

Michel Patoine, M. Sc.

Marc Simoneau, M. Sc.

ministère de l'environnement du
Québec (MENV)
direction du suivi de l'état de
l'environnement (DSÉE)

Impacts de l'agriculture intensive sur la qualité de l'eau des rivières au Québec

1. Introduction

Le contrôle de la pollution des rivières par le phosphore (P) constitue une préoccupation majeure du ministère de l'Environnement du Québec (MENV). Élément essentiel à la vie, le phosphore est habituellement le facteur qui limite la croissance des plantes aquatiques et des algues en milieu naturel. Lorsqu'il devient trop abondant en raison des rejets ponctuels ou diffus d'origine anthropique, il contribue alors au vieillissement accéléré des plans d'eau en provoquant le développement excessif des algues et des plantes aquatiques (eutrophisation artificielle). La respiration des plantes la nuit et la décomposition de la biomasse végétale utilisent l'oxygène de l'eau et peuvent entraîner dans certains cas la mort des poissons. La prolifération des algues peut rendre l'eau impropre à la consommation et nuire aux activités récréatives. Certaines algues peuvent aussi générer des toxines. Le critère de qualité retenu par le MENV pour prévenir l'eutrophisation des rivières est de 0,03 mg P-total/L (MENV, 2001).

Le suivi de la qualité de l'eau des rivières effectué par le MENV montre des dépassements importants du critère établi pour le phosphore, dans les bassins versants supportant une agriculture intensive. Ces bassins sont situés principalement dans les basses terres du Saint-Laurent (Simard et Painchaud, 2000). Bien que l'assainissement urbain et l'entreposage des fumiers aient contribué à réduire l'ampleur de ces dépassements, les fréquences mesurées à l'embouchure des rivières se situaient encore, pour la période de 1998 à 2000, à 100 % des mesures pour la Yamaska, 92 %

pour la L'Assomption, 38 % pour la Chaudière et 99 % pour la Etchemin. La pire situation est observée dans les sous-bassins agricoles, puisque le critère de qualité de l'eau pour le phosphore y est toujours dépassé (Gangbazo et Painchaud, 1999).

L'accumulation du phosphore dans les sols soumis à une agriculture intensive a été identifiée comme une cause probable des niveaux élevés de phosphore observés dans les rivières en milieu agricole au Québec (Tabi *et al.*, 1990; Simard *et al.*, 1995; Giroux *et al.*, 1996) et à l'étranger (Breeuwsma et Silva, 1992; Sharpley *et al.*, 1994). Ces auteurs ont démontré que l'accumulation du phosphore dans les sols contamine l'eau de drainage et de ruissellement et que l'enrichissement des sols dû à la surfertilisation est plus important dans les zones de grandes cultures et de concentration d'élevages.

Ce constat a amené le MENV à inclure au *Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole* (RRPOA) des dispositions pour contrôler le contenu en phosphore des sols agricoles. Ce règlement, adopté en 1997, prévoit une fertilisation phosphatée limitée aux besoins des cultures dans le cadre d'un plan agro-environnemental de fertilisation (PAEF). Ce plan est approuvé par un agronome qui atteste que son respect permet de minimiser le risque de contamination du sol et de l'eau. Le RRPOA identifie aussi des zones d'activités limitées (ZAL) où les accroissements d'élevage requièrent la propriété des terres.

Certaines difficultés d'application du RRPOA, notamment l'absence d'équipements d'épandage adaptés aux faibles doses

et de systèmes de traitement des fumiers opérationnels pour les surplus de fumiers, ont conduit à sa modification en 1999. Des apports maximums de phosphore qui excèdent les besoins des cultures ont été établis pour permettre une marge de manœuvre aux exploitants agricoles. L'objectif de protection de l'environnement a été maintenu en liant ce dépassement à l'obligation de minimiser le risque de contamination du sol et de l'eau prévue dans le PAEF. Par contre, le manque de liens directs entre le phosphore des sols et celui des rivières rendait difficile l'application de l'obligation liée à la protection de l'environnement. Les forts ajouts de cheptels dans des régions déjà en situation de surplus de fumiers ont aussi nécessité de modifier le RRPOA en juin 2001. Des mesures pour favoriser le traitement des fumiers ont été ajoutées dans les ZAL désormais établies sur la base du phosphore.

Une corrélation très significative ($P < 0,0001$) entre la teneur moyenne en phosphore disponible des sols cultivés et la concentration médiane en phosphore de l'eau des rivières a été obtenue en utilisant les données rapportées par Giroux *et al.*, (1996) pour les douze régions agricoles du Québec (période 1993-1994) et les données de qualité de l'eau de 37 rivières de ces régions colligées par le MENV pour les périodes 1979-1981 ou 1989-1995 (MENV, 1999). Une régression linéaire effectuée avec ces deux variables révélait que la richesse en phosphore des sols cultivés expliquait à elle seule les deux tiers de la variance observée dans les concentrations de phosphore mesurées dans l'eau ($R^2 = 0,66$). Bien que cette

relation était très significative, les imprécisions inhérentes aux données qui ont servi à son calcul, notamment les incertitudes quant à la provenance exacte des données de sols, rendaient difficile son utilisation à des fins prédictives.

La présente chronique vise à présenter des relations plus fiables entre le contenu en phosphore des sols des bassins versants et la qualité de l'eau des rivières au Québec, notamment en améliorant la correspondance spatiale et temporelle des données de sol et de qualité de l'eau. Basées sur des données plus récentes, et donc moins influencées par les rejets urbains dont l'assainissement est pratiquement terminé, ces relations permettent plus facilement d'établir les niveaux de richesse de sol en phosphore susceptibles d'entraîner des dépassements du critère de qualité de l'eau. Elles sont présentées et discutées en lien avec les impacts de l'agriculture intensive sur la qualité de l'eau des rivières.

2. Méthode

Dix-neuf bassins versants situés dans différentes régions du Québec, pour lesquels des données récentes de qualité de l'eau et des sols qui correspondent sur le plan spatial et temporel étaient disponibles, ont été identifiés (figure 1). D'une superficie de 100 à 2 000 km², sauf dans un cas où elle est de 15 700 km², leur proportion de territoire agricole varie de 0 à 90 pour cent. Ces bassins présentent tous un bilan annuel du phosphore excédentaire, qui varie entre 3 et 48 kg P/ha (tableau 1). Ce bilan a été calculé avec les données du MAPAQ (1998), par la différence entre les apports de phosphore des fumiers des élevages et des engrais minéraux sur le bassin et les prélèvements des cultures récoltées.

La teneur moyenne en phosphore des sols agricoles dans la couche de labour (premiers 15 à 20 cm) varie entre 60 et 400 kg P Mehlich-3 (P M-3)/ha selon les bassins. Elle a été calculée, pour chacun des bassins versants, à partir des données moyennes par municipalité pour les années 1995 et 1996

(MAPAQ, 1998) en tenant compte de la proportion du territoire de la municipalité dans le bassin et de la proportion des terres cultivées dans la municipalité. De façon à tenir compte du pourcentage du territoire utilisé à des fins agricoles et forestières, la teneur moyenne en phosphore des sols de chaque bassin versant a également été calculée. Pour les sols forestiers, généralement pauvres en phosphore, une valeur moyenne de 17 kg P Mehlich-3/ha, correspondant à celle obtenue par Simard *et al.* (1995) pour les forêts du bassin versant de la rivière Beaurivage, a été retenue. Ouimet (2001) a obtenu un niveau de richesse semblable pour 67 sols d'érablières situés dans la région de la Beauce-Appalaches (moyenne = 21; médiane = 15). Une pondération selon la proportion des sols agricoles et forestiers a été utilisée pour le calcul en assumant que la totalité des superficies non agricoles sont en forêt (tableau 1).

Pour chaque bassin versant, la fréquence des mesures de phosphore effectuées par le réseau-rivières du MENV était mensuelle au

Tableau 1

Description des bassins versants

Rivière	Superficie du bassin	Superficie agricole	Bilan P agricole (fumiers et engrais minéraux) (1998)	P sols agricoles (1995-1996)	P sols bassin (agricoles et forestiers)	P rivière mesuré (1989-1995)*
	(km ²)	(%)	(kg P/ha)	(kg P M-3/ha)	(kg P M-3/ha)	(µg P-total/L)
Des Hurons	277	78	17	211	169	374
L'Acadie	363	69	15	136	100	212
Chibouet	150	64	48	191	128	204
Des Anglais	712	52	17	168	96	200
À la Barbue	129	90	71	393	355	173
Boyer	200	63	29	172	115	152
Saint-Esprit	209	51	34	261	142	121
Noire	1470	43	38	341	156	110
Beaurivage	709	31	48	243	86	98
De l'Achigan	650	17	44	226	53	89
aux Brochets	661	42	21	190	90	75
Maskinongé	1096	11	20	92	25	71
Coaticook	526	24	20	166	53	38
Nicolet sud-ouest	940	30	15	155	58	35
Au saumon	1030	7	7	134	26	17
Bras du nord	774	1	17	68	18	15
Jacques Cartier	1750	0,08	6	192	17	14
Gatineau	15700	0,3	3	80	17	13
du Loup	774	0,2	22	129	17	11

* La période de mesure est différente pour les rivières à la Barbue (1988-1995) et Maskinongé (1989-1996).

cours de la période retenue, qui se situe de 1989 à 1995. Les concentrations médianes de P-total mesurées au cours de cette période varient de 11 à 374 µg/L (tableau 1). La qualité de l'eau est meilleure sur la rive nord du fleuve, puisque quatre des cinq rivières qui présentent des concentrations médianes inférieures au critère pour le phosphore y sont situées; alors que huit des neuf rivières qui affichent des médianes supérieures à trois fois le critère de qualité se trouvent sur la rive sud (figure 1).

La concentration en phosphore des rivières a été mise en relation avec le phosphore de sols agricoles des bassins versants, puis avec le phosphore de tous les sols (agricoles et forestiers) des bassins afin d'intégrer l'effet de la proportion du territoire occupé par l'agriculture et les forêts. Une transformation logarithmique des données de

phosphore des sols et des rivières a été rendue nécessaire pour respecter les hypothèses de la régression linéaire. La seconde relation a servi à produire des courbes qui montrent l'effet de la teneur moyenne en phosphore des sols agricoles d'un bassin sur la qualité de l'eau des rivières pour différents pourcentages du bassin versant en culture. La relation entre le bilan du phosphore et la teneur en phosphore pour les sols agricoles a également été étudiée.

3. Résultats et discussion

3.1 Relation entre le phosphore des sols agricoles et forestiers des bassins versants et le phosphore des rivières

Une relation significative ($P = 0,01$) a été obtenue entre la teneur moyenne en

phosphore des sols agricoles et la concentration médiane en phosphore de l'eau des rivières. Le phosphore des sols explique le tiers ($R^2 = 0,32$) de la variance des concentrations mesurées dans les rivières. Cette relation est toutefois moins significative que la relation obtenue par le MENV (1999) précédemment ($R^2 = 0,66$; $P < 0,0001$), malgré une meilleure concordance spatiale et temporelle des données et une influence moindre des rejets urbains avec l'avancement de l'assainissement des eaux usées municipales. Le fait que les données de sol pour les 19 bassins retenus soient davantage regroupées peut expliquer ce résultat. La prise en compte de la proportion du territoire utilisé par l'agriculture, en calculant un contenu moyen en phosphore des sols (agricoles et forestiers) des bassins, devrait augmenter la variance expliquée.

Figure 1

Emplacement des bassins versants

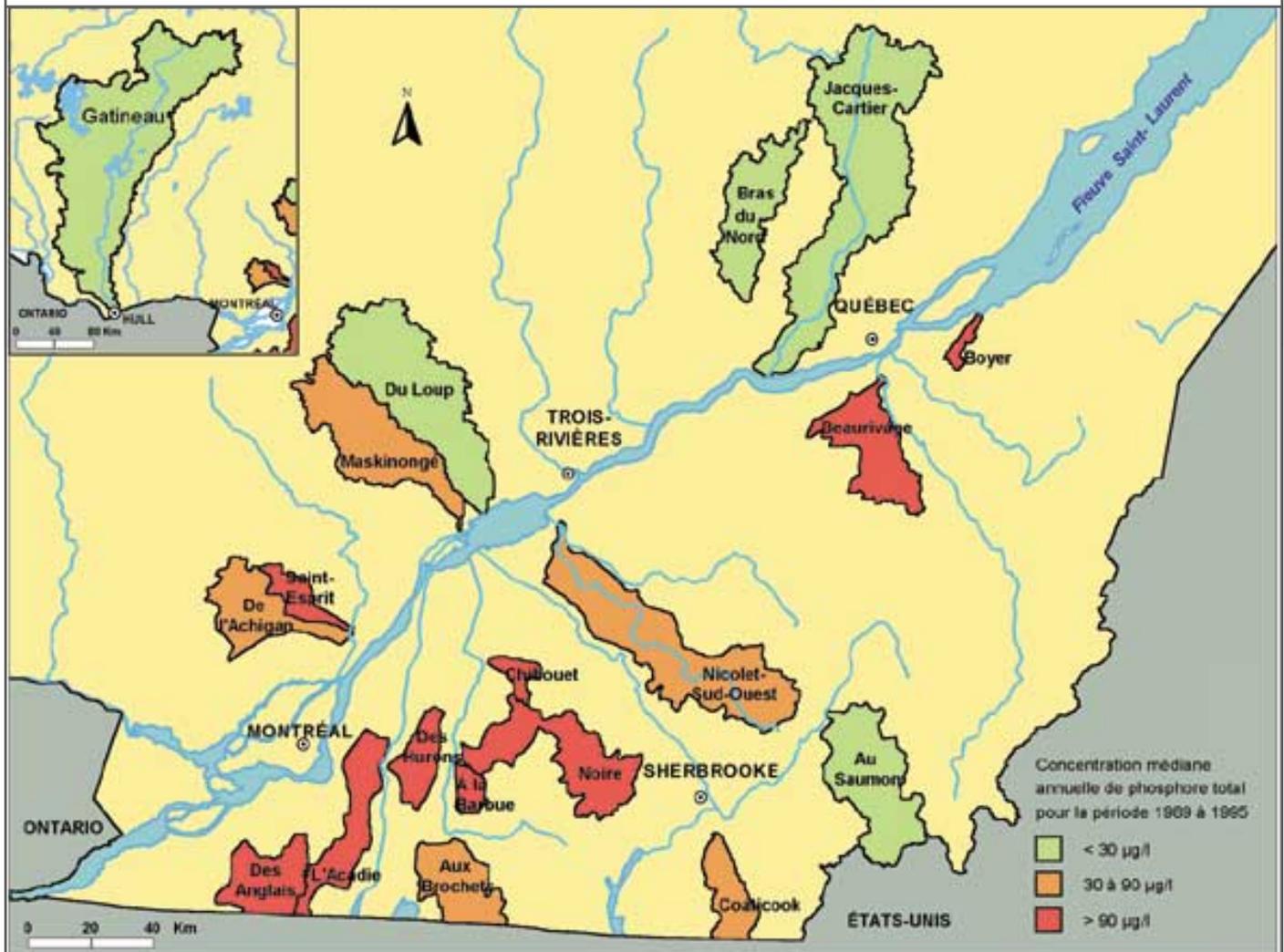
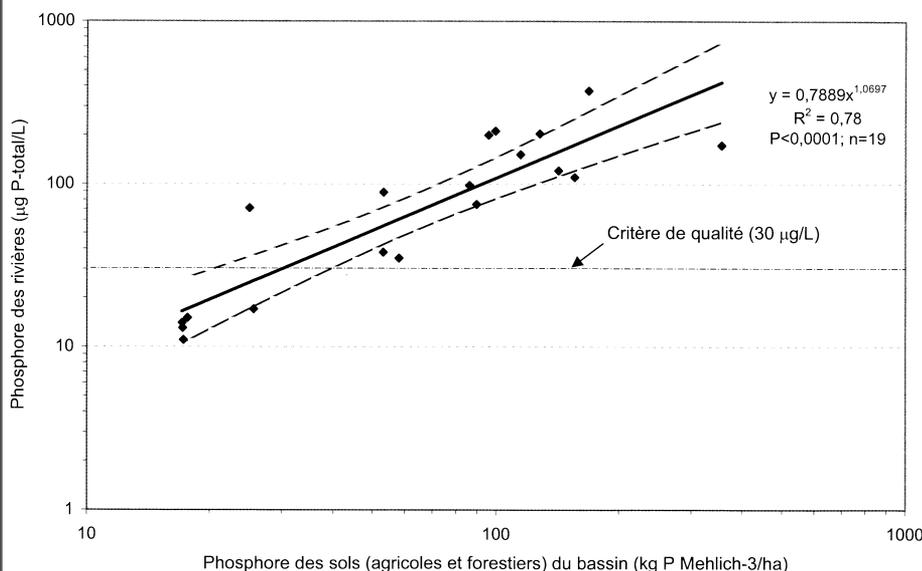


Figure 2

Relation entre la concentration médiane du P-total mesurée dans les rivières de 1989 à 1995 et le contenu moyen en phosphore des sols dans les bassins versants, et intervalle de confiance à 95 %.

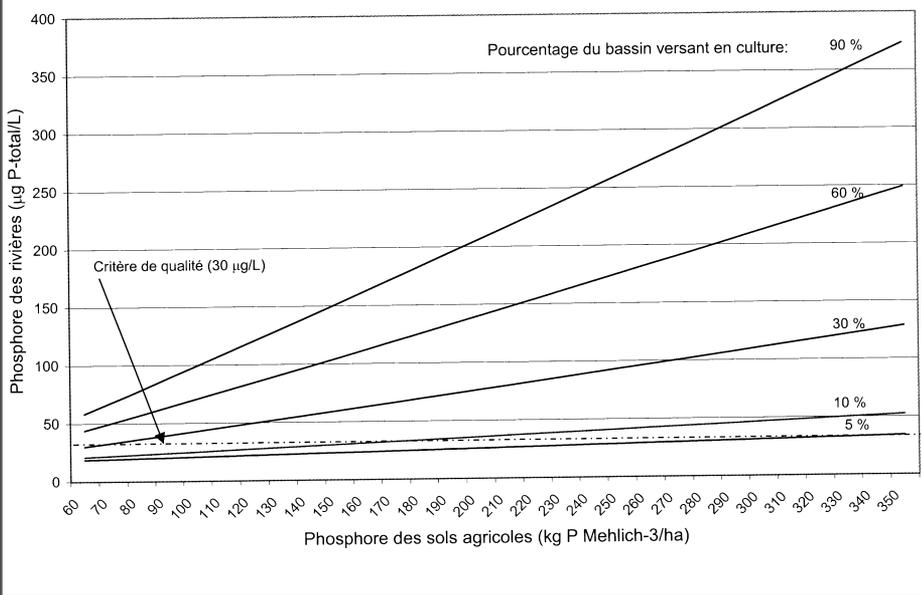


bassin versant à l'autre (topographie, pratiques culturales, bandes riveraines, fertilisation phosphatée, capacité de fixation du phosphore par le sol, rejets des résidences isolées, etc.). D'autres facteurs comme l'imprécision rattachée à l'utilisation des données de phosphore des sols forestiers du bassin versant de la rivière Beaurivage pour l'ensemble des 19 bassins peuvent aussi expliquer en partie la variance résiduelle.

La droite de régression (figure 2) montre de plus que la teneur moyenne en phosphore des sols agricoles et forestiers des bassins versants ne doit pas excéder en moyenne 30 kg P Mehlich-3/ha (limites de l'intervalle de confiance à 95% : 20 - 39) pour respecter le critère de qualité de l'eau des rivières pour le phosphore (30 µg P-total/L).

Figure 3

Concentration médiane estimée du phosphore des rivières selon le phosphore des sols agricoles et le pourcentage du bassin versant en culture.



3.2 Effet de la teneur en phosphore des sols agricoles et du pourcentage de territoire agricole sur la qualité de l'eau des rivières

Les courbes établies à l'aide de la relation présentée à la figure 2 permettent de visualiser distinctement l'effet du phosphore des sols agricoles et de la proportion du territoire en agriculture sur la qualité de l'eau des rivières (figure 3). La concentration en phosphore des rivières augmente avec la teneur moyenne en phosphore des sols agricoles des bassins versants. Cette augmentation est plus rapide avec un pourcentage élevé du bassin versant en agriculture.

La figure 3 montre également que le respect du critère de qualité de l'eau des rivières nécessite de maintenir le niveau de phosphore des sols agricoles en deçà d'un certain seuil qui diminue à mesure que le pourcentage des superficies en agriculture augmente. Ainsi, un contenu moyen en phosphore des sols agricoles d'un bassin versant de 150 kg P Mehlich-3/ha, correspondant à un niveau de fertilité classé bon sur le plan agronomique (CPVQ, 1996), devrait permettre de maintenir une bonne qualité de l'eau des rivières si l'agriculture n'occupe pas plus de 10 pour cent du territoire. À un niveau moyen de 250 kg P Mehlich-3/ha (sol

Une relation très significative ($P < 0,0001$) entre la concentration en phosphore de l'eau des rivières et la richesse moyenne en phosphore des sols agricoles et forestiers des bassins versants drainés par ces rivières a été obtenue (figure 2). Le contenu moyen en phosphore des sols des bassins versants explique 78 pour cent de la variance de la droite de régression

($R^2 = 0,78$). Ce pourcentage de variance expliquée pourrait inclure d'autres facteurs corrélés avec le phosphore du sol du bassin, comme le bilan du phosphore, par exemple. La variance non expliquée par la relation peut être attribuable à divers facteurs agronomiques, anthropiques, hydrologiques, climatiques ou de répartition des usages, différents d'un

classé riche), l'agriculture devrait occuper moins de 5 pour cent du territoire, alors qu'à 60 kg P Mehlich-3/ha (sol classé pauvre), l'agriculture pourrait occuper jusqu'à 30 pour cent du territoire.

Les relations précédentes confirment que des sols agricoles riches en phosphore dans des bassins versants où l'agriculture occupe un fort pourcentage du territoire conduisent nécessairement à des niveaux de phosphore dans les rivières dépassant plusieurs fois (cinq à dix fois) le critère de qualité de l'eau pour l'eutrophisation. Elles démontrent également la pertinence d'utiliser une fertilisation qui tend à ramener les sols vers un niveau de fertilité classé moyen à bon comme le prévoient les grilles de fertilisation du CPVQ (1996), mais en tenant compte en plus du pourcentage de territoire utilisé par l'agriculture. Par ailleurs, la précision des seuils présentés pourrait être encore améliorée en utilisant des bassins ne comportant pas de rejets de municipalités ou d'industries.

Le maintien de superficies boisées suffisantes pour assurer une qualité acceptable de l'eau des rivières au Québec est particulièrement important dans les bassins versants où l'agriculture demeure

encore extensive. L'accroissement récent de la production porcine, qui a atteint 24 % entre 1996 et 1999 au Québec (FPPQ, 2001), touche davantage les régions déjà aux prises avec des surplus de fumiers, mais est aussi présent dans les autres régions. Il favorise la transformation de boisés de fermes en terres cultivées pour permettre l'épandage des surplus de fumiers et accroître les cheptels. Dans la seule municipalité de Saint-Lambert-de-Lauzon, plus de 350 hectares ont été déboisés à des fins agricoles entre 1996 et 1999 (Baillargeon, 2000).

La dernière modification du RRPOA limite les possibilités de déboisement pour les nouveaux sites d'élevage dans les ZAL en obligeant le traitement des fumiers. Elle permet par contre l'expansion des sites d'élevage existants en utilisant les terres en culture appartenant à l'exploitant. Les municipalités des bassins versants avec un pourcentage du territoire agricole important ou en expansion doivent donc être vigilantes et prévoir, au besoin, des règlements pour prévenir que le RRPOA ne soit contourné par l'expansion de sites d'élevage existants sur la base de terres d'épandage à déboiser. Plusieurs municipalités régionales de comté (MRC), notamment les MRC Les Chutes-de-la-

Chaudière et de La Nouvelle-Beauce, ont déjà adopté des règlements pour limiter le déboisement. L'utilisation de terres déboisées pour l'épandage peut sembler avantageuse sur le plan économique pour les fermes avec des surplus de fumiers puisque les apports permis par le RRPOA y sont plus élevés à court terme à cause du faible contenu en phosphore des sols.

3.3 Relation entre le bilan du phosphore et la teneur en phosphore pour les sols agricoles

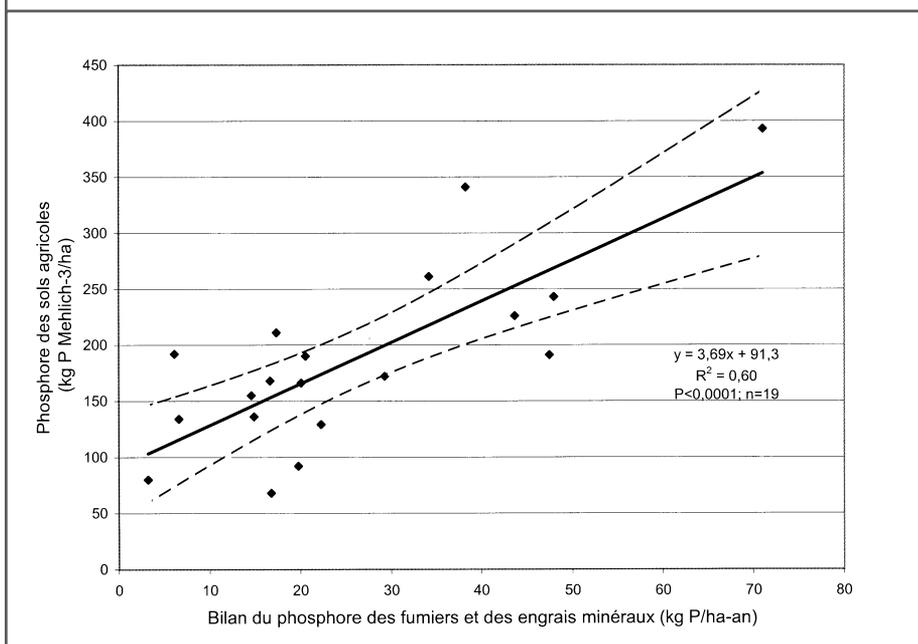
La richesse moyenne en phosphore des sols agricoles des bassins versants étudiés a été mise en relation avec le bilan du phosphore des fumiers et des engrais minéraux de ces bassins pour l'année 1998 (figure 4). La relation significative obtenue ($P < 0,0001$) montre que l'application de phosphore en excès des prélèvements des récoltes entraîne un enrichissement des sols proportionnel à cet excès. Le bilan du phosphore explique 60 pour cent de la variance de la droite de régression ($R^2 = 0,60$). La variance non expliquée par la relation peut être attribuable notamment à l'historique de surfertilisation qui diffère d'un bassin versant à l'autre. D'autres facteurs comme la capacité des sols à retenir le phosphore peuvent jouer un rôle important.

Ces résultats concordent avec les observations à l'échelle du champ qui montrent qu'un apport de phosphore en excès des prélèvements des récoltes entraîne l'enrichissement des sols. Giroux *et al.* (1996) rapportent un excès moyen de 3,5 kg P/ha/an pour accroître le contenu en phosphore des sols agricoles de 1 kg P Mehlich-3/ha/an alors que Larocque *et al.* (2002) rapportent un excès de 2,2 kg de P/ha/an pour le même accroissement. Larocque *et al.* (2002) précisent aussi qu'un apport de 2,2 kg P/ha/an en deçà des prélèvements des récoltes permet de réduire le contenu en phosphore des sols agricoles de 1 kg P Mehlich-3/ha/an.

Ainsi, des sols classés pauvres en phosphore, recevant annuellement des apports excédant de 40 kg P/ha les prélèvements des récoltes, peuvent atteindre un niveau excessivement riche (> 250 kg P Mehlich-3/ha) après une période de 10 à 20 ans environ. De tels

Figure 4

Relation entre le contenu moyen en phosphore des sols agricoles de 1995 à 1996 et le bilan du phosphore épandu sur les sols agricoles des bassins versants en 1998, et intervalle de confiance à 95 %.



niveaux de richesse moyenne régionale des sols agricoles ont été observés dès 1993 dans la région de Richelieu – Saint-Hyacinthe (Giroux *et al.*, 1996), aux prises depuis plusieurs années avec un excédent important de phosphore provenant des surplus de fumiers et des engrais minéraux. À l'opposé, la réduction des niveaux de phosphore des sols devenus trop riches peut aussi prendre plusieurs années.

La concentration des élevages dans certains bassins versants ou sous-bassins a créé des surplus de phosphore des fumiers, ces surplus étant amplifiés par l'utilisation d'engrais minéraux phosphatés (MEF, 1996). Cette situation a provoqué dans ces bassins un enrichissement des sols agricoles. Le contenu en phosphore dans les premiers 15 à 20 cm de sols se situe à environ 20 kg/ha en forêt, alors qu'il est d'environ 160 kg/ha pour les sols agricoles du Québec en moyenne. À cause de la concentration de l'agriculture, il s'élève à 250 kg/ha à l'échelle des régions agricoles et à près de 400 kg/ha dans des petits sous-bassins de rivières. Des valeurs encore plus élevées peuvent être observées à des échelles plus fines comme dans des sous-bassins drainant des ruisseaux agricoles ou dans des champs ayant été fortement surfertilisés.

Ces constats montrent la nécessité de traiter les fumiers pour permettre une meilleure répartition territoriale du phosphore rejeté par les élevages, afin de réduire les niveaux de phosphore des sols agricoles dans les bassins versants drainant des cours d'eau fortement contaminés. Ils montrent de plus la nécessité pour les différents intervenants municipaux, agricoles et gouvernementaux responsables de la planification de l'agriculture d'éviter de permettre de nouvelles zones de concentration d'élevage dans les secteurs où la qualité de l'eau des rivières est encore bonne.

4. Conclusion

L'étude réalisée sur dix-neuf bassins versants au Québec montre que l'agriculture intensive, en provoquant un enrichissement des sols en phosphore, a un impact significatif sur la qualité de l'eau des rivières. En effet, la concentration

médiane de phosphore mesurée en rivière dépasse le critère de qualité de l'eau pour l'eutrophisation lorsque le contenu moyen des sols (agricoles et forestiers) des bassins versants excède 30 kg P Mehlich-3/ha, soit environ deux fois la richesse moyenne des sols forestiers. Ce résultat montre l'importance de maintenir une proportion suffisante du territoire en forêt, en plus d'une fertilisation phosphatée équilibrée des sols agricoles. Ainsi, pour un niveau de richesse des sols agricoles de 150 kg P Mehlich-3/ha classé bon, un pourcentage de forêt de 90 % dans le bassin versant devrait être recherché en moyenne. Ce pourcentage peut toutefois varier d'un bassin versant à l'autre.

Utiles pour des fins de planification du développement agricole et de fertilisation environnementale, les relations et seuils obtenus fournissent des balises qui doivent toutefois être validées pour chaque bassin versant par un suivi de la qualité des cours d'eau.

5. Références bibliographiques

Baillargeon, L.M., 2000. *Communication personnelle*. MRC Les Chutes-de-la-Chaudière.

Breeuwsma, A. et S. Silva, 1992. *Phosphorus fertilisation and environmental effects in The Netherlands and the Po region (Italy)*. DLO, Stating center, Rep. 57. Wageningen, the Netherlands.

Conseil des production végétales du Québec Inc. (CPVQ), 1996. *Grilles de référence en fertilisation*. 2e édition. 128 pages.

Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ), 2001. *Portrait de la production porcine québécoise*. (www.leporcduquebec.qc.ca).

Gangbazo, G. et J. Painchaud, 1999. *Incidence des politiques et programmes d'assainissement agricole sur la qualité de l'eau de six rivières - 1988-1995*. VECTEUR environnement, 32(1), 29-36.

Giroux, M., D. Carrier et P. Beaudet, 1996. *Problématique et méthode de gestion des charges de phosphore appliquées aux sols agricoles en provenance des engrais de ferme*. Agrosol 9 (1), 36-45.

Larocque M., M. Patoine et O. Banton, 2002. *Quantification des pertes de phosphore en milieu agricole – Outil*

LOPHOS. VECTEUR environnement, (sous presse).

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), 1998. *Données des sols agricoles 1995 et 1996 et fiche d'enregistrement des exploitations agricoles 1998, compilées par municipalité*.

Ministère de l'Environnement du Québec (MENV), 1999. *Étude des impacts environnementaux associés aux modifications du Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole relatives à la fertilisation phosphatée et à l'entreposage des fumiers de bovins de boucherie*. Direction des politiques des secteurs agricoles et naturels - Direction des écosystèmes aquatiques, 19 mars 1999.

Ministère de l'Environnement du Québec (MENV), 2001. *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec*. Document disponible en ligne à : (http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.htm).

Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF), 1996. *Document de réflexion sur la capacité des sols du territoire québécois à supporter les élevages*. – Document de travail. Juin 1996, 32 pages.

Ouimet, R., 2001. *Communication personnelle*. Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles du Québec.

Simard, A. et J. Painchaud, 2000. *Qualité de l'eau des rivières du Québec, 1988-1998*. VECTEUR environnement, 33(3), 70-74.

Sharpley, A.N., S. C. Chapra, R. Wedepohl, J. T. Sims, T. C. Daniel et K. R. Reddy, 1994. *Managing Agricultural Phosphorus for Protection of Surface Water : Issues and Options*. Journal of Environmental Quality, 23 (3), 437-451.

Simard, R. R., D. Cluis, G. Gangbazo et S. Beauchemin, 1995. *Phosphorus Status of Forest and Agricultural Soils from a Watershed of High Animal Density*. Journal of Environmental Quality, 24, 1010-1017.

Tabi, M., L. Tardif, D. Carrier, G. Laflamme et M. Rompré, 1990. *Inventaire des problèmes de dégradation des sols au Québec*. Rapport synthèse. Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agro-alimentaire. 71 pages. 