux exploitants agricoles, aux gestionnaires de l'eau municipale et aux décideurs gouvernementaux des données probantes pour appuyer leurs décisions afférentes à la gestion des éléments nutritifs en lien avec la durabilité des opérations agricoles et des ressources en eau souterraine.



## MÉTHODES DE RECHERCHE

En 2003, le comté d'Oxford, dans le Sud de l'Ontario, a acheté 275 acres de terres agricoles situées à proximité d'un groupe de puits publics (champ de captage Thornton), avec l'intention de mettre en place des pratiques de rotation des éléments nutritifs et des cultures en vue de réduire les concentrations de nitrates dans l'eau souterraine. On a conçu pour le site un programme détaillé de BPG des éléments nutritifs, qui comportait une réduction importante des épandages d'engrais ainsi que l'ajout de cultures de couverture d'hiver. Durant la saison de croissance 2003-2004, les taux d'application d'engrais ont été réduits d'environ 45 %, et l'engrais combiné (fumier et engrais minéral) a été remplacé par de l'engrais minéral seulement. On a inclus une culture de couverture d'hiver de légumineuses (trèfle rouge) dans la rotation des cultures afin d'assurer un apport en éléments nutritifs au printemps.

Un réseau de puits de surveillance des eaux souterraines a été installé dans la zone du champ en vue de définir les conditions de subsurface et de suivre les concentrations de nitrates dans le réseau d'écoulement souterrain. Quinze stations ont été construites pour faciliter la surveillance des concentrations dans l'eau interstitielle et de la masse totale des nitrates stockés dans la zone non saturée par analyse d'échantillons subdivisés de carottes. On a également pris des mesures de la recharge de la nappe souterraine dans chaque station afin d'estimer la masse totale des nitrates lessivés dans la zone non saturée. Au cours d'une période de

dix ans, on a surveillé les concentrations en nitrates dans les sédiments non saturés, dans le réseau d'écoulement souterrain et dans les puits publics afin d'observer et de quantifier l'influence des BPG sur l'amélioration de la qualité de l'eau souterraine. On a fait un suivi annuel des taux d'application d'éléments nutritifs, des rotations des cultures et de la production des cultures, et on a évalué ces données en conjonction avec les données de surveillance du sous-sol.

Durant la deuxième moitié de la période de surveillance de dix ans, un programme pilote d'assainissement des eaux souterraines a été mis en œuvre près des puits publics afin d'évaluer l'efficacité de cette approche pour la réduction à court terme des teneurs en nitrates des eaux souterraines. Cela a requis l'injection d'un amendement de carbone soluble dans l'aquifère à un endroit où le flux de masse de nitrates était élevé, avec l'intention de renforcer la dégradation microbienne des nitrates dissous. L'efficacité de cette stratégie d'assainissement a été contrôlée en aval du site d'injection. On a également évalué la possibilité d'employer une combinaison de BPG et de stratégies d'assainissement.



Figure 1 : Travail de terrain en cours au champ de captage de Thornton

## RÉSULTATS DE RECHERCHE

### SURVEILLANCE DU PROGRAMME DE BPG

Le programme de BPG des éléments nutritifs a été lancé en 2004 et se poursuit à ce jour. On a prélevé à plusieurs reprises depuis 2004 des échantillons subdivisés de carottes dans les 15 stations afin d'y mesurer les concentrations en nitrates. On a régulièrement prélevé et analysé des échantillons d'eau souterraine dans le réseau de puits de surveillance afin de mesurer les concentrations en nitrates.

Selon les analyses effectuées sur les échantillons d'eau souterraine prélevés au début de l'adoption des BPG, la concentration moyenne en nitrates dans le principal aquifère de production était d'environ 11 mg/L (tableau 1). L'analyse de la teneur en nitrates dans les échantillons de carottes tout le long de la profondeur de carottage a révélé une large gamme de concentrations et de masses stockées totales aux différents emplacements. Selon les données, peu après l'adoption des BPG, l'eau interstitielle dans la zone non saturée affichait une concentration moyenne en nitrates d'environ 20 mg/L (exemple dans la figure 1). La combinaison des concentrations en nitrates et des taux de recharge de la nappe souterraine semblait indiquer qu'initialement, au total, environ 5,6 tonnes de nitrates étaient lessivées chaque année dans la zone non saturée.

	SEPT. 2004	OCT.-NOV. 2007	MAI 2008	AOÛT 2014
<b>MINIMUM</b>	6,30*	0,00	0,00	0,06
<b>MOYENNE</b>	11,17	10,16	8,57	6,29
<b>MAXIMUM</b>	16,20	16,30	17,60	14,11
<b>NOMBRE DE PUIITS</b>	6	23	27	23
<b>SOURCE</b>	Haslauer (2005)	Koch (2009)	Koch (2009)	(non publiée)

\*Concentrations en nitrates (NO<sub>3</sub> – N) en mg/L

Tableau 1 : Concentrations en nitrates dans les eaux souterraines prélevées dans les puits de surveillance situés sous les terres agricoles où l'on a adopté les BPG des éléments nutritifs

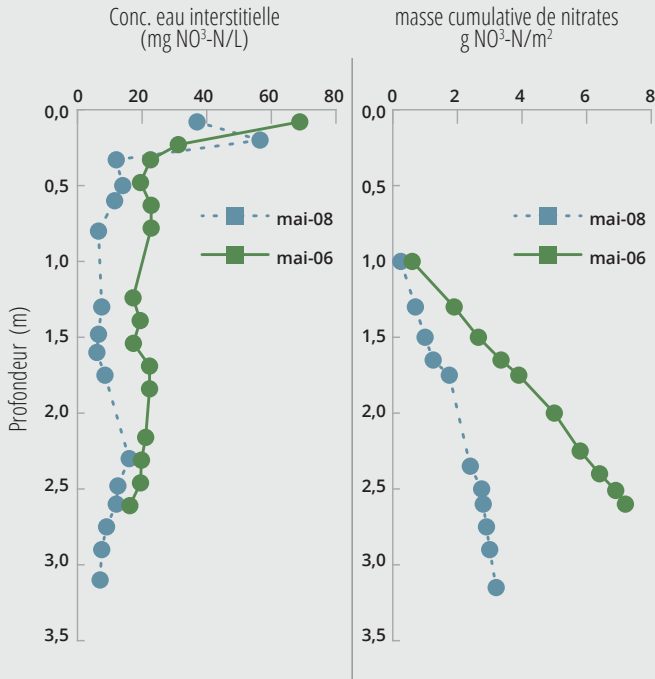


Figure 2 : Exemple des concentrations en nitrates dans l'eau interstitielle et de la masse cumulative de nitrates à différentes profondeurs dans la zone non saturée située sous les terres cultivées dans le site de Woodstock, d'après des échantillons continus prélevés à intervalles de deux ans après la réduction d'environ 45 % du taux d'application des engrais amorcée en 2004. (Données tirées de Rudolph et coll., 2015)

La concentration en nitrates dans l'eau interstitielle et la masse cumulative de nitrates dans la zone non saturée ont commencé à diminuer quelques années après l'adoption des BPG (figure 2). En 2008, la concentration moyenne en nitrates dans l'eau interstitielle avait baissé pour se chiffrer à environ 8 mg/L, et la masse estimative totale de nitrates s'infiltrant dans la zone non saturée avait reculé d'environ 60 %, pour se situer à 2,1 tonnes par année. Ces constats correspondaient de près aux réductions de l'application d'engrais prévues dans le programme de BPG. Le suivi minutieux du rendement des cultures au cours de la période de surveillance de dix ans a révélé des rendements de production de maïs égaux ou supérieurs à la moyenne historique de 135 boisseaux à l'acre, malgré l'application réduite d'engrais.

En 2014, la concentration moyenne en nitrates dans l'aquifère de production avait poursuivi son recul et se chiffrait à environ 6 mg/L, soit environ 50 % de moins que ce qu'on avait initialement observé en 2004 (tableau 1). Les concentrations en nitrates dans les puits publics ont également affiché une baisse graduelle, pour passer de valeurs moyennes de 11 mg/L en 2004 à tout juste sous 8 mg/L en 2014 (figure 3). Cette amélioration importante signifie que les puits peuvent maintenant être utilisés directement pour l'approvisionnement municipal.

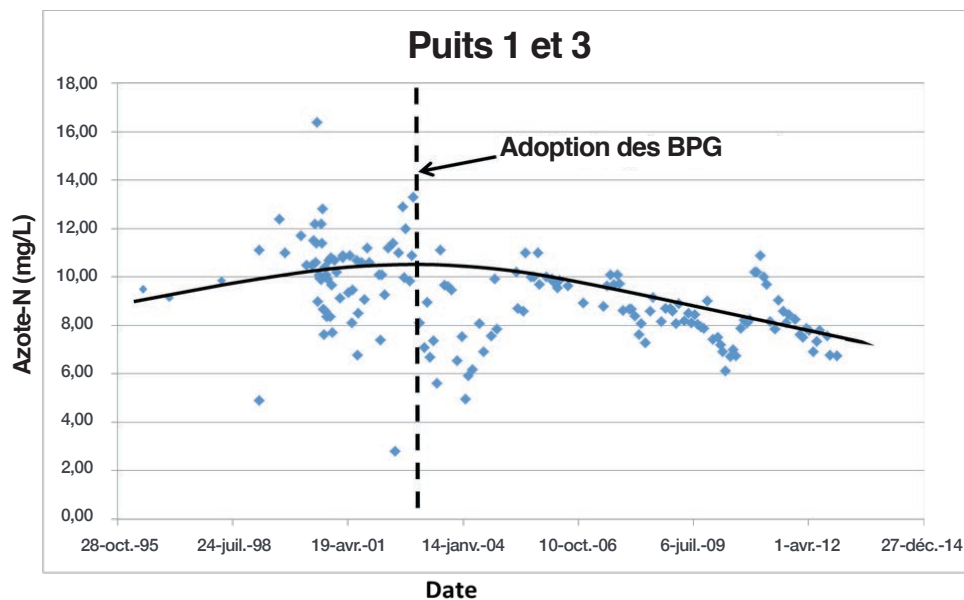


Figure 3 : Concentrations en nitrates (azote-N) (entre 1995 et 2013) dans deux puits publics (puits 1 et 3) situés dans le champ de captage Thornton, dans le comté d'Oxford, en Ontario, au Canada (données tirées de Rudolph et coll., 2015)



## EXPÉRIENCE D'ASSAINISSEMENT

Au cours du programme de surveillance à long terme, on a mené une expérience pilote d'assainissement de l'eau souterraine près des puits publics, à un endroit où le flux de masse de nitrates dans l'aquifère convergeait vers les puits. Des puits de surveillance à plusieurs niveaux situés à 5 mètres en aval du point d'injection ont été utilisés pour surveiller les changements géochimiques dans l'aquifère. Les données ont confirmé une baisse importante des concentrations d'oxygène dissous, ce qui créait les conditions anaérobies nécessaires pour la dénitrification par voie microbienne.

La masse totale de nitrates a reculé d'environ 50 % dans la zone de traitement au cours d'une période de deux mois (figure 3). L'application de cette expérience pilote à une zone de traitement d'environ 70 mètres permettrait de réduire la teneur en nitrates à un niveau inférieur à la limite applicable à l'eau potable. Ces résultats illustrent que la stratégie de dénitrification in situ est une option viable pour réduire les concentrations en nitrates dans l'aquifère à court terme, avant les réductions produites par l'adoption des BPG.

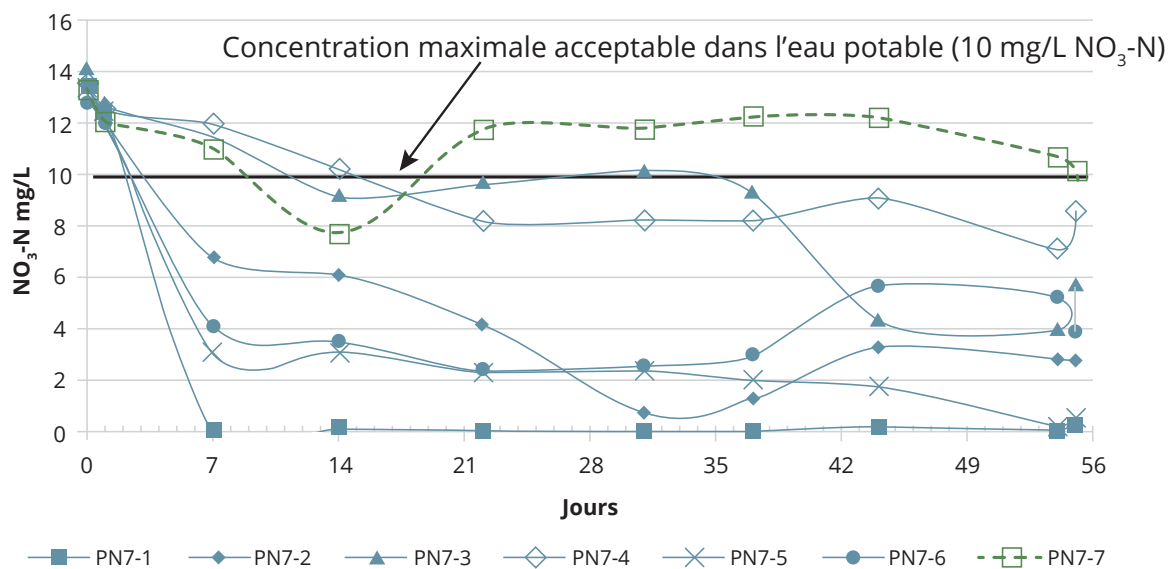


Figure 4 : Recul des concentrations en nitrates dans l'eau souterraine au cours de la période d'injection dans un puits à plusieurs niveaux situé à 5 m en aval du point d'injection de l'amendement. Les couches dans lesquelles les concentrations ont chuté sous la limite applicable dans l'eau potable (10 mg/L) sont indiquées au moyen de lignes continues (données tirées de Shaw, 2012)

## APPLICATION DE LA RECHERCHE

Le maintien d'une industrie agricole rentable, productive et durable est important pour toutes les régions du Canada. Les résultats de ce projet indiquent que l'application, dans des terres agricoles, de BPG des éléments nutritifs à l'échelle régionale peut servir à atténuer les impacts environnementaux sur les eaux souterraines. L'adoption de pratiques optimales de gestion des engrais et de rotation des cultures peut minimiser la perte d'éléments nutritifs. Ces BPG peuvent être mises en place dans le cadre des pratiques agricoles conventionnelles avec une incidence minimale sur le rendement des cultures – une considération essentielle pour les plans d'entreprises agricoles.

La présente étude constitue un exemple scientifique – qui faisait grandement défaut – d'un programme fructueux de BPG des éléments nutritifs qui pourrait être appliqué au milieu agricole à plus grande échelle. Cette information sera utile aux agriculteurs et aux associations agricoles qui s'intéressent à la durabilité agricole, aux responsables municipaux de la gestion à long terme des réseaux publics d'approvisionnement en eau souterraine et aux autorités gouvernementales qui réfléchissent à des outils de réglementation appropriés.

Un des défis perçus de l'adoption à l'échelle régionale de programmes de BPG des éléments nutritifs est le fait que ces pratiques doivent être mises en œuvre sur de vastes surfaces agricoles. Les résultats de la recherche indiquent que l'adoption ciblée de BPG dans des régions locales plus vulnérables peut entraîner d'importantes améliorations dans la qualité de l'eau souterraine, sans qu'il soit nécessaire d'implanter les BPG à l'échelle du bassin hydrographique ou de la zone des puits de captage au complet. Une des implications cruciales de ce résultat est le fait qu'il pourrait suffire de mobiliser un nombre relativement peu élevé d'agriculteurs dans la zone d'un puits public pour maintenir une qualité d'eau souterraine acceptable. Cela pourrait aider les municipalités à mettre au point des programmes incitatifs ciblés et rentables pour encourager l'adoption de BPG au lieu de faire

construire des systèmes de traitement de l'eau hors sol. Lorsque les membres de la communauté agricole locale constateront les bienfaits de l'adoption des BPG des éléments nutritifs dans les exploitations voisines, ils pourraient être tentés d'adopter ces mêmes BPG de plein gré à plus grande échelle. Cette information pourrait être fort utile aux organismes de réglementation et aux décideurs qui travaillent sur l'élaboration d'un cadre législatif efficace et acceptable.

La détérioration de la qualité de l'eau souterraine et son amélioration après une intervention peut être très lente. L'exemple fourni dans ce projet de recherche illustre clairement ce fait, surtout dans les cas où la zone non saturée est relativement épaisse et où les voies d'écoulement souterrain sont longues. Les plans doivent tenir compte de ces longs délais de réaction. Il faut offrir des niveaux d'attentes réalistes à l'heure de concevoir et de recommander des BPG des éléments nutritifs pour des conditions particulières. La caractérisation des sites et les nouvelles stratégies de surveillance présentées dans cette étude peuvent s'avérer extrêmement utiles pour la conception de programmes de BPG appropriés et peuvent servir à évaluer le rendement des BPG à relativement court terme. Ces résultats sont utiles pour les organismes des gouvernements municipaux, pour les consultants et pour les praticiens.

On croyait auparavant que les stratégies d'assainissement des eaux souterraines ne pouvaient pas être appliquées efficacement à des problèmes de contamination diffuse. Les résultats de cette étude indiquent qu'en concentrant les efforts d'assainissement près des puits publics où les flux de contaminants convergent vers de petites zones du sous-sol, l'assainissement de l'eau souterraine in situ peut être efficace comme solution intérimaire avant que les effets des BPG se fassent pleinement sentir dans les puits. Le système de traitement peut être adopté à une échelle suffisamment grande pour retirer la masse de nitrates requise du réseau souterrain afin que les concentrations en nitrates dans les puits publics diminuent sous les limites acceptables dans l'eau potable.

Un des avantages clés de cette approche est le fait qu'il suffit de quelques mois après l'adoption d'un programme d'assainissement pour observer ce recul des concentrations de nitrates dans les puits publics. Cela signifie que les puits peuvent redevenir utilisables après un laps de temps relativement court. Lorsque cette approche est utilisée conjointement avec des BPG des éléments nutritifs à l'échelle régionale, elle peut offrir une solution intérimaire au problème des nitrates, en attendant que les effets durables des BPG deviennent suffisants pour réduire à un niveau acceptable les concentrations de nitrates dans les puits publics. Ces résultats combinés seront utiles aux gestionnaires de l'eau municipale et aux consultants pour une large gamme d'applications dans toutes sortes de milieux naturels.

Les démonstrations du rendement des BPG dans des champs agricoles actifs sont d'une importance cruciale, puisqu'elles produisent les données scientifiques dont les exploitants agricoles et les représentants gouvernementaux ont besoin pour intégrer avec confiance ces approches dans leurs plans globaux de gestion des éléments nutritifs et des exploitations agricoles.

## POUR PLUS DE RENSEIGNEMENTS, VEUILLEZ CONTACTER DAVID RUDOLPH À L'ADRESSE DRUDOLPH@UWATERLOO.CA

### ÉQUIPE DE RECHERCHE

BREWSTER CONANT, Université de Waterloo

RICK DEVLIN, Université du Kansas

TED HORBULYK, Université de Calgary

WILL ROBERTSON, Université de Waterloo

DAVE RUDOLPH, Université de Waterloo

NEIL THOMSON, Université de Waterloo

### PARTENAIRES

COMTÉ D'OXFORD

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ONTARIO

CRSNG

ONTARIO PORK

SOIL RESOURCE GROUP

### RÉFÉRENCES

CRITCHLEY, K., D. L. RUDOLPH, J.F. DEVLIN ET P.C. SCHILLIG. « Stimulating In situ Denitrification in an Aerobic, Highly Permeable Municipal Drinking Water Aquifer », *J. of Cont. Hydrology*, 2014, vol. 171, p. 66-80.

KOCH, J.T. *Evaluating Regional Aquifer Vulnerability and BMP Performance in an Agricultural Environment Using A Multi-Scale Data Integration Approach*, 2009. Thèse de maîtrise, Département des sciences de la terre, Université de Waterloo, Ontario.

RUDOLPH, D.L., J.F. DEVLIN ET L. BEKERIS. « Challenges and a strategy for agricultural BMP monitoring and remediation of nitrate contamination in unconsolidated aquifers », *Ground Water Mon. and Remediation*, 2015 (sous presse).

SHAW, H. J. *Assessing Performance of Enhanced In Situ Denitrification through Improved Carbon Amendment*, 2012. Thèse de maîtrise, Département des sciences de la terre et de l'environnement, Université de Waterloo, Ontario.

SOIL RESOURCE GROUP (SRG). *Agronomic Services for County of Oxford Lands within the Thornton Well Field*, 2006, rapport final, Ontario.

SPALDING, R.F. ET M.E. EXNER. « Occurrence of nitrate in groundwater - a review », *Journal of Environmental Quality*, 1993, vol 22, p. 392-402.

THE WORLD BANK. « Managing land and water to feed nine billion people and protect natural systems », dans *World Development Report 2010. Development and Climate Change, 2010*, Washington (DC): The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank.

CONSEIL DES ACADÉMIES CANADIENNES, *L'eau et l'agriculture au Canada : vers une gestion durable des ressources en eau*, 2013. Rapport du comité d'experts sur la gestion durable de l'eau des terres agricoles du Canada, ISBN 978-1-926558-55-4, février 2013.