

# Tendances à long terme de la qualité de l'eau :

rivière Etchemin  
1979-2013



**Photo de la page couverture** : paysage agroforestier tel que vu de la côte de la Crapaudière  
crédit photo : (M. Duchemin)

### **Coordination et rédaction**

Cette publication a été réalisée par la Direction générale du suivi de l'état de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC).

### **Renseignements**

Pour tout renseignement, vous pouvez remplir le formulaire à cette adresse : [www.mddelcc.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp)

Par téléphone : 418 521-3820  
1 800 561-1616 (sans frais)  
Par télécopieur : 418 656-5974

Ce document peut être consulté sur le site du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques au :  
[www.mddelcc.gouv.qc.ca](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca)

### **Référence à citer :**

DUCHEMIN, Marc et Marc SIMONEAU. *Tendances à long terme de la qualité de l'eau : rivière Etchemin 1979-2013*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-75693-4 (PDF) 2016, 19 pages.

Dépôt légal – 2016  
Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2016  
ISBN 978-2-550-75693-4 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec, 2016

# RÉALISATION

## Rédaction

Marc Duchemin et Marc Simoneau  
Direction générale du suivi de l'état de l'environnement (DGSEE)

## Collaboration spéciale pour l'installation et l'utilisation du progiciel EGRET

Robert M. Hirsch, United States Geological Survey (USGS)  
Laura S. De Cicco, USGS  
Laura Medalie, USGS  
François d'Auteuil-Potvin, DGSEE

## Échantillonnage – membres du personnel technique de la DGSEE

## Analyses de laboratoire

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec  
Direction de l'analyse chimique

## Préparation des données physicochimiques

Mario Bérubé, DGSEE

## Préparation des données hydrométriques

Simon Lachance-Cloutier  
Direction de l'expertise hydrique, Division de l'hydrométrie

## Révision scientifique

Georges Gangbazo  
Direction générale de l'évaluation environnementale et stratégique

Jean-Thomas Denault  
Direction des politiques agroenvironnementales

## Graphisme

France Gauthier, DGSEE  
Mona Frenette, DGSEE

## Mots clés :

Rivière Etchemin, bassin versant, phosphore total, matières en suspension, azote total, nitrates-nitrites, tendance, charges, flux, long terme, eau de surface, occupation du sol, assainissement, EGRET, modélisation.

## RÉSUMÉ

Les séries chronologiques de concentrations de phosphore total (P total), de matières en suspension (MES), d'azote total (N total) et de nitrates-nitrites (NOx), mesurées à l'embouchure de la rivière Etchemin sur une période de 35 ans (1979-2013), ont été analysées à l'aide d'une nouvelle méthode statistique qui utilise l'approche de régressions pondérées *Weighted Regressions on Time, Discharge, and Season* (WRTDS). WRTDS permet d'estimer l'historique des données journalières de concentrations et de flux en utilisant le débit, la saison et la tendance comme variables explicatives. L'utilisation de toutes les données de débit observées pour une date donnée au cours de la période, un processus de pondération qui élimine l'effet de la variabilité interannuelle imputable au débit, permet d'obtenir une série lisse qui sert à calculer la tendance. Cette approche d'analyse est particulièrement utile pour évaluer le succès des efforts d'assainissement parce qu'elle élimine du calcul du flux, la variabilité provenant des fluctuations temporelles aléatoires du débit.

Les résultats obtenus pour l'ensemble de la période montrent un mélange de hausses et de baisses pour les concentrations et les flux des paramètres analysés. L'analyse a été facilitée en découpant la période en trois sous-périodes dites « stratégiques » qui correspondent à des étapes importantes dans l'évolution des pressions humaines et des efforts d'assainissement déployés sur le territoire. Ainsi, la qualité de l'eau change peu au cours de la période 1979-1985, marquée par un accroissement démographique et un essor de la production porcine. Les premières stations d'épuration des eaux usées (STEP) construites dans le cadre du Programme d'assainissement des eaux du Québec (PAEQ) venaient juste d'entrer en activité, tandis que le *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale* (RPPEPA) venait d'être adopté en 1981. La période 1990-2003 montre une baisse des concentrations et des flux de P total et de MES et une hausse des concentrations et des flux de N total liée à celle des nitrates. Elle témoigne

de l'impact positif du traitement des sources ponctuelles de pollution urbaines, industrielles et agricoles. Les stations d'épuration municipales étaient presque toutes en activité avant la fin de cette période, plusieurs entreprises agroalimentaires avaient mis en place un système de traitement de leurs eaux usées et le Programme d'aide à l'amélioration de la gestion des fumiers (PAAGF), lancé en 1988, avait permis de réduire les rejets directs de fertilisants liés à l'absence de structures d'entreposage étanches. Les plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF), instaurés par le *Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole* (RRPOA) en 1997, contribuaient à diminuer la pollution d'origine diffuse. Finalement, la période 2003-2013 montre un ralentissement tant au niveau de la baisse du P total que celui de la hausse des MES, du N total et des NOx. Il s'explique par le fait que les changements observés découlent des efforts visant les apports de source diffuse, principalement agricoles, qui demeurent dominants sur le territoire du bassin versant de la rivière Etchemin.

Globalement, les fluctuations de la qualité de l'eau observées entre 1979 et 2013 à l'embouchure de la rivière Etchemin résultent de l'évolution des pressions humaines sur le territoire et des efforts d'assainissement des eaux poursuivis dans le bassin versant depuis la fin des années 1970. L'analyse des tendances à long terme des concentrations et des flux pondérés indique une baisse évidente pour le P total et une hausse évidente pour l'azote (N total et NOx). Cette analyse ne montre toutefois pas de tendance évidente pour les concentrations et les flux pondérés de MES. Ces résultats démontrent que des pressions de pollution importantes s'exercent encore sur le bassin versant, notamment dans la portion aval où se concentrent les activités agricoles.

## TABLE DES MATIÈRES

Résumé .....	iv
Introduction .....	1
1. Description du bassin versant .....	2
2. Traitement des données .....	5
2.1 Provenance des données .....	5
2.2 Analyse statistique .....	6
3. Résultats et discussion .....	8
3.1 Tendances des concentrations et des flux estimés de la période 1979-2013 .....	8
3.2 Variations des concentrations et des flux pondérés par intervalle de temps stratégique .....	11
Conclusion .....	15
Liste des acronymes .....	17
Bibliographie .....	18

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Flux estimés pour des intervalles de temps « stratégiques » .....	12
Tableau 2	Taux de variation des concentrations et des flux pondérés pour des intervalles de temps « stratégiques » et pour l'ensemble de la période 1979-2013.....	13

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Bassin versant de la rivière Etchemin.....	2
Figure 2	Utilisation du sol en 2012 dans le bassin versant de la rivière Etchemin.....	3
Figure 3	Évolution des superficies cultivées et des cheptels dans le bassin versant de la rivière Etchemin durant la période 1976-2011 (Statistiques Canada, CBE, 2014) .....	3
Figure 4	Évolution du PAEQ dans les municipalités du bassin versant de la rivière Etchemin.....	4
Figure 5	Entreprises rejetant des eaux usées dans la rivière Etchemin.....	5
Figure 6	Localisation des stations hydrométriques et de suivi de la qualité des eaux .....	6
Figure 7	Variations des débits moyens journaliers durant la période 1979-2013 (MDDELCC, 2015b).....	7
Figure 8	Évolution des concentrations observées de : a) P total, b) MES, c) N total et d) NOx durant la période 1979 à 2013 (MDDELCC, 2015c).....	7
Figure 9	Évolution des concentrations moyennes annuelles (points) et des concentrations moyennes annuelles pondérées par le débit (ligne) au cours de la période 1979-2013, accompagnées de l'intervalle de confiance à 90 % des concentrations pondérées (lignes hachurées) : a) P total, b) MES, c) N total et d) NOx.....	9
Figure 10	Évolution des flux moyens annuels (points) et des flux moyens annuels pondérés par le débit (ligne) au cours de la période 1979-2013, accompagnés de l'intervalle de confiance à 90 % des flux pondérés (lignes hachurées) : a) P total, b) MES, c) N total et d) NOx.....	10
Figure 11	Tendances dans les concentrations et les flux pondérés de P total, de MES, de N total et de NOx au cours de la période 1979-2013.....	12

## INTRODUCTION

La qualité de l'eau mesurée à l'exutoire d'un cours d'eau intègre les caractéristiques physiques, géologiques et pédologiques de son bassin versant. Elle reflète l'utilisation qui est faite de son territoire et les pressions qui y sont exercées par les activités humaines. La qualité de l'eau d'une rivière est aussi influencée par les fluctuations de son débit lequel dépend du climat et du régime des précipitations. Selon la saison, la composition physicochimique de l'eau sera modifiée par le ruissellement de surface des eaux pluviales ou des eaux de fonte des neiges qui contrôle le transport des contaminants de source diffuse. À l'opposé, elle reflétera davantage l'influence des apports de sources ponctuelles et de la nappe phréatique, lors des périodes d'étiage hivernal et estival qui limitent le pouvoir de dilution des cours d'eau. La qualité de l'eau mesurée en un point donné du réseau hydrographique est aussi influencée par les conditions météorologiques observées au moment de la prise d'échantillons, lesquelles contrôlent les apports combinés des sources ponctuelles et diffuses présentes sur le territoire. Les « effets cumulatifs » qui résultent de l'interaction entre les multiples influences humaines et les conditions environnementales naturelles doivent être pris en compte dans la gestion intégrée des bassins versants (Reid, 1998; Scherer, 2011).

Au cours des 35 dernières années, d'importants efforts visant l'amélioration de la qualité de l'eau ont été apportés à l'échelle des bassins versants depuis la mise en place du Programme d'assainissement des eaux du Québec (PAEQ) en 1978 et du Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale (RPPEEPA) en 1981. Rappelons que le PAEQ visait l'amélioration de la qualité des cours d'eau afin de récupérer et de protéger les usages liés à l'eau, alors que le RPPEEPA obligeait les exploitants à entreposer les déjections animales dans des structures étanches et à épandre ces déjections de façon sécuritaire. Afin d'aider les producteurs agricoles à se munir d'infrastructures adéquates, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et le ministère de l'Environnement de l'époque (MENVIQ) ont mis sur pied en 1988 le Programme d'aide à l'amélioration de la gestion des fumiers (PAAGF). La même année marque le lancement du Programme de réduction des rejets industriels

(PRRI). Depuis, d'autres programmes ont été mis en place afin de réduire la pollution d'origine urbaine (PADEM, PEVQ, TIC-Q, PIQM)\* et la pollution d'origine agricole (PAIA, Prime-Vert)\*, de même que des mesures réglementaires visant les exploitants agricoles, soit le *Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole* (RRPOA), adopté en 1997, et le *Règlement sur les exploitations agricoles* (REA), adopté en 2002. La mise en place de structures d'entreposage étanches et la production de plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF) constitue les deux pratiques de gestion agroenvironnementales les plus significatives qui ont été inscrites à l'intérieur de la réglementation environnementale au Québec (MENVIQ, 2003).

Au cours des dernières années, de nombreux acteurs ont exprimé leurs préoccupations concernant la dégradation des cours d'eau et cherché à connaître l'impact réel qu'ont eu les interventions d'assainissement sur la qualité de l'eau à l'échelle des bassins versants. La détermination de la direction et de l'ampleur des tendances de la qualité de l'eau devient alors une étape importante pour évaluer les gains environnementaux engendrés par ces actions sur le milieu aquatique. Grâce au programme de suivi de la qualité de l'eau de surface du Réseau-rivières, instauré en 1967, le gouvernement du Québec est en mesure de colliger des données sur la qualité des milieux aquatiques afin d'évaluer la physicochimie de plusieurs cours d'eau (MDDELCC, 2014). L'évaluation de la qualité de l'eau fait appel à une grille de critères de qualité établis en fonction des divers usages de l'eau et de la protection de la vie aquatique (MDDELCC, 2015). Ces critères sont exprimés en termes de concentration d'un élément (ex. : 0,03 mg/L pour le phosphore total). En particulier, les séries chronologiques de données de concentrations recueillies depuis 1979 sont considérées comme homogènes et permettent d'étudier les tendances à long terme de la qualité des eaux de surface.

La présente étude analyse les séries chronologiques de concentrations de phosphore total (P total), de matières en suspension (MES), d'azote total (N total) et de nitrates-nitrites (NO<sub>x</sub>), mesurées à l'embouchure de la rivière Etchemin sur une période de 35 ans (1979-2013). Elle vise à déterminer la direction et l'ampleur des tendances observées dans l'évolution à long

terme des débits, des concentrations et des flux des paramètres physicochimiques et à interpréter ces résultats à la lumière des données sur l'évolution des pressions humaines et des efforts

d'assainissement visant à les réduire.

\* Une liste des acronymes se trouve à la page 16.

## 1. DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT

La rivière Etchemin est située sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent. D'une longueur d'environ 140 km, elle prend sa source dans le massif du Sud (monts Notre-Dame) et coule en direction nord-ouest jusqu'à son embouchure à Saint-Romuald, en face de la ville de Québec (figure 1). Le bassin versant de la rivière Etchemin couvre

une superficie totale de 1 469 km<sup>2</sup> et possède un réseau hydrographique qui totalise environ 2 125 km de cours d'eau. Le bassin versant comprend 616 plans d'eau naturels dont le plus vaste est le lac Etchemin, avec une superficie de 2,41 km<sup>2</sup>.

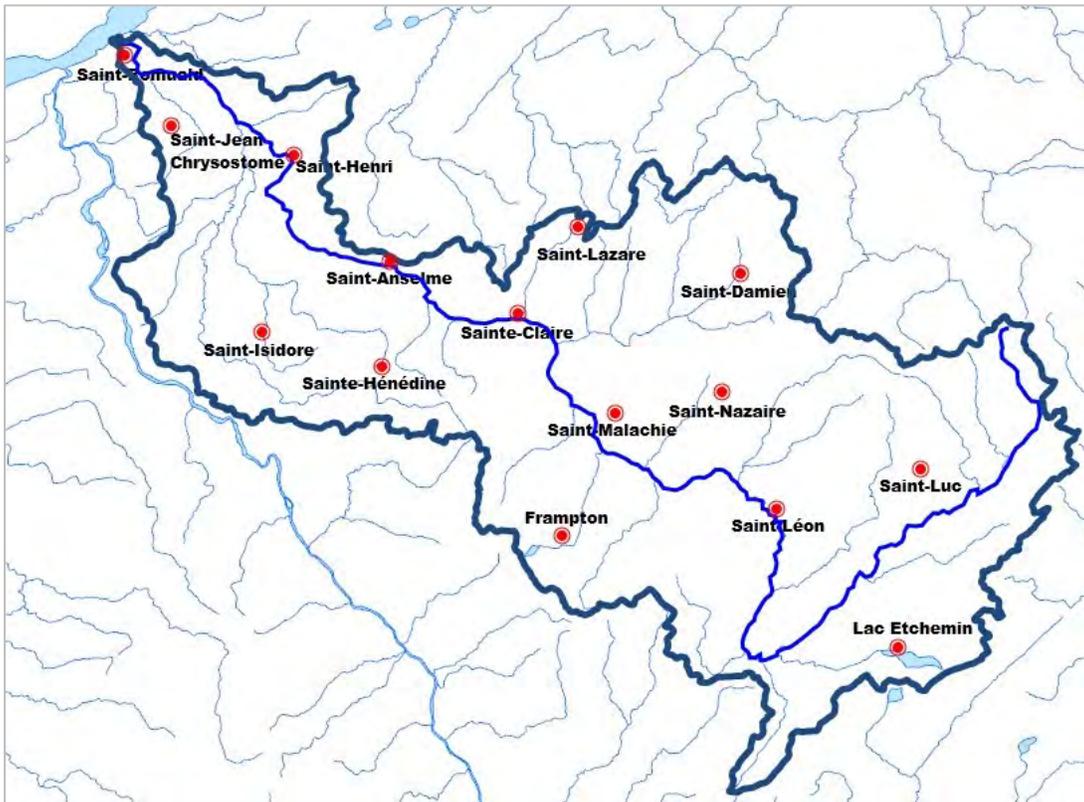


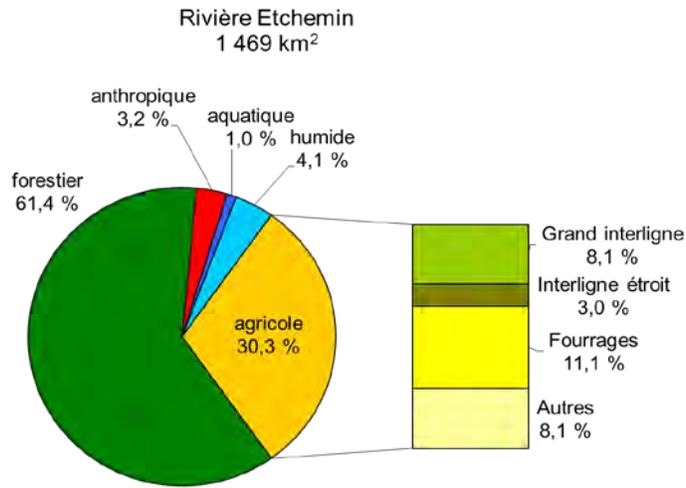
Figure 1 Bassin versant de la rivière Etchemin

Selon les données de 2012 (figure 2), l'utilisation du territoire indique que les superficies urbaines couvrent environ 3 % du bassin versant comparativement à 30 % pour l'agriculture et 61 % pour la forêt. Le secteur du bassin versant situé en amont de Sainte-Claire (Appalaches) est dominé par la forêt et l'agroforesterie, alors que l'agriculture domine dans le secteur aval (basses

terres du Saint-Laurent). En 2002, les municipalités de Lévis, Saint-Romuald, Saint-Jean-Chrysostome et Pintendre ont été fusionnées pour former la ville de Lévis. La population du bassin versant totalisait 49 435 individus en 2011, soit 33,7 hab./km<sup>2</sup>. Environ 68 % de cette population se concentrait dans le secteur aval du bassin versant.

Le bassin versant de la rivière Etchemin a vu sa superficie agricole cultivée diminuer de 4 193 ha entre 1976 et 2011, soit une baisse de 10,8 % en 35 ans (figure 3). Durant la même période, son cheptel total a augmenté de 20 569 unités animales (u.a.), soit une hausse de 35,3 %. La densité animale est ainsi passée de 1,5 u.a./ha à 2,3 u.a./ha, soit une hausse de 53,3 %. Les municipalités situées en aval de Sainte-Claire (Saint-Henri, Sainte-Hénédine, Saint-Isidore et

Saint-Anselme) regroupent près des deux tiers des terres cultivées et du cheptel du bassin versant sur un territoire qui équivaut au tiers de la superficie drainée par la rivière. La hausse du cheptel et la diminution des cultures fourragères au profit des cultures annuelles indiquent une augmentation des pressions agricoles exercées sur le territoire.



Sources: FADQ (2012). AAC (2012) et SIEF (2012)

Figure 2 Utilisation du sol en 2012 dans le bassin versant de la rivière Etchemin

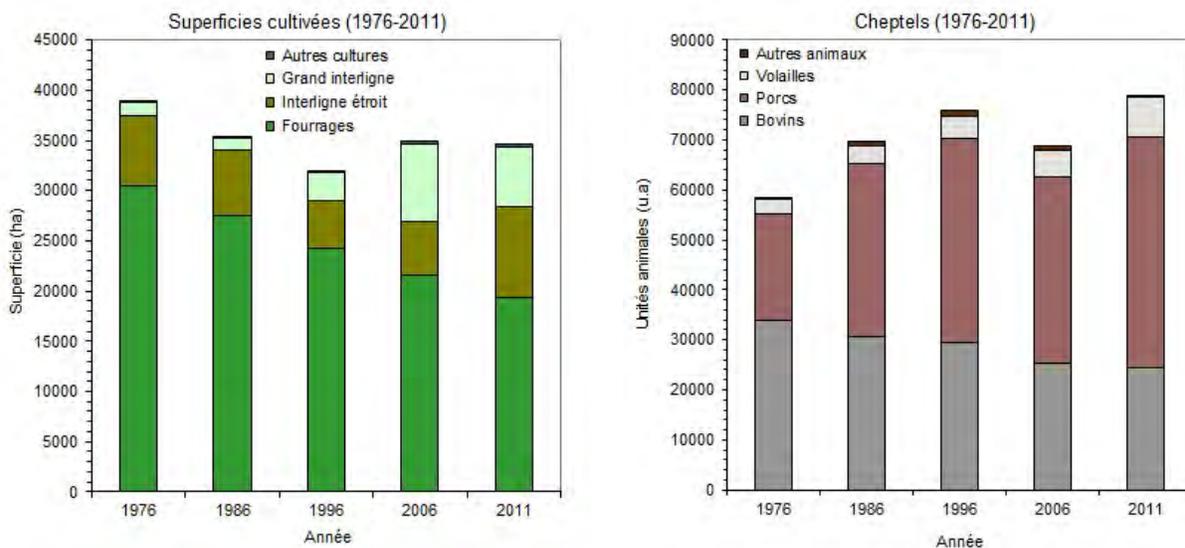


Figure 3 Évolution des superficies cultivées et des cheptels dans le bassin versant de la rivière Etchemin durant la période 1976-2011 (Statistiques Canada, CBE, 2014)

Afin de gérer la problématique des eaux usées, le gouvernement du Québec a mis en place le Programme d'assainissement des eaux du Québec (PAEQ) en 1978. En 2012, le bassin versant de la rivière Etchemin comptait 15 stations d'épuration des eaux (STEP) qui desservait une population d'environ 31 100 personnes (figure 4), soit près de 67 % de la population du bassin versant (MAMROT, 2013). Environ 59,5 % de la population desservie occupait le secteur aval du bassin versant. La majorité des STEP pratiquent une déphosphatation sur une période de six mois (15 mai au 14 novembre).

Selon le Conseil de bassin de la rivière Etchemin (2014), environ 100 industries sont situées sur le bassin versant de la rivière Etchemin, dont 12 qui rejettent des eaux usées susceptibles d'avoir un

impact sur le milieu aquatique (figure 5). Les eaux industrielles sont le plus souvent dirigées vers un réseau d'égout municipal après avoir subi un prétraitement ou sont traitées de façon indépendante sur le site même de l'entreprise. La majorité des rejets d'eaux usées industrielles proviennent d'entreprises agroalimentaires. Citons notamment l'assainissement des eaux usées de Charcuterie Roy Inc., en 1993, et d'Exceldor, Coopérative agricole, en 1994, à Saint-Anselme, et de Salaisons Brochu Inc., à Saint-Henri-de-Lévis, en 1994 (Robitaille, 2000). Puisque les systèmes de traitement des eaux usées municipales n'ont pas été conçus pour tous les types d'eaux usées industrielles, il est possible que les rejets de certaines d'entre elles contribuent à la pollution résiduelle des cours d'eau du bassin versant de la rivière Etchemin.

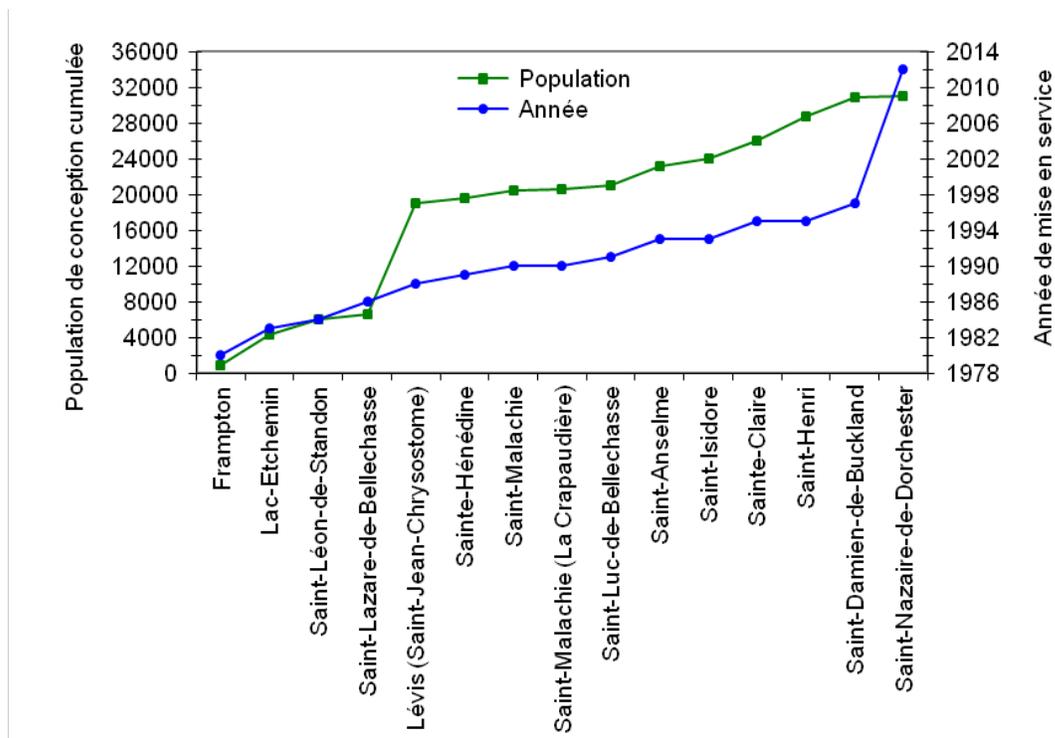


Figure 4 Évolution du PAEQ dans les municipalités du bassin versant de la rivière Etchemin

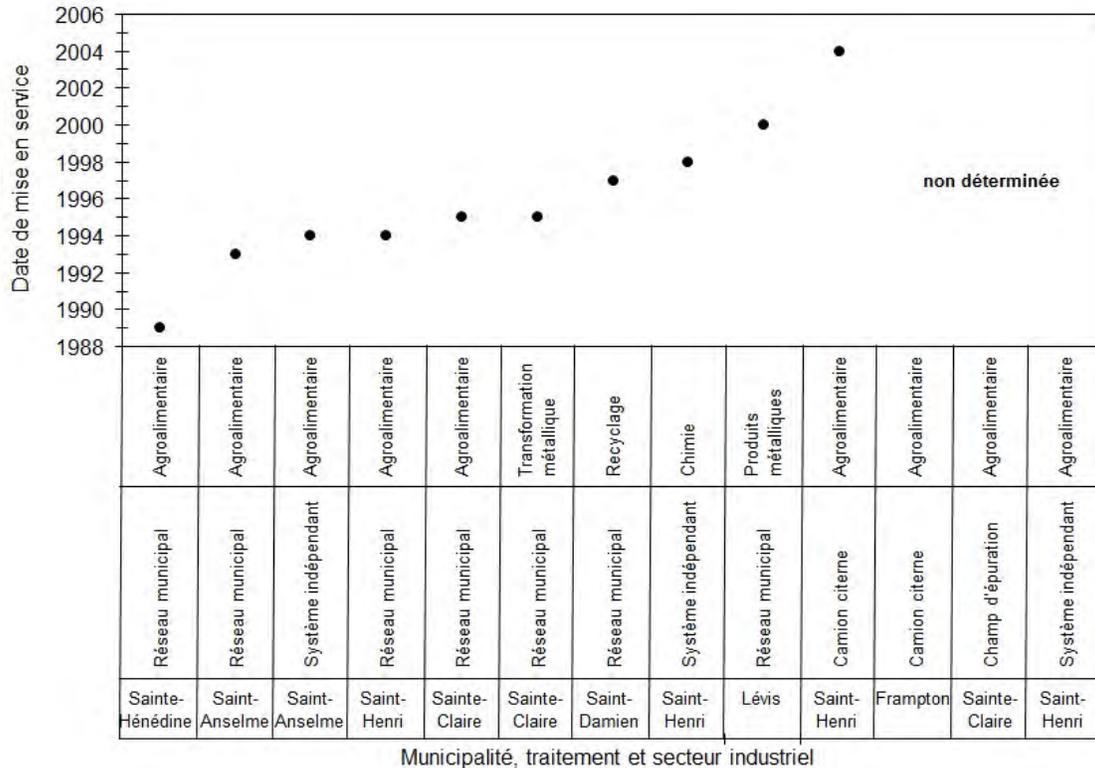


Figure 5 Entreprises rejetant des eaux usées dans la rivière Etchemin

## 2. TRAITEMENT DES DONNÉES

### 2.1 Provenance des données

Le MDDELCC gère quatre stations de suivi de la qualité des eaux sur le bassin versant de la rivière Etchemin. La station 02330001, localisée au pont-route 132 à Saint-Romuald, a été retenue pour notre étude (figure 6). Les eaux de surface drainées à la station de Saint-Romuald proviennent d'un territoire de 1 464 km<sup>2</sup>, soit près de 99,7 % de la superficie totale du bassin versant de la rivière Etchemin. Les échantillons d'eau, prélevés une fois par mois durant la période 1979-2013, ont été analysés pour mesurer les concentrations de phosphore total (P total), de matières en suspension (MES), d'azote total (N total) et de nitrates-nitrites (NO<sub>x</sub>). Cependant, étant donné les faibles concentrations de nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) par rapport aux concentrations de nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et leur forte instabilité thermodynamique dans les eaux naturelles, le NO<sub>3</sub><sup>-</sup> est souvent considéré comme

étant le principal constituant du NO<sub>x</sub>. Ces données sont colligées dans la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA).

La station hydrométrique 023303, sur laquelle a été effectué le suivi à long terme des débits journaliers, est localisée au pont-route 173 à Saint-Henri-de-Lévis (figure 6). La superficie drainée à cette station est de 1 152 km<sup>2</sup>, soit 78,4 % de la superficie totale du bassin versant. Le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) a ajusté, par *krigeage*, les débits journaliers afin qu'ils correspondent à l'emplacement de la station de suivi de la qualité de l'eau 02330001. Cette approche d'estimation spatiale a permis de générer une série continue de débits pour chaque journée de la période 1979-2013.

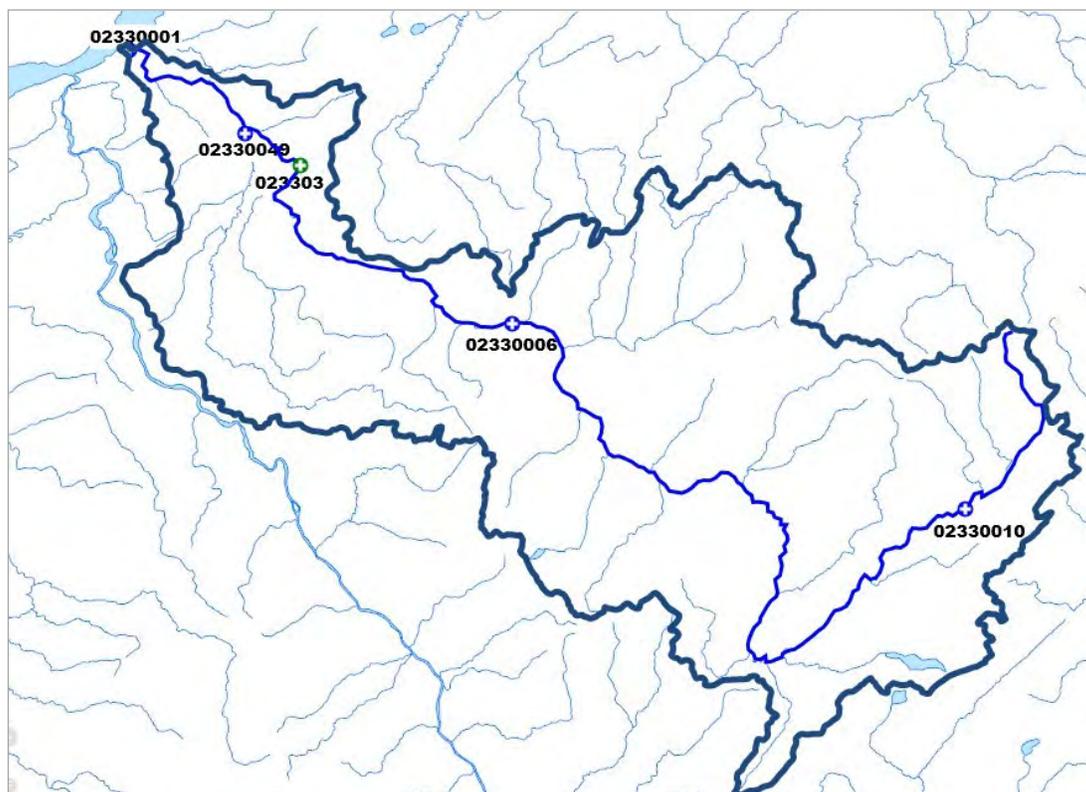


Figure 6 Localisation des stations hydrométriques et de suivi de la qualité des eaux

Les figures 7 et 8 illustrent, respectivement, l'évolution des débits moyens journaliers et des concentrations mesurées à la station de suivi de la qualité de Saint-Romuald (02330001) durant la période 1979-2013. Chaque graphique précise les médianes (50 %) et les interquartiles (25 à 75 %) de la distribution des données observées. Le débit médian interannuel a été de 16,9 m<sup>3</sup>/s, alors que les concentrations médianes interannuelles ont été respectivement de 0,054 mg/L, 6,0 mg/L, 1,10 mg/L et 0,76 mg/L pour P total, MES, N total et NOx. L'absence de concentrations entre les années 1986 et 1989 est attribuable à une interruption des activités de suivi à cette station.

## 2.2 Analyse statistique

Les analyses statistiques et les graphiques générés dans le cadre de cette étude ont été effectués à l'aide du progiciel EGRET (*Exploration and Graphics for RivEr Trends*; USGS, 2015) qui utilise le langage et l'environnement du logiciel R. EGRET permet

d'appliquer une nouvelle méthode statistique qui utilise l'approche de régressions pondérées *Weighted Regressions on Time, Discharge, and Season* (WRTDS; Hirsch *et coll.*, 2010). WRTDS permet d'estimer l'historique des données journalières de concentrations et de flux en utilisant le débit, la saison et la tendance comme variables explicatives. L'utilisation de toutes les données de débit observées pour une date donnée au cours de la période, un processus de pondération qui élimine l'effet de la variabilité interannuelle imputable au débit, permet d'obtenir une série lisse qui sert à calculer la tendance. La procédure complémentaire EGRETci (*Exploration and Graphics for RivEr Trends with Confidence Intervals*; Hirsch *et coll.*, 2015) est utilisée pour évaluer l'incertitude concernant les tendances détectées par l'approche WRTDS. Elle permet d'une part le calcul d'un intervalle de confiance à 90 % autour des courbes illustrant l'évolution des concentrations et des flux pondérés par le débit, et d'autre part, l'application du test WRTDS Bootstrap qui permet de déterminer le degré de probabilité associé aux

tendances observées. Le progiciel EGRET permet de gérer une période prolongée de données manquantes comme celle qui a été

observée pour la rivière Etchemin entre mars 1986 et août 1989 (Hirsch et De Cicco, 2014).

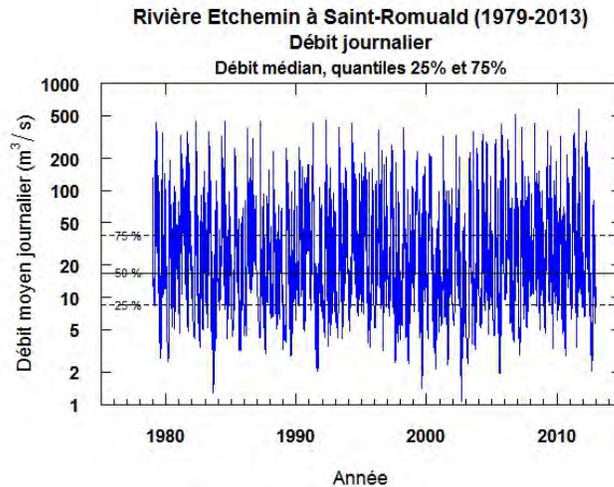


Figure 7 Variations des débits moyens journaliers durant la période 1979-2013 (MDELCC, 2015b)

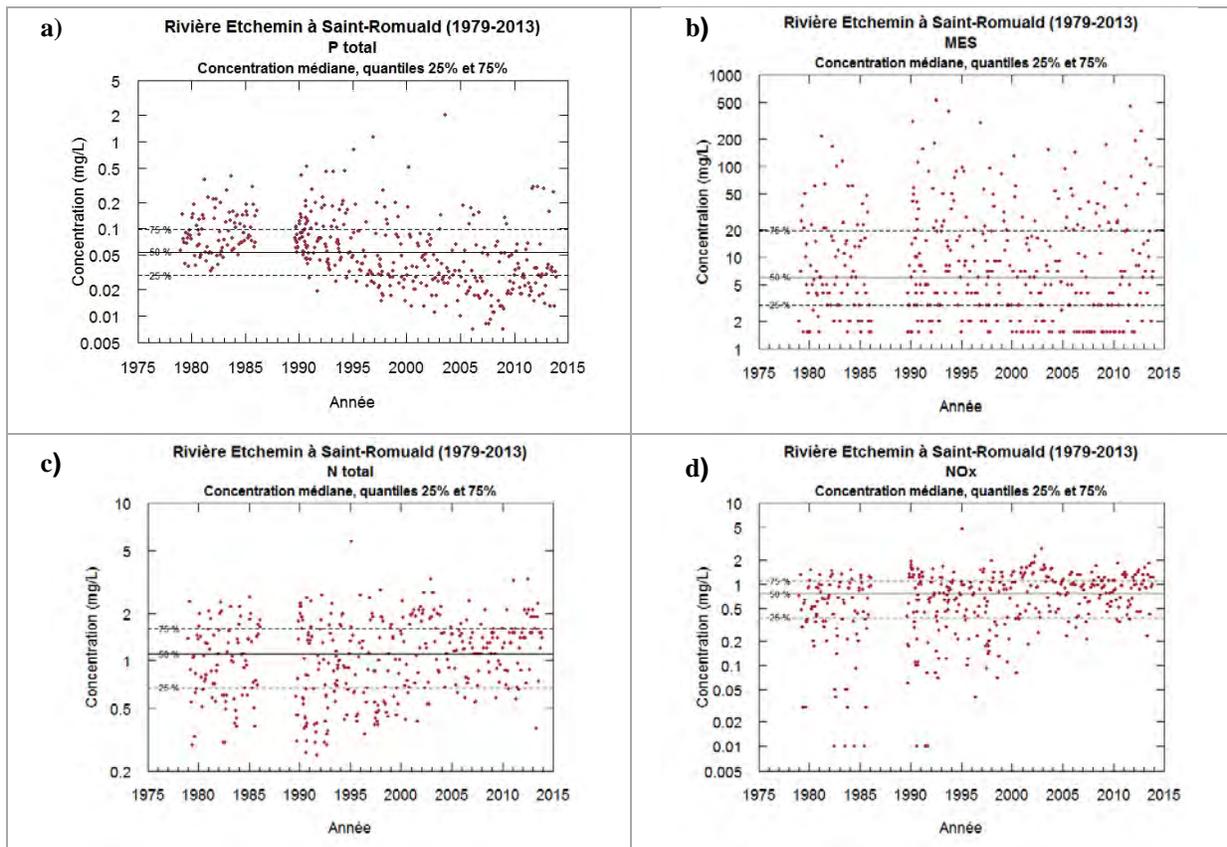


Figure 8 Évolution des concentrations observées de : a) P total, b) MES, c) N total et d) NOx durant la période 1979 à 2013 (MDELCC, 2015c)

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'analyse des résultats a été facilitée en divisant la période 1979-2013 en trois sous-périodes dites « stratégiques » qui correspondent à des étapes importantes dans l'évolution des pressions humaines et des efforts d'assainissement déployés sur le territoire. Ce découpage permet aussi de prendre en compte l'interruption du suivi survenue entre les mois de mars 1986 à août 1989.

Ainsi, la période 1979-1985 est marquée par un accroissement démographique et un essor de la production porcine. Les premières stations d'épuration des eaux usées (STEP) construites dans le cadre du Programme d'assainissement des eaux du Québec (PAEQ) venaient juste d'entrer en activité, tandis que le *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale* (RPPEPA) venait d'être adopté en 1981.

La période 1990-2003 témoigne de l'impact positif du traitement des sources ponctuelles de pollution urbaines et agricoles. Les stations d'épuration étaient presque toutes en activité avant la fin de cette période et le Programme d'aide à l'amélioration de la gestion des fumiers (PAAGF), lancé en 1988, avait permis de réduire les rejets directs de fertilisants liés à l'absence de structures d'entreposage étanches. Les plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF), instaurés par le *Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole* (RRPOA) en 1997, contribuaient à diminuer la pollution d'origine diffuse.

Finalement, la période 2003-2013 montre les résultats des efforts d'assainissement visant les apports de source diffuse, principalement agricoles, qui demeurent dominants sur le territoire du bassin versant de la rivière Etchemin. La mise en place progressive des pratiques agricoles bénéfiques imposées par les règlements gouvernementaux (RPPEPA, RRPOA et REA) s'est effectuée sur une période de plusieurs années. Par conséquent, les améliorations attendues au chapitre de la qualité de l'eau ont nécessité l'atteinte d'un certain degré de changement à l'échelle territoriale du bassin versant pour se manifester. Meals *et coll.* (2010) soulignent l'existence d'un certain retard (*lag time*) entre la modification des pratiques culturelles dans un bassin versant et la détection d'une amélioration mesurable de la qualité de l'eau.

#### 3.1 Tendances des concentrations et des flux estimés de la période 1979-2013

L'estimation des concentrations et des flux journaliers d'un contaminant revêt une grande importance pour établir l'historique de la qualité de l'eau d'une rivière. D'une part, l'analyse de l'évolution temporelle des concentrations permet d'évaluer dans quelle mesure un contaminant dépasse les critères de qualité établis pour la protection de la vie aquatique et des usages de l'eau. D'autre part, l'analyse de l'évolution temporelle des flux permet d'évaluer la quantité de contaminants exportée vers le milieu récepteur (lacs, réservoirs ou fleuve). À l'opposé des concentrations et des flux non pondérés qui sont des estimations journalières influencées par les débits quotidiens, les valeurs pondérées par le débit permettent de décrire l'état du système hydrologique dans le temps, en soustrayant l'influence des débits journaliers sur les variations des concentrations ou des flux (Hirsch et De Cicco, 2014). Par conséquent, la pondération permet d'illustrer plus adéquatement les tendances à long terme dans l'évolution de la qualité de l'eau.

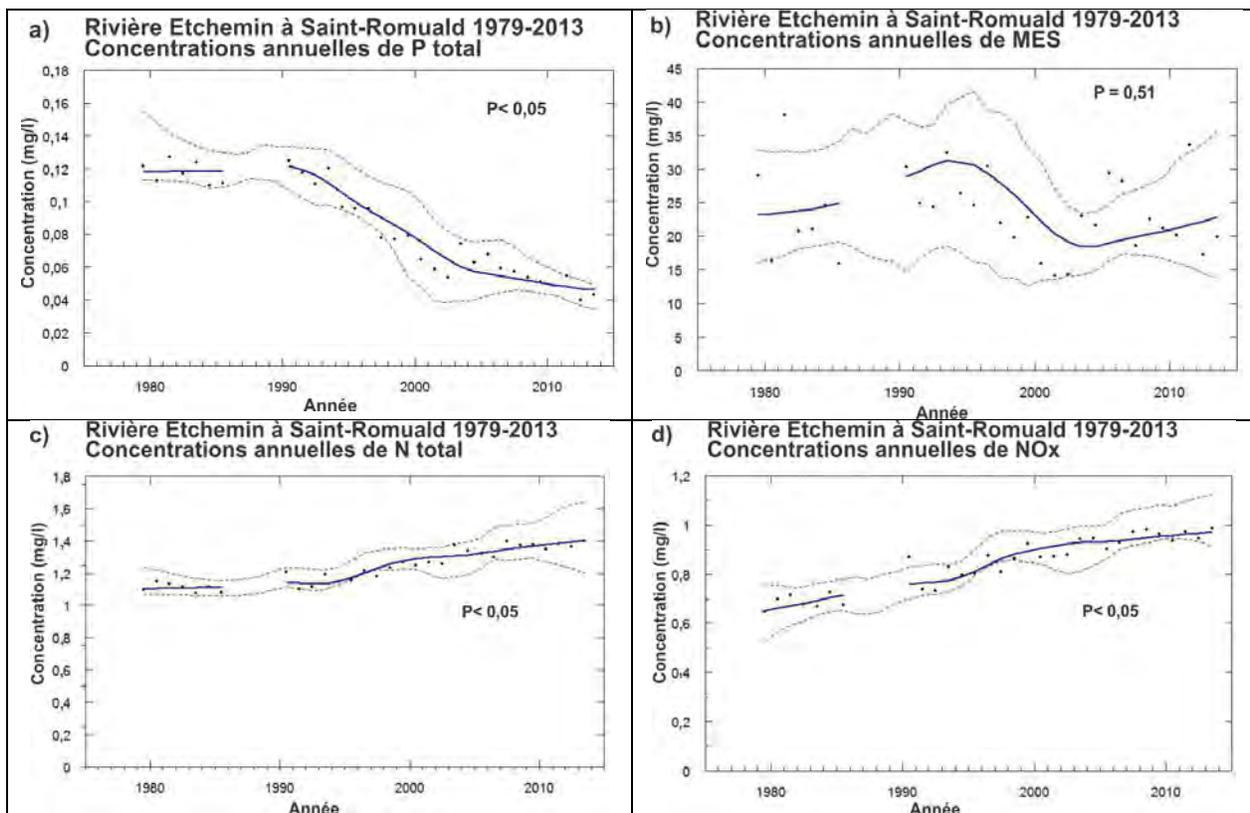
Les figures 9 et 10 illustrent l'évolution temporelle des moyennes annuelles (1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre) des concentrations et des flux estimés de P total, de MES, de N total et de NOx à l'embouchure de la rivière Etchemin durant la période 1979-2013. Ces figures dressent l'historique des tendances interannuelles des concentrations moyennes annuelles (mg/L), des concentrations moyennes annuelles pondérées par le débit (mg/L), des flux moyens annuels (kg/an) et des flux moyens annuels pondérés par le débit (kg/an). Ces graphiques présentent l'évolution des concentrations et des flux moyens annuels à l'aide de points et les concentrations et flux moyens annuels pondérés par le débit à l'aide de courbes lisses (*smooth curves*). Chaque courbe de tendance est accompagnée d'un intervalle de confiance à 90 % (Hirsch et De Cicco, 2015; Hirsch *et coll.*, 2015).

La figure 9a montre que la tendance des concentrations de P total a suivi une baisse entre 1979 et 2013. La tendance des concentrations pondérées de P total présente une stabilité à 0,12 mg/l entre 1979 et 1985, suivi d'une chute rapide à 0,06 mg/l entre 1990 et 2003 et d'une faible baisse à 0,046 mg/l en 2013. Comme le montre l'amplitude de l'intervalle de confiance à

90 %, les concentrations de MES exhibent une grande variabilité (figure 9b). Les concentrations pondérées montrent une hausse de 23 mg/L à 31 mg/L entre 1979 et 1993, suivie d'une chute rapide à 18 mg/L entre 1993 et 2003, et d'une remontée constante à 23 mg/L en 2013. Puisque les nitrates constituent la forme dominante de l'azote dans les eaux de surface, il n'est pas étonnant de constater que les tendances des concentrations pondérées de N total et de NOx montrent des patrons similaires entre 1979 et 2013 (figures 9c et 9d). Durant cette période, les concentrations d'azote ont augmenté progressivement de 1,10 mg/L à 1,41 mg/L pour N total et de 0,65 mg/L à 0,97 mg/L pour NOx, avec un léger rehaussement vers 1995.

Près de 90 % des concentrations journalières estimées de P total ont dépassé le critère de qualité des eaux de surface de 0,03 mg/L retenu pour prévenir l'eutrophisation des cours d'eau et assurer la protection de la vie aquatique

(MDDELCC, 2015a). L'amplitude moyenne de dépassement des concentrations estimées de P total a été de 0,091 mg/L. Pour les MES, le seuil arbitraire de 13 mg/L (niveau satisfaisant de qualité de l'eau de l'IQBP<sub>6</sub>; Hébert, 1996) a été dépassé pour 44 % des concentrations journalières estimées. L'amplitude moyenne de dépassement des concentrations estimées de MES a été de 44 mg/L. Les concentrations journalières estimées de N total ont dépassé 65,5 % du temps la valeur repère de 1,0 mg/L qui représente environ trois fois la valeur du bruit de fond naturel des cours d'eau (Hébert et Légaré, 2000). Les mesures supérieures à cette valeur révèlent habituellement l'influence des activités humaines sur les milieux aquatiques. L'amplitude moyenne de dépassement des concentrations estimées de N total a été de 1,51 mg/L. Aucun dépassement du critère de 2,9 mg/L pour la protection de la vie aquatique (effet chronique) n'a été observé pour les concentrations estimées de nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), principal constituant des NOx.

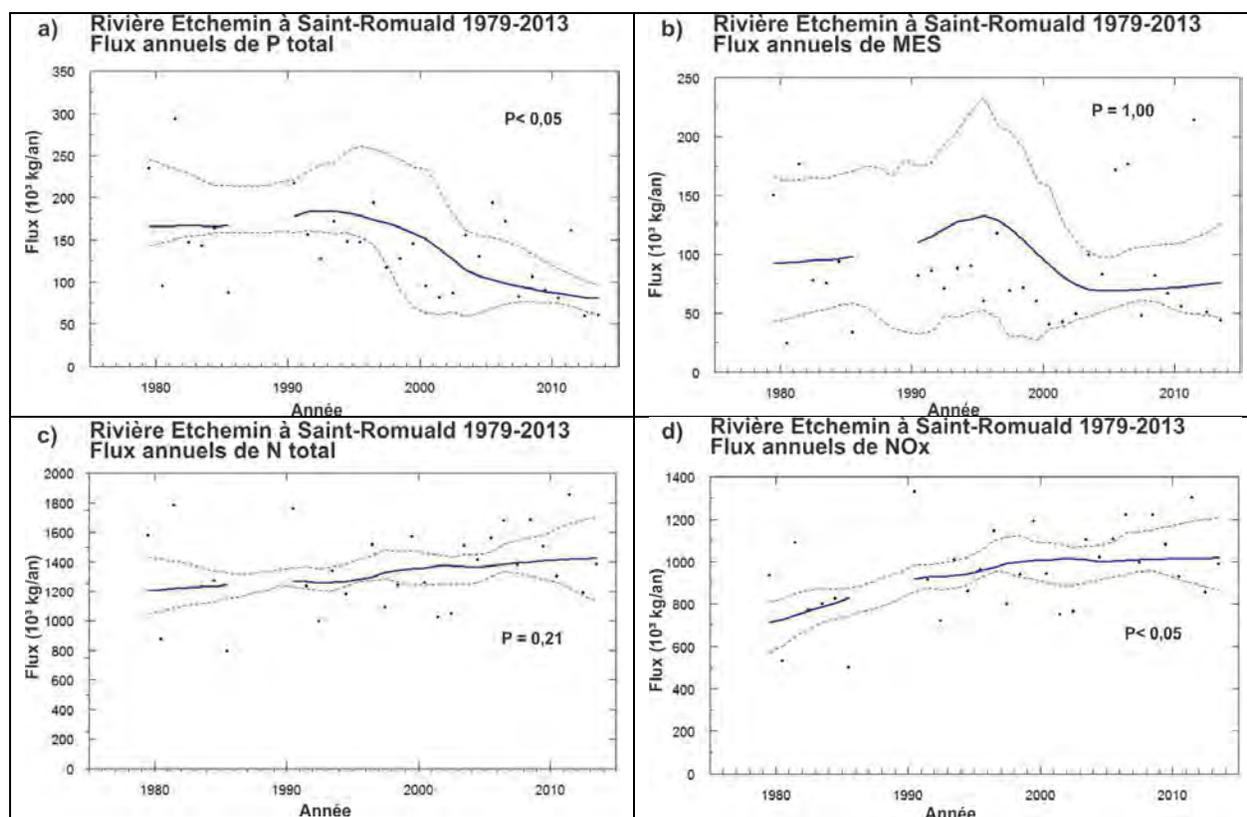


**Figure 9** Évolution des concentrations moyennes annuelles (points) et des concentrations moyennes annuelles pondérées par le débit (ligne) au cours de la période 1979-2013, accompagnées de l'intervalle de confiance à 90 % des concentrations pondérées (lignes hachurées) : a) P total, b) MES, c) N total et d) NOx

Le comportement des flux pondérés de MES, de N total et de NOx (figures 10b, 10c, 10d) suit sensiblement celui de leurs concentrations pondérées respectives, alors que pour P total (figure 10a), les fluctuations des flux ont été moins abruptes que les fluctuations des concentrations. La figure 10a montre que les flux estimés de P total ont suivi une tendance à la baisse, passant de 167 t/an en 1979 à 80 t/an en 2013. Comme en font foi les intervalles de confiance à 90 %, ce sont les flux pondérés de MES qui présentent la plus grande variabilité (figure 10b) parmi les paramètres analysés. Les flux pondérés de MES montrent une augmentation de 92 945 t/an à 134 004 t/an entre 1979 et 1995, suivie d'une descente rapide à 67 801 t/an en 2004 pour finalement atteindre 75 768 t/an en 2013. Entre 1979 et 2013, les flux pondérés de N total ont augmenté

progressivement de 1 206 t/an à 1 429 t/an, sans connaître de fluctuations importantes (figure 10c), alors que les flux pondérés de NOx sont passés de 712 t/an en 1979 à 1 020 t/an en 2013 (figure 10d).

Dans l'ensemble, les flux moyens annuels sont beaucoup plus éloignés de la courbe des flux pondérés que ne le sont les concentrations moyennes annuelles par rapport à la courbe des concentrations pondérées. Ils traduisent la variabilité interannuelle des débits qui constituent le principal déterminant du calcul des flux (Flux = Concentration x Débit). Cette situation est mise en évidence par la position des courbes pondérées (lignes) à l'intérieur des intervalles de confiance à 90 % par rapport à la position des moyennes annuelles (points) situées de part et d'autre de ces intervalles (Hirsch *et coll.*, 2015).



**Figure 10** Évolution des flux moyens annuels (points) et des flux moyens annuels pondérés par le débit (ligne) au cours de la période 1979-2013, accompagnés de l'intervalle de confiance à 90 % des flux pondérés (lignes hachurées) : a) P total, b) MES, c) N total et d) NOx

La figure 11 donne une interprétation des tendances à long terme des concentrations (figure 9) et des flux pondérés (figure 10) de P total, de MES, de N total et de NO<sub>x</sub> à partir des résultats du test WRTDS Bootstrap et de l'approche suggérée par Hirsch et coll. (2015). Cette approche novatrice se veut complémentaire au test classique d'hypothèses qui cherche à limiter l'erreur de type I, soit celle qui correspond à la probabilité de rejeter l'hypothèse  $H_0$  : pente = 0 alors qu'elle est vraie, en fixant à 5 % le seuil de signification. Elle utilise une terminologie, fondée en partie sur le langage utilisé par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), pour exprimer le degré de probabilité du changement observé.

Ainsi, la pente significative ( $P \leq 0,05$ ) des tendances observées pour les concentrations (figure 9a) et les flux pondérés de P total (figure 10a), au cours de la période 1979-2013, est corroborée par l'analyse de la variabilité des mesures pondérées qui indique que cette tendance à la baisse est hautement probable (figure 11). Alors que la pente des tendances calculées pour les concentrations (figure 9b) et les flux pondérés de MES (figure 10b) se révèle non significative ( $P > 0,05$ ), l'analyse de la variabilité autour de la tendance suggère qu'il est probable que les concentrations pondérées de MES soient à la hausse, mais aussi probable qu'improbable que les flux pondérés de MES soient à la baisse (figure 11). Quant à l'azote, une pente significative est notée pour les concentrations pondérées de N total (figure 9c) et de NO<sub>x</sub> (figure 9d) de même que pour les flux pondérés de NO<sub>x</sub> (figure 10d), des résultats confirmés par l'analyse de la variabilité autour des tendances qui montre qu'une tendance à la hausse est hautement probable dans les trois cas (figure 11). La pente non significative ( $P = 0,21$ ) enregistrée pour les flux pondérés de N total (figure 10c) se traduit néanmoins par une hausse probable (figure 11) lorsque la variabilité autour de la tendance est analysée.

Ces informations procurent aux gestionnaires du bassin versant une évaluation des tendances de la qualité des eaux de surface en vue d'orienter les interventions futures. Ces acteurs de l'eau sont ainsi en mesure de juger de l'efficacité des mesures de mitigation déjà mises en place et de déterminer si elles doivent être poursuivies ou modifiées. De plus, ces informations peuvent s'inscrire à l'intérieur d'un processus décisionnel

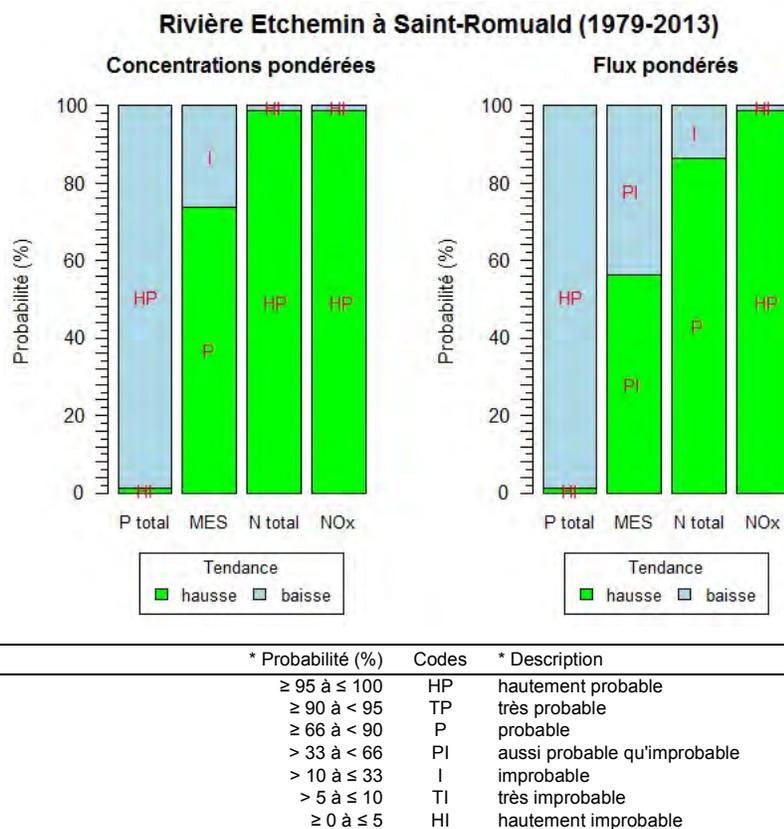
visant à déterminer si de nouvelles mesures doivent être adoptées et sur quel(s) paramètre(s) de qualité devront être portés les prochains efforts d'assainissement des eaux. Ainsi, malgré une tendance à la baisse des concentrations pondérées de P total, le critère de qualité de 0,03 mg/L a fréquemment été dépassé à l'embouchure du bassin versant de la rivière Etchemin durant la période 1979-2013. Les actions mises en place devront être poursuivies afin de maintenir cette tendance. Le seuil arbitraire de 13 mg/L pour les MES a été dépassé, comme l'a aussi été le repère de 1,0 mg/L pour N total. Les améliorations apportées à l'entreposage des fumiers et aux pratiques d'épandage par l'application des PAEF ont contribué à réduire les apports de P total, mais ont eu peu d'effet sur la réduction des apports de MES et d'azote.

Le critère de qualité de 2,9 mg/L pour NO<sub>x</sub> (c.-à-d. nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) n'a pas été dépassé durant la période 1979-2013. Contrairement aux concentrations pour lesquelles les critères de qualité représentent l'objectif critique, aucun objectif explicite n'a été formulé pour la réduction des flux de P total, de MES, de N total et de NO<sub>x</sub>.

### 3.2 Variations des concentrations et des flux pondérés par intervalle de temps stratégique

Les flux moyens annuels pondérés de P total, de MES, de N total et de NO<sub>x</sub> estimés, à l'embouchure de la rivière Etchemin, sont présentés dans le tableau 1 pour chacune des trois sous-périodes « stratégiques » définies précédemment en fonction de l'évolution des pressions humaines et des interventions d'assainissement de l'eau.

Les flux moyens annuels de P total ont diminué à chacune des sous-périodes stratégiques, alors que ces flux ont augmenté pour l'azote (N total et NO<sub>x</sub>). Pour les MES, les flux moyens annuels ont d'abord augmenté entre les sous-périodes 1979-1985 et 1990-2003 pour ensuite diminuer à la sous-période 2003-2013. La hausse des MES résulterait d'une augmentation des pressions agricoles, alors que la baisse serait attribuable à l'adoption progressive de pratiques culturales favorisant la réduction de l'érosion.



**Figure 11 Tendances dans les concentrations et les flux pondérés de P total, de MES, de N total et de NOx au cours de la période 1979-2013**

Le tableau 2 présente les taux de variation des concentrations et des flux pondérés de P total, de MES, de N total et de NOx pour la période 1979 à 2013 ainsi que pour les trois sous-périodes « stratégiques ». Entre 1979 et 2013, les pourcentages de variation des concentrations et des flux pondérés de P total et de MES montraient une baisse, alors que les

pourcentages de variation de l'azote (N total, NOx) montraient une hausse. Cependant, comme le soulignent Hirsch et De Cicco (2014), les jours de forts débits auront beaucoup d'influence sur la tendance des flux, mais peu d'influence sur la tendance des concentrations. Il est possible que le taux de variation des concentrations pondérées ( $\Delta C_{pond}$ ) d'un contaminant soit différent du taux de variation des

**Tableau 1 Flux estimés pour des intervalles de temps « stratégiques »**

Sous-période	Flux moyens annuels (tonnes/an)			
	P total	MES	N total	NOx
1979 à 1985	166	95 132	1 224	768
1990 à 2003	163	107 988	1 313	974
2003 à 2013	94	70 878	1 398	1 012

flux pondérés ( $\Delta F_{\text{pond}}$ ) de ce contaminant pour une sous-période donnée. La comparaison de ces taux peut être révélatrice de l'origine des changements observés dans la qualité de l'eau d'un bassin versant. De façon générale, une diminution de la pollution ponctuelle pendant une

sous-période donnée se traduira par une variation négative des concentrations pondérées, alors qu'une augmentation de la pollution diffuse associée aux forts débits se traduira par une variation positive des flux pondérés (Hirsch et De Cicco, 2014).

**Tableau 2 Taux de variation des concentrations et des flux pondérés pour des intervalles de temps « stratégiques » et pour l'ensemble de la période 1979-2013**

Sous-période	P total				MES			
	concentration		flux		concentration		flux	
	mg/l	%	10 <sup>3</sup> kg/an	%	mg/l	%	10 <sup>3</sup> kg/an	%
1979 à 1985	0,00083	0,7	1,1	0,7	1,7	7,3	5 457	5,9
1990 à 2003	-0,062	-51	-63	-35	-11,0	-37	-41 209	-37
2003 à 2013	-0,014	-23	-34	-30	4,6	25	6 754	9,8
1979 à 2013	-0,072	-61	-86	-52	-0,4	-1,8	-17 177	-18
Sous-période	N total				NOx			
	concentration		flux		concentration		flux	
	mg/l	%	10 <sup>3</sup> kg/an	%	mg/l	%	10 <sup>3</sup> kg/an	%
1979 à 1985	0,01	1,1	40	3,3	0,06	9,9	117	16
1990 à 2003	0,17	15	99	7,8	0,17	22	91	9,9
2003 à 2013	0,10	7,4	61	4,5	0,04	4,5	9,5	0,94
1979 à 2013	0,30	28	223	18	0,32	50	308	43

Les constats énoncés précédemment sont en accord avec les efforts d'assainissement déployés sur le bassin versant de la rivière Etchemin entre 1979 et 2013. En effet, alors que les variations des concentrations et des flux pondérés de P total et de MES présentent des baisses, les concentrations et les flux pondérés de N total et de NOx présentent des hausses. Cette tendance inverse résulte, entre autres, du fait que les sources ponctuelles d'origines urbaine et industrielle ont été ciblées de façon prioritaire par le Programme d'assainissement des eaux usées du Québec (PAEQ), lancé à la fin des années 1970. À cette époque, les systèmes de traitement des eaux usées utilisés étaient principalement axés sur l'enlèvement du phosphore et la réduction de la matière organique et des MES. De plus, les tendances à la hausse des concentrations et des flux de N total et de NOx sont cohérentes avec les augmentations de densités animales et des superficies de cultures

annuelles dans le bassin versant. Ces tendances à la hausse suivent aussi la progression du traitement des eaux usées municipales qui a permis de transformer les formes d'azote organique et d'azote ammoniacal, dominantes dans les rejets domestiques, en nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), la forme oxydée la plus stable dans les eaux de surface. L'analyse des sous-périodes « stratégiques » nous apporte quelques précisions à ces égards.

La sous-période 1979-1985 a été caractérisée par une légère augmentation de 0,7 % des concentrations et des flux pondérés de P total et par une augmentation de 7,3 % des concentrations pondérées et de 5,9 % des flux pondérés de MES. Au cours de cette période, les concentrations pondérées de N total et de NOx ont augmenté de 1,1 % et de 9,9 % respectivement, alors que leurs flux pondérés respectifs augmentaient de 3,3 % et de 16 %.

Ces augmentations de flux traduisent une augmentation des pressions humaines sur le territoire. Elles sont liées de près aux apports de sources diffuses durant de cette période d'intensification des activités agricoles sur le bassin versant, notamment la production animale (voir la figure 3). Aussi, au cours de cette période, les premières stations d'épuration (STEP) venaient juste d'entrer en service (voir les figures 4 et 5) alors que la réglementation visant les établissements d'élevage venait d'être adoptée en 1981 et que le Programme d'aide à l'amélioration de la gestion des fumiers (PAAGF) n'avait pas encore été mis en place.

Au cours de la sous-période 1990-2003, les efforts d'assainissement se sont fait sentir avec, comme résultats, des réductions respectives de 51 % et de 35 % des concentrations et des flux pondérés de P total. La réduction des concentrations de P total témoigne des retombées positives du traitement des sources ponctuelles présentes sur le bassin versant de la rivière Etchemin. En plus des effets du traitement des stations d'épuration qui étaient presque toutes en activité sur le bassin versant avant la fin de la période, s'ajoutaient ceux du traitement de plusieurs rejets industriels importants du secteur agroalimentaire en 1993 et 1994 (Robitaille, 2000), et les effets combinés du RPPEPA et du PAAGF qui ciblaient tous deux la gestion des fumiers. Pendant cette sous-période, les concentrations et les flux pondérés de MES ont été réduits de 37 %. Cependant, ces efforts n'ont pu permettre la réduction des apports d'azote à l'embouchure de la rivière Etchemin. En effet, durant cette sous-période, les concentrations pondérées de N total et de NOx ont augmenté de 15 % et de 22 % respectivement alors que les flux pondérés de N total et de NOx augmentaient respectivement de 7,8 % et de 9,9 %. Les pourcentages de variation plus marqués pour les concentrations pondérées que pour les flux pondérés suggèrent que les changements privilégiaient la plage des débits modérés à faibles et qu'ils concernaient davantage les apports de sources ponctuelles.

La sous-période 2003-2013 montre une continuité dans les tendances à la baisse des apports de P total et dans les tendances à la hausse des apports de N total et de NOx

observées précédemment. Les taux de variation sont toutefois plus faibles que ceux de la période précédente. Pour les MES, on note un renversement de la tendance observée au cours de la sous-période précédente puisque les concentrations et les flux pondérés ont augmenté de 25 % et de 9,8 % respectivement. Le tableau 2 indique à nouveau que la hausse des concentrations pondérées de N total et de NOx (7,4 % et 4,5 %) a été plus élevée que celle de leurs flux pondérés (4,5 % et 0,94 %). Cet écart noté entre les pourcentages de variation suggère une fois de plus que les hausses proviennent davantage des apports de sources ponctuelles et de la nappe phréatique. On note en revanche que la situation s'est inversée pour les pourcentages de variation des concentrations et des flux pondérés de P total. Contrairement à la période précédente, le pourcentage plus élevé de réduction observé pour les flux pondérés ( $\Delta F_{\text{pond}} = -30\%$ ), comparativement à celui des concentrations pondérées ( $\Delta C_{\text{pond}} = -23\%$ ), indique que la réduction des concentrations s'étend maintenant à la plage des débits élevés, témoignant ainsi du succès des efforts d'assainissement ciblant les sources diffuses. Ce constat est d'ailleurs cohérent avec l'apparition des mesures réglementaires visant les établissements agricoles, soit le Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole (RRPOA), adopté en 1997, et le Règlement sur les exploitations agricoles (REA), adopté en 2002. Ces règlements ont permis la mise en place des plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF) et préparé le terrain pour l'obtention de bilans de phosphore équilibrés.

## CONCLUSION

L'estimation des concentrations et des flux journaliers d'un contaminant potentiel revêt une grande importance pour établir l'historique de la qualité de l'eau d'une rivière. L'analyse de l'évolution à long terme (1979-2013) des concentrations et des flux de phosphore total (P total), de matières en suspension (MES), d'azote total (N total) et de nitrates-nitrites (NOx), de la rivière Etchemin, à l'aide du progiciel EGRET, a permis de déterminer la direction et l'amplitude des tendances.

Après avoir connu une certaine stabilité entre 1979 et 1985, les concentrations pondérées de P total ont suivi une tendance à la baisse entre 1990 et 2013. La tendance des concentrations pondérées de MES indiquait une hausse entre 1979 et 1993 suivie d'une diminution rapide jusqu'en 2003, puis d'une augmentation régulière jusqu'en 2013. Les concentrations pondérées de N total et de NOx montraient des tendances similaires entre 1979 et 2013. Durant cette période, les concentrations d'azote ont augmenté lentement entre 1979 et 1995 pour ensuite connaître un léger rehaussement jusqu'en 2013. L'évolution temporelle des flux pondérés de MES, de N total et de NOx durant la période 1979-2013 ont suivi sensiblement celle de leurs concentrations pondérées respectives, alors que pour P total, les variations des flux ont été moins accentuées que les fluctuations des concentrations. L'analyse des intervalles de confiance des tendances à long terme des concentrations et des flux pondérés estimés à l'embouchure de la rivière Etchemin indique une baisse évidente de P total et une hausse évidente d'azote (N total et NOx). Cette analyse ne montre toutefois pas de tendance évidente pour les concentrations et les flux pondérés de MES.

Les apports de contaminants de source diffuse agricole demeurent dominants dans le bassin versant de la rivière Etchemin. Les interventions d'assainissement visant leur réduction sont complexes en raison de la diversité des activités ciblées, de la superficie des territoires concernés et du grand nombre d'acteurs impliqués. Entre la conception d'un plan d'action, sa mise en œuvre et l'atteinte d'un degré de changements sur le territoire des bassins versants suffisant pour causer une amélioration mesurable de la qualité de l'eau, il peut s'écouler plusieurs années, voire des décennies. L'effet bénéfique de ces interventions repose en grande partie sur le retour

à l'équilibre du degré de fertilité des sols qui reflète les effets cumulatifs des pratiques culturales antérieures. Les résultats de la rivière Etchemin indiquent que les améliorations observées entre 1979 et 2003 ont tout d'abord découlé des interventions qui visaient les apports de sources ponctuelles urbaines, industrielles et agricoles. Le maintien de la diminution des concentrations et des flux de P total et le ralentissement noté dans l'accroissement des mesures d'azote au cours de la période 2003-2013 suggèrent que les efforts déployés pour réduire la pollution diffuse produisent des résultats positifs. Toutefois, l'absence d'indicateurs permettant de quantifier l'ampleur des réalisations à l'échelle du bassin versant rend difficile l'appréciation de l'efficacité de ces interventions sur l'évolution de la qualité de l'eau.

Les informations contenues dans ce rapport offrent une évaluation de l'impact des mesures d'assainissement sur la qualité de l'eau et fournissent aux acteurs de l'eau des renseignements nécessaires à la planification des mesures à prendre pour améliorer davantage la qualité de l'eau. Ainsi, les acteurs concernés par la gestion des cours d'eau seront en mesure de juger de l'efficacité des mesures de mitigation déjà mises en place et de déterminer si elles doivent être poursuivies ou modifiées. De plus, ces éléments d'information peuvent s'inscrire à l'intérieur d'un processus décisionnel visant à déterminer si de nouvelles mesures doivent être adoptées et sur quel (s) paramètre (s) de qualité devront être portés les prochains efforts d'assainissement des eaux.

Les effets appréhendés des changements climatiques sur le régime des précipitations se traduiront vraisemblablement par une fréquence accrue d'événements de pluies intenses et des périodes de sécheresse prolongée. Ces perturbations auront une incidence sur la qualité de l'eau des bassins versants agricoles, en raison du transport accru des contaminants associé au ruissellement de surface et à l'érosion des sols. Les périodes d'étiage sévère pourraient aussi perturber la qualité de l'eau en limitant le pouvoir de dilution des cours d'eau qui reçoivent des rejets traités ou non de sources ponctuelles. Ces perturbations attendues viennent souligner l'importance des adaptations en vue de rendre les bassins versants moins vulnérables. Une bonification des pratiques de fertilisation faisant

appel aux déjections animales permettrait de réduire les apports azotés vers les eaux de surface. Une meilleure répartition spatiale des cultures annuelles, l'adoption de pratiques de conservation des sols, l'usage de cultures de recouvrement et la mise en place de bandes riveraines de même que le prolongement

éventuel des périodes de déphosphatation des eaux usées municipales, seraient autant de mesures à envisager pour protéger les acquis et pour réduire les concentrations d'éléments nutritifs et de MES qui dépassent encore fréquemment les critères et les valeurs repères de qualité des eaux de surface.

## LISTE DES ACRONYMES

AAC : Agriculture et Agroalimentaire Canada  
BDCA : Base de données des cultures assurées  
BDTQ : Base de données topographiques du Québec  
BQMA : Banque de données sur la qualité du milieu aquatique  
CBE : Conseil de bassin de la rivière Etchemin  
CEHQ : Centre d'expertise hydrique du Québec  
EGRET : *Exploration and Graphics for RivEr Trends*  
EGRETci : *Exploration and Graphics for RivEr Trends with Confidence Intervals*  
FADQ : Financière agricole du Québec  
MAMROT : Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire  
MAPAQ : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec  
MDDELCC : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques  
MENVIQ : Ministère de l'Environnement du Québec  
MES : matières en suspension  
N total : azote total  
NOx : nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)  
P total : phosphore total  
PAAGF : Programme d'aide à l'amélioration de la gestion des fumiers  
PADEM : Programme d'assainissement des eaux municipales  
PAEF : Plan agro-environnemental de fertilisation (introduit par le RRPOA en 1997)  
PAEQ : Programme d'assainissement des eaux du Québec  
PAIA : Programme d'aide à l'investissement en agroenvironnement (1997-1999)  
PEVQ : Programme « Les eaux vives du Québec »  
PIQM : Programme d'infrastructures Québec-Municipalités  
REA : Règlement sur les exploitations agricoles  
RPPEEPA : Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale  
RRPOA : Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole  
SIEF : Système d'information écoforestière  
STEP : station d'épuration des eaux usées  
TIC-Q : Programme « Travaux Infrastructures Canada-Québec » (1997)  
USGS : *United States Geological Survey*  
WRTDS : *Weighted Regressions on Time, Discharge, and Season*

## BIBLIOGRAPHIE

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). 2012. Inventaire annuel des cultures au Canada (2012), Direction générale des sciences et de la technologie,
- CBE (Conseil de bassin de la rivière Etchemin), 2014. *Plan directeur de l'eau des bassins versants des secteurs d'intervention de la Zone Etchemin – Version préliminaire*. Saint-Anselme, 333 p.
- Financière agricole du Québec (FADQ), 2012. Banque de données sur les cultures assurées (BDCA), Direction principale des ressources informationnelles et du soutien à l'optimisation des processus.
- Hébert, S., 1996. Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau pour les rivières du Québec. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq no EN970102, rapport no QE-108, 20 p., 4 ann.
- Hébert, S. et S. Légaré, 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Envirodoq no ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p. et 3 annexes.
- Hirsch, R.M. et L.A. De Cicco, 2014. *User Guide to Exploration and Graphics for RivEr Trends (EGRET) and Data Retrieval: R Packages for Hydrologic Data*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods Book 4, chap. A10, 94 p. En ligne [<http://dx.doi.org/10.3133/tm4A10>].
- Hirsch, R.M. et L.A. De Cicco, 2015. *Introduction to EGRET Confidence Intervals*. United States Geological Survey, 12 p. En ligne [<http://cran.rstudio.com/web/packages/EGRETci/vignettes/EGRETci.html>].
- Hirsch, R.M., D.L. Moyer et S.A. Archfield, 2010. "Weighted Regressions on Time, Discharge, and Season (WRTDS), with an Application to Chesapeake Bay River Inputs", *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 46, n° 5, p. 857-880. En ligne [<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3307614/pdf/jawr0046-0857.pdf>].
- Hirsch, R.M., S.A. Archfield et L.A. De Cicco, 2015. "A Bootstrap Method for Estimating Uncertainty of Water Quality Trends", *Journal of Environmental Modelling and Software*, vol. 73, p. 148-166.
- MAMROT, 2013. *Évaluation de performance des ouvrages d'assainissement des eaux pour l'année 2012*. Gouvernement du Québec, ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire. En ligne [[http://www.mamot.gouv.qc.ca/pub/infrastructures/suivi\\_ouvrages\\_assainissement\\_eaux/eval\\_perform\\_rapport\\_2012.pdf](http://www.mamot.gouv.qc.ca/pub/infrastructures/suivi_ouvrages_assainissement_eaux/eval_perform_rapport_2012.pdf)].
- MDDELCC, 2014. *Le Réseau-rivières d'hier à aujourd'hui*. Gouvernement du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-70698-4 (PDF), 15 p., 1 ann. En ligne [<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/reseau-rivieres-hier-aujourd.pdf>].
- MDDELCC, 2015a. *Critères de qualité de l'eau de surface*. Gouvernement du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement. En ligne [[http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres\\_eau/index.asp](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp)].
- MDDELCC, 2015b. Banque de données hydriques, Direction de l'expertise hydrique, Division de l'hydrométrie.
- MDDELCC, 2015c. Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA), Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement.
- Ministère de l'Environnement (2003). Synthèse des informations environnementales disponibles en matière agricole au Québec. Direction des politiques du secteur agricole, ministère de l'Environnement, Québec, Envirodoq ENV/2003/0025, 143 pages.
- Meals, D.W., S.A. Dressing et T.E. Davenport, 2010. "Lag Time in Water Quality Response to Best Management Practices: A Review", *Journal of Environmental Quality*, vol. 39, n° 1, p. 85-96.

Reid, L.M., 1998. "Cumulative Watershed Effects and Watershed Analysis", dans *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. R.J. Naiman et R.E. Bilby (editors). Springer-Verlag, New York, N.Y., p. 476–501. Scherer, R., 2011. "Cumulative Effects: A Primer for Watershed Managers", *Streamline Watershed Management Bulletin*, vol. 14, n° 2, p. 14-20.

Robitaille, P., 2000. Qualité des eaux du bassin de la rivière Etchemin, 1979-1999, Direction du suivi de l'état de l'environnement, secteur milieu aquatique, Envirodoq n° ENV2001-051, rapport n° QE-125· 22 p., 7 annexes.

Scherer, R., 2011. Cumulative Effects: A Primer for Watershed Managers. *Streamline Watershed Management Bulletin*, 14(2): 14-20.

Système d'information écoforestière (SIEF) du Québec, 2012, Données numériques écoforestières du Québec, Direction des inventaires forestières, Ministères des ressources naturelles et de la Faune du Québec.

USGS, 2015. *EGRET: Exploration and Graphics for RivEr Trend*. U.S. Geological Survey (USGS), United States Department of Interior. En ligne [<https://github.com/USGS-R/EGRET/wiki>].

**Développement durable,  
Environnement et Lutte  
contre les changements  
climatiques**

**Québec** 