Communauté métropolitaine de Québec

ÉTAT DE LA SITUATION DU BASSIN VERSANT DE LA PRISE D'EAU DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES

Plan d'action 2014 pour la mise en œuvre des recommandations





N/Réf.: 056692.002-100

5 juin 2014—Version finale

ROCHE

Communauté métropolitaine de Québec

Plan d'action 2014 pour la mise en œuvre des recommandations

N/Réf. : 056692.002-100 – Version finale

État de la situation du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles

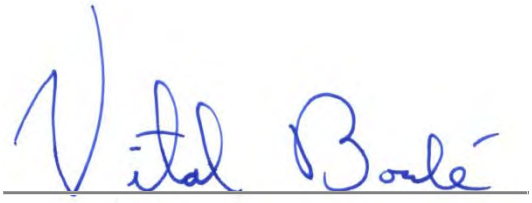
5 juin 2014

AVIS : Le présent document est encadré par la Loi sur le droit d'auteur et Roche ltée, Groupe-conseil en est le titulaire. Toute reproduction, production qui s'en inspire ou quelque contrefaçon que ce soit est donc formellement interdite. Ce document demeure la propriété de Roche et, cette dernière, est la seule à pouvoir autoriser de façon écrite, la reproduction du présent document. Le contenu de ce dernier, dans son ensemble, est par ailleurs limité et réservé aux fins qu'il poursuit et qui y sont mentionnées.

Équipe de travail

Roche Ltée Groupe-Conseil

Vital Boulé, M.Sc.	*Biologiste*, Spécialiste en gestion intégrée par bassin versant Gestionnaire Environnement, Pôle Centre Directeur de projet
Catherine Vallières, M.Sc.	*Biologiste*, Spécialiste de la qualité de l'eau
Pierre Jobin, ing.	*Ingénieur civil*, Spécialiste en assainissement des eaux
Christine Sauvageau, ing.	*Ingénieure chimiste*, Spécialiste en traitement de l'eau potable
Véronique Trudeau, M.Sc.	*Biologiste,* Spécialiste en qualité de l'eau
Nadine Pagé	*Adjointe administrative*



Vital Boulé, M.Sc. Gestionnaire Environnement, Pôle Centre

Directeur de projet

Table des matières

Équipe de travail i

Liste des tableaux v

Liste des figures v

Liste des cartes v

Liste des cartes en pochette vi

Liste des annexes vi

1 Contexte et portée du mandat 1

2 Introduction et justification du plan d'action 3

3 Cadre bâti existant 13

3.1 État de la situation de la qualité de l'eau 13

3.2 Plan d'action 16

3.2.1 Gestion des eaux sanitaires et contrôle des éléments nutritifs 16

3.2.2 Aménagement du territoire et conservation de la ressource en eau 22

3.2.2.1 Conservation des boisés et milieux humides 22

3.2.2.2 Contrôle des émissions de contaminants organiques et inorganiques des sites industriels et commerciaux à proximité de la prise d'eau 24

3.2.3 Contrôle du transport d'éléments nutritifs vers les lacs 24

3.2.3.1 Contrôle du relargage de phosphore des sédiments de lacs 28

3.2.4 Contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire 29

3.2.5 Communication, éducation et sensibilisation 32

3.2.6 Formation 33

3.2.7 Ressources 33

4 Futurs projets de développement 35

4.1 État de la situation de l'occupation du sol et de l'évolution du cadre bâti 35

4.2 Plan d'action 42

4.2.1 Aménagement du territoire et conservation de la ressource en eau 42

4.2.2 Contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire 43

4.2.3 Contrôle du transport d'éléments nutritifs vers les lacs 43

4.2.4 Communication, éducation et sensibilisation 44

5 Acquisition de connaissances sur le milieu et suivi environnemental 45

6 Mise en œuvre 49

6.1 Types et mécanismes de coordination 49

6.2 Financement durable des mesures 50

6.3 Gestion de projet et suivi 51

7 Conclusion 53

8 Références 55

Liste des tableaux

Tableau 2.1 Couverture forestière et coûts prédits de traitement de l'eau potable basés sur 27 systèmes de traitement de l'eau potable aux États-Unis 4

Tableau 3.1 Temps de contact (CT) pour l'ozone en fonction de la température pour l'élimination des cyanotoxines (pH supérieur à 6,0) 22

Tableau 4.1 Terrain vacants résidentiels en 2013 dans le bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles 37

Tableau 4.2 Espaces vacants constructibles dans le bassin de la prise d'eau de la rivière St-Charles, potentiels d'accueil en logements et prévisions des ménages 2014-2026 pour l'ensemble du territoire des municipalités concernées 38

Tableau 4.3 Évolution du cadre bâti et de l'occupation du sol dans le bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles 41

Liste des figures

Figure 2.1 Plan d'action 2014 pour la mise en œuvre des recommandations dans le cadre bâti existant 7

Figure 2.2 Plan d'action 2014 pour la mise en œuvre des recommandations pour les développements futurs 9

Figure 2.3 Programme d'acquisition de connaissances sur le milieu et suivi environnemental 11

Figure 4.1 Relation entre le pourcentage de couverture imperméable d'un bassin versant et les charges annuelles de phosphore en lb/acre 36

Figure 4.2 Relation entre le pourcentage de couverture imperméable d'un bassin versant et la qualité de l'eau 36

Liste des cartes

Carte 4 Inventaire des terrains vacants résidentiels 2013 dans le bassin versant de prise d'eau de la Rivière Saint-Charles 39

Liste des cartes en pochette

Carte 1 Zones prioritaires d'intervention pour le contrôle des sources de contaminants

Carte 2 Zones de susceptibilité à l'érosion et au transport sédimentaire

Carte 3 Zones propices à la mobilité du phosphore

Liste des annexes

Annexe 1 Principaux constats de l'étude de Roche (2010)

Annexe 2 Évolution temporelle de la qualité de l'eau brute prélevée par l'UTE de la rivière Saint-Charles (Château d'eau) entre 2009 et 2013

Annexe 3 Évolution spatiale et temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Saint-Charles entre 2000 et 2013 (à la hauteur de l'exutoire du lac Saint-Charles et du boulevard Bastien)

1 Contexte et portée du mandat

En 2010, la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) a commandé une étude indépendante visant à dresser l'état de la situation du bassin versant de la prise d'eau et à formuler des mesures de protection de la ressource en eau. Le rapport qui a été réalisé par Roche ltée, Groupe-conseil (ci-après Roche) avec la collaboration des municipalités et des autres acteurs du bassin versant (APEL, OBV de la Capitale), a été complété en janvier 2010. Il présentait un état de la situation du bassin versant de la prise d'eau, un diagnostic ainsi que des recommandations spécifiques pour protéger la ressource en eau potable. Il présentait également une analyse et des recommandations liées au cadre réglementaire applicable ainsi qu'à la protection et à la gestion des eaux dans le bassin versant. Les principaux constats de cette étude sont présentés à l'annexe 1 et les recommandations du rapport étaient regroupées comme suit :

- Mesures de gestion des eaux sanitaires;
- Mesures d'aménagement du territoire;
- Mesures de gestion de l'eau de ruissellement;
- Contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire;
- Conservation de la ressource en eau;
- Suivi des mesures en place, éducation et sensibilisation du public;
- Acquisition de connaissances sur le milieu et suivi environnemental.

Suite à ce rapport, la CMQ a commandé des études complémentaires visant à développer un cadre réglementaire normatif afin de protéger la prise d'eau et de mieux encadrer les développements futurs dans le bassin versant de celle-ci. Ces études ont servi de base à l'élaboration d'un règlement de contrôle intérimaire (RCI), lequel est entré en vigueur le 8 novembre 2010. Le RCI comprend, entre autres, des dispositions pour toutes constructions situées dans une plaine inondable, une rive, un littoral, un milieu humide ou un secteur de fortes pentes. Des normes particulières, notamment applicables à l'abattage d'arbres en milieu résidentiel ou relatives à des opérations forestières de nature commerciale, sont également spécifiées. Le règlement permet aussi l'implantation de fosses septiques sous certaines conditions.

Afin de faciliter la mise en œuvre des recommandations du rapport de Roche (2010), un plan d'action (Roche, 2011) a été élaboré à la demande de la CMQ. Il reprenait l'ensemble des recommandations du rapport de Roche (2010) tout en tenant compte des mesures déjà mises en place dans le RCI. Le présent rapport vise à actualiser ce plan d'action sur la base de plus de 3 ans d'application du RCI et de nouvelles informations maintenant disponibles sur la qualité de l'eau et l'occupation du sol dans le bassin versant de la prise d'eau. Le mandat confié à Roche par la CMQ vise à actualiser le plan d'action par rapport à la capacité du bassin versant à produire une eau brute de qualité à la prise d'eau de l'UTE de Québec.

Les tâches qui ont été réalisées pour actualiser et bonifier le plan d'action sont les suivantes :

- Actualiser l'état de la situation de la qualité de l'eau à la prise d'eau sur la base des données disponibles;
- Actualiser l'état de la situation de l'occupation du sol et de l'évolution du cadre bâti dans le bassin versant de la prise d'eau;
- Vérifier s'il y a eu une amélioration ou une détérioration statistiquement significative de la qualité de l'eau en réalisant l'analyse des données de qualité de l'eau brute récoltées à l'UTE de Québec (entre septembre 2008 et mars 2014);
- Réaliser l'analyse des données du suivi mensuel de la qualité de l'eau du Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte aux changements climatiques (MDDELCC) récoltées à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien, afin de vérifier s'il y a eu, entre ces deux stations, une amélioration ou une détérioration statistiquement significative de la qualité de l'eau;
- Prendre connaissance des rapports sur l'état des connaissances sur la santé des plans d'eau (diagnoses), notamment celles concernant les lacs Saint-Charles et Clément en 2012 (APEL, 2014 et 2013);
- Réaliser une analyse spatiale du territoire à l'aide d'un système d'information géographique et des couches d'informations maintenant disponibles sur le milieu afin de produire des cartes positionnant des zones d'intervention (zone proximale d'intervention, zones de forte susceptibilité à l'érosion et au transport sédimentaire, zones propices à la mobilité du phosphore);
- Réaliser des rencontres avec les municipalités du bassin versant de la prise d'eau afin de prendre en compte les mesures et interventions réalisées au cours des dernières années;
- Restructurer le contenu du plan d'action en vue de le rendre plus opérationnel et de distinguer les mesures et interventions propres au cadre bâti existant de celles qui sont associées aux développements futurs;
- Établir un calendrier de mise en œuvre.

2 Introduction et justification du plan d'action

Les bassins versant de la rivière Saint-Charles, de la rivière Nelson et de la rivière Jaune alimentent l'usine de traitement de l'eau potable de Québec (UTE de Québec). L'UTE de Québec fournit 55 % des 100 millions de mètres cubes d'eau traitée par la Ville de Québec chaque année. Si on considère la population susceptible d'être desservie (totalement et partiellement) par l'UTE de Québec, en tenant compte des interconnexions sur le réseau d'aqueduc, ce chiffre s'élève à près de 300 000 personnes en 2014[1]. La prise d'eau brute de l'usine est située dans la rivière Saint-Charles à 11 km (5,5 km à vol d'oiseau) à l'aval de l'exutoire du lac Saint-Charles et la superficie du bassin versant à la hauteur de la prise d'eau est de 344 km².

La qualité de l'eau brute qui y est prélevée, satisfait présentement aux exigences de traitement de l'eau potable, ce qui est en grande partie lié à la capacité naturelle de filtration de son bassin versant où le milieu forestier occupe 74 % de la superficie. Les résultats indiquent clairement qu'il y a une variabilité saisonnière récurrente de la qualité de l'eau brute à la prise d'eau, mais qu'il n'y a pas eu de détérioration ou d'amélioration statistiquement significative de la qualité de l'eau à la prise d'eau entre janvier 2009 et décembre 2013.

Toutefois, pour certains paramètres, les variations actuelles de la qualité de l'eau représentent des contraintes à l'opération de l'usine de traitement de l'eau potable. Ainsi, dans la portion aval du bassin versant, la qualité de l'eau de certains affluents de la prise d'eau montre des signes de dégradation qui justifient des actions pour assurer la pérennité de la prise d'eau. La détérioration la plus marquée de la qualité de l'eau alimentant la prise d'eau est observée principalement entre l'exutoire du lac et la prise d'eau ainsi que dans la portion aval des bassins versants de la rivière Nelson et de la rivière Jaune. En aval du barrage du lac Saint-Charles, la qualité de l'eau de la rivière Saint-Charles se détériore en grande partie due à la présence du milieu urbain (cadre bâti existant) ainsi qu'aux apports du réseau pluvial et des tributaires de la rivière Saint-Charles.

En général, la pérennité de la qualité de l'eau d'une prise d'eau potable est fragile et intimement liée à la conservation des milieux naturels de son bassin versant ainsi qu'au contrôle à la source des contaminants. Il est démontré que la conservation des milieux naturels est la meilleure stratégie pour préserver une eau de bonne qualité et pour maintenir le coût de traitement de l'eau potable à un niveau raisonnable (tableau 2.1). Par exemple, certaines villes des États-Unis comme celle de Portland, Maine, bénéficient d'une exclusion de filtration de l'eau potable en raison des services de filtration et d'épuration procurés par les milieux naturels. Le milieu forestier représente 81.5% de la superficie totale du bassin versant du lac Sébago qui alimente en eau potable, une population de 200 000 personnes. Ces services

[1] Source : Service de l'ingénierie de la Ville de Québec. Section planification et développement.

représentent une économie de 20 à 50 millions en coûts de capitaux pour la construction d'une usine de filtration.

Tableau 2.1 Couverture forestière et coûts prédits de traitement de l'eau potable basés sur 27 systèmes de traitement de l'eau potable aux États-Unis

Couverture forestière du bassin versant (%)	Coût du traitement de 3 785 m^3 d'eau potable (US$)	Coût annuel moyen du traitement (US$)	Augmentation des coûts (%) par rapport à une couverture forestière de 60%
60	37	297 110	-
50	46	369 380	24
40	58	465 740	57
30	73	586 190	97
20	93	746 790	151
10	115	923 450	211

Source : Traduit de Postel et Thompson (2005).

Note : Coûts basés sur le traitement de 83 270 m^3 par jour, la production moyenne journalière des systèmes de traitement d'eau potable sondés.

La protection d'un bassin versant est la stratégie la moins coûteuse et la plus susceptible de produire des résultats positifs comparativement à la réhabilitation du milieu naturel qui est coûteuse et dont les résultats ne sont pas garantis. La protection des composantes saines d'un bassin versant fournit une base solide sur laquelle appuyer le futur travail de réhabilitation (McGurrin et Forsgren, 1997). De plus, toute mesure qui permet de prévenir la contamination des eaux de surface et des aquifères est préférable aux mesures correctives qui sont souvent onéreuses et peu efficaces, une fois les contaminants dispersés dans le milieu aquatique (Wetzel, 2001; MDDEP, 2010). En effet, lorsque l'apport de polluants dans le milieu aquatique a cessé ou qu'il a été réduit, on ne peut compter que sur le renouvellement naturel de l'eau pour diluer les contaminants jusqu'à des niveaux acceptables.

Peu importe le positionnement des sources de contaminants dans le bassin versant alimentant la prise d'eau, certains constats importants permettent d'orienter le choix des zones d'intervention. Bien que ce constat puisse apparaître évident à première vue, pour qu'un contaminant soit transporté par le réseau hydrique et atteigne la prise d'eau en concentration suffisante pour représenter une contrainte au traitement de l'eau, il faut que sa source soit située à proximité de la prise d'eau et qu'il existe un lien hydraulique permanent ou temporaire entre la source et le réseau hydrique. De cette façon, le contaminant n'a pas le temps d'être dilué significativement avant d'atteindre la prise d'eau. Le lien hydraulique peut être permanent lorsque la source de contaminants se trouve à l'intérieur d'un aquifère, d'une plaine d'inondable ou d'un plan d'eau. Il peut aussi être temporaire lorsque le niveau de l'aquifère monte jusqu'à la source, dans des sols mal drainés où lorsque la source est inondée périodiquement par des eaux de ruissellement ou par des cours d'eau qui empruntent les chemins préférentiels d'écoulement (ruisseaux, fossés, sentiers, chemins forestiers, dépressions, etc.).

Puisque la colonisation et l'occupation du territoire ont historiquement débuté dans les fonds de vallée, la portion aval du bassin versant et, en particulier les rives des lacs et des cours d'eau sont déjà en partie développées. C'est dans cette zone qu'on observe la majeure partie des activités ou occupations du sol qui entre en conflit avec les objectifs de protection d'une source d'eau brute destinée à l'approvisionnement en eau potable. C'est le cas, entre autres, de sites contaminés, de cimetières d'automobiles, des sites d'enfouissement sanitaires, d'ateliers de réparation mécaniques, de stations-services et de terrains de golf.

C'est pourquoi une zone proximale d'intervention a été définie dans la portion aval du bassin versant de la prise d'eau. Il s'agit là d'une zone circonscrite et accessible qui se trouve à proximité de la prise d'eau et où il y a un risque plus élevé de contamination de la prise d'eau. Par exemple, un déversement accidentel ou une fuite de produits pétroliers dans la rivière Nelson, dans la portion aval de la rivière Jaune ou dans la rivière Saint-Charles à l'aval de l'exutoire du lac Saint-Charles atteindrait rapidement la prise d'eau et pourrait avoir des conséquences sur la qualité de l'eau à la prise d'eau. Des plans d'interventions spécifiques ainsi que de l'équipement de confinement et de récupération doivent être disponibles à proximité de la prise d'eau et du personnel formé et prêt à intervenir. Le plan d'action comprend des objectifs et des objectifs spécifiques. Pour chaque objectif un certain nombre d'actions et un calendrier sont proposés. La figure 2.1 illustre les actions à prévoir dans le cadre bâti existant et ces actions sont regroupées en cinq volets :

- Gestion des eaux sanitaires et contrôle des éléments nutritifs;
- Contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire;
- Aménagement du territoire et conservation de la ressource en eau;
- Contrôle du transport d'éléments nutritifs vers les lacs;
- Communication, éducation et sensibilisation.

La mise en œuvre de certaines de ces actions de façon concomitante est susceptible d'avoir un effet synergique qui produira des impacts positifs plus significatifs que si les mesures sont appliquées l'une après l'autre. C'est le cas, par exemple, du phosphore où l'on obtiendrait des réductions plus importantes des charges et des probabilités de floraison de cyanobactéries en contrôlant à la fois les sources ponctuelles (gestion des eaux sanitaires) et diffuses (contrôle du transport sédimentaire, gestion des eaux de ruissellement) de phosphore.

Bien que le processus de vieillissement du lac Saint-Charles n'affecte pas présentement la qualité de l'eau brute à la prise d'eau, les résultats de qualité de l'eau et de suivi des algues et des plantes aquatiques dans le lac Saint-Charles justifient, par mesure de précaution, de contrôler les apports d'éléments nutritifs et le transport sédimentaire vers le lac. Ceci afin de retarder le processus d'eutrophisation du lac, puisqu'il s'agit d'un processus difficilement réversible. Les contaminants, comme le phosphore, qui s'accumulent dans les sédiments du lac Saint-Charles et les autres plans d'eau peuvent, dans certains conditions, être remis en solution dans la colonne d'eau et contribuer à fertiliser le

lac pour les années à venir. Bien que les cyanobactéries fassent partie de la flore phytoplanctonique normale des plans d'eau, si ces organismes sont présents en grande concentration dans l'eau, il faut alors s'assurer de les retirer adéquatement et d'éliminer leurs toxines dissoutes dans l'eau afin de produire une eau potable saine. Le lac Saint-Charles constitue la principale source d'eau de bonne qualité alimentant la prise d'eau et particulièrement en période d'étiage. Le lac fournit annuellement plus de 40 % des apports d'eau à la prise d'eau et sa contribution mensuelle peut atteindre plus de 60 % en période d'étiage (Roche, 2010). C'est pourquoi le plan d'action privilégie des mesures préventives afin de contrôler à la source, les apports d'éléments nutritifs et le transport sédimentaire vers les lacs.

La forte topographie, l'abondance des précipitations et la mince couche de sol présente en certains endroits du bassin versant justifient que l'on prenne des précautions particulières d'aménagement du territoire dans le bassin versant de la prise d'eau. Ces caractéristiques font en sorte que les contaminants émis dans le bassin versant sont transportés plus rapidement vers le réseau hydrique que dans un bassin versant où de telles conditions sont absentes. Comme le potentiel de développement des périmètres d'urbanisation dans le bassin versant de la prise d'eau est seulement comblé à moitié, il importe d'adopter une planification de l'aménagement du territoire qui est propre au contexte d'un bassin versant d'une prise d'eau potable. Pour ce faire, il faut effectuer une analyse rigoureuse des futurs développements (positionnement, envergure, densité, pourcentage de superficies imperméables et type d'occupation du sol permissible dans chaque sous-bassin versant). Pour s'assurer que les futurs développements ne viennent pas contribuer à affecter la pérennité de la prise d'eau, la figure 2.2 présente les actions à mettre en oeuvre dans les secteurs visés par des développements futurs afin de contrôler le rythme de dégradation de la qualité de l'eau dans le bassin versant de la prise d'eau.

La mise en œuvre du plan d'action est finalement supportée par un volet d'acquisition de connaissances sur le milieu et de suivi environnemental (figure 2.3). Le plan fournit plusieurs recommandations spécifiques visant à consolider et améliorer les programmes de suivi réalisés par l'APEL, le MDDELCC et les municipalités dans le bassin versant de la prise d'eau. Il est essentiel de s'engager rapidement dans ce processus de consolidation et d'amélioration du programme afin de pouvoir mieux exploiter les données récoltées et mieux cibler les sous-bassins où des interventions correctives auraient le plus d'impact sur les contaminants influençant l'efficacité de traitement de l'eau.

En attendant que ce programme produise des résultats, il faut mettre de l'avant les mesures propres au cadre bâti existant en déployant des efforts importants dans la portion aval du bassin versant, sans négliger les autres secteurs du bassin pour ralentir le rythme d'eutrophisation des lacs. Il est recommandé de commencer par les mesures qui sont le plus susceptibles de produire rapidement des diminutions de charges de contaminants importantes à la hauteur de la prise d'eau. Par rapport aux contaminants influençant le plus l'efficacité de traitement de l'eau, il faut cibler les sous-bassins versants où les problèmes de qualité de l'eau sont aigus et où le potentiel de récupération des usages de l'eau est élevé.

Figure 2.1 Plan d'action 2014 pour la mise en œuvre des recommandations dans le cadre bâti existant

Objectif	Objectif spécifique	Numéro de l'action	Action	Carte			Calendrier (année)										
				Carte 1	Carte 2	Carte 3	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Cadre bâti existant																	
			Gestion des eaux sanitaires et contrôle des éléments nutritifs														
Prévenir et contrôler les émissions de contaminants atteignant la prise d'eau	Diminuer les apports de coliformes fécaux et autres contaminants bactériologiques à la prise d'eau		Poursuivre la séparation des branchements croisés entre les réseaux d'égouts sanitaires et pluviaux	■		■	■	■	■								
			Réduire la fréquence et les volumes d'eaux usées pompées des réseaux d'égouts sanitaires vers les pluviaux	■		■	■	■	■								
			Poursuivre les efforts de mise aux normes des installations septiques autonomes	■		■	■	■	■								
			Corriger les autres sources diffuses de contamination bactériologique (agricoles, urbaines, canards)	■		■			■	■	■						
			Mettre en place des plans d'aménagement d'ensemble (PAE) par sous-bassin versant, en considérant les caractéristiques du sous-bassin et la capacité de support du milieu														
	Réduire les apports de matières en suspension à la prise d'eau		Améliorer les programmes de nettoyage du réseau routier	■	■	■	■	■									
			Mettre en place un programme systématique et régulier d'entretien et de réaménagement des fossés problématiques selon les bonnes pratiques actuelles	■	■	■	■	■	■	■							
			Reconsidérer l'étendue des périmètres d'urbanisation en fonction de la capacité de support du milieu		■		■	■	■	■	■						
			Renaturaliser les rives et les zones dénudées des secteurs des zones de forte sensibilité à l'érosion		■				■	■	■	■	■	■			
			Contrôler les émissions de contaminants des zones agricoles problématiques	■	■	■			■	■							
			Mettre en place et appliquer un programme de foresterie urbaine dans le but de renaturaliser une partie des espaces urbains dans les zones à proximité du réseau hydrique	■	■	■				■	■	■	■	■	■	■	■
			Renforcer le plan de mesures d'urgence et d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures ou d'autres matières dangereuses en amont de la prise d'eau	■			■	■									
			Délimiter un périmètre de protection intérimaire autour de la prise d'eau	■			■	■									
			Effectuer des audits ciblés des installations problématiques (stations services, ateliers mécaniques, golfs, dépotoirs, etc.) visant à prévenir les risques d'émissions de contaminants vers le réseau hydrique	■					■	■	■						
			Considérer la relocalisation graduelle de ces activités à l'extérieur de la zone proximale d'intervention (zone jaune)	■						■	■	■	■				
Préserver la qualité de l'eau du lac Saint-Charles et des autres lacs et ralentir le processus d'eutrophisation			**Contrôle du transport d'éléments nutritifs vers les lacs**														
	Diminuer les apports d'éléments nutritifs (phosphore, azote) vers les lacs		Contrôler les émissions des terrains de golf en améliorant les plans de gestion des fertilisants et des pesticides (exemple du programme Audubon)	■		■	■	■	■								
			Contrôler les émissions de fertilisants et de pesticides en milieu résidentiel à proximité du réseau hydrique			■	■	■	■								
			Réduire les rejets de phosphore provenant des stations d'épuration de Lac-Delage et de Stoneham par l'ajout d'un traitement tertiaire	■		■	■	■	■								
			Poursuivre les efforts de mise aux normes des installations septiques autonomes et évaluer les opportunités de raccorder les installations septiques des zones de forte mobilité des contaminants à des réseaux d'égouts sanitaires, des réseaux collectifs autonomes ou des réseaux mixtes	■		■	■	■	■								
Sensibiliser les acteurs			**Communication, éducation et sensibilisation**														
	S'assurer que les objectifs du plan d'action et que les mesures de mise en œuvre sont bien compris de tous		Mise en place et activités de la structure de coordination de la CMQ				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			Initier des discussions avec les autorités provinciales et fédérales afin d'identifier des mécanismes, programmes et sources de financement pour contrôler les sources de contaminants industrielles et commerciales				■	■									
			Sensibiliser les résidents sur les impacts de leurs activités sur la qualité de l'eau				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			Sensibiliser les entrepreneurs sur les bonnes pratiques de chantiers pour protéger la ressource en eau				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			Sensibiliser les inspecteurs et les employés municipaux aux bonnes pratiques et au cadre réglementaire applicable à la protection de la ressource en eau				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			Sensibiliser les écoles sur l'importance et la fragilité de la ressource en eau et comment la protéger				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figure 2.2 Plan d'action 2014 pour la mise en œuvre des recommandations pour les développements futurs

Objectif	Objectif spécifique	Numéro de l'action	Action	Carte			Calendrier (année)										
				Carte 1	Carte 2	Carte 3	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Développement futurs																	
			Aménagement du territoire et conservation de la ressource en eau														
Prévenir les émissions de contaminants dans les secteurs visés par de nouveaux développements	Diminuer les apports d'éléments nutritifs (phosphore, azote) vers les lacs		Favoriser l'amélioration continue du cadre réglementaire applicable à la protection de la ressource en eau et le renforcer au besoin														
			Programme de conservation et d'acquisition des milieux naturels existants (ex. trames verte et bleu métropolitaines)														
			Prévenir l'installation d'activités non compatibles par l'instauration d'un périmètre de protection autour de la prise d'eau														
			Renforcer l'application des plans de gestion des eaux de ruissellement dans les nouveaux chantiers														
			Mettre en place des plans d'aménagement d'ensemble (PAE) par sous-bassin versant, en considérant les caractéristiques du sous-bassin et la capacité de support du milieu														
			Favoriser le branchement au réseau d'égout sanitaire, à des réseaux collectifs autonomes ou des réseaux mixtes pour les nouveaux développements														
			Réaliser une étude coûts-bénéfices afin de déterminer les bénéfices liés au développement du bassin versus les coûts de traitement de l'eau et des pertes de fonctions et services écologiques fournis par les milieux naturels														
			Reconsidérer l'étendue des périmètres d'urbanisation en fonction de la capacité de support du milieu														
			Contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire														
	Réduire les apports de matières en suspension à la prise d'eau		Appliquer aux nouveaux développements, le programme de nettoyage du réseau routier														
			Appliquer le programme d'entretien des fossés aux nouveaux développements														
			Renaturaliser les rives et les zones temporairement exposées à l'érosion lors des chantiers de construction														
			Appliquer le programme de foresterie urbaine aux nouveaux développements dans le but de renaturaliser une partie des espaces urbains														
Préserver la qualité de l'eau du lac Saint-Charles et des autres lacs et en rallentir le processus d'eutrophisation			**Contrôle du transport d'éléments nutritifs vers les lacs**														
	Diminuer les apports d'éléments nutritifs (phosphore, azote) vers les lacs		Contrôler les émissions de fertilisants et de pesticides en milieu résidentiel à proximité du réseau hydrique														
			Contrôler l'installation de fosses septiques dans les zones de forte mobilité du phosphore														
Sensibiliser les acteurs			**Communication, éducation et sensibilisation**														
	S'assurer que les objectifs du plan d'action et que les mesures de mise en œuvre sont bien compris de tous		Mise en place et activités de la structure de coordination de la CMQ														
			Sensibiliser les résidents sur les impacts de leurs activités sur la qualité de l'eau														
			Sensibiliser les entrepreneurs sur les bonnes pratiques de chantiers pour protéger la ressource en eau														
			Sensibiliser les inspecteurs et les employés municipaux aux bonnes pratiques et au cadre réglementaire applicable à la protection de la ressource en eau														
			Sensibiliser les écoles sur l'importance et la fragilité de la ressource en eau et comment la protéger														

Figure 2.3 Programme d'acquisition de connaissances sur le milieu et suivi environnemental

Objectif	Objectif spécifique	Numéro de l'action	Action	Carte			Calendrier (année)										
				Carte 1	Carte 2	Carte 3	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Acquisition de connaissance sur le milieu et suivi environnemental																	
Orienter les interventions par l'acquisition et l'interprétation des connaissances sur le milieu	Évaluer les charges mensuelles de contaminants provenant des trois principaux affluents de la prise d'eau (rivières Saint-Charles, Nelson et Jaune) Cerner les sous-bassins versants qui contribuent le plus aux apports de contaminants Détecter rapidement l'apparition de nouvelles problématiques de contamination de l'eau Évaluer l'efficacité des mesures mises en place pour protéger la qualité de l'eau Suivre l'évolution temporelle et spatiale de la qualité de l'eau des rivières du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles		Mettre en place un cadre systématique et homogène de suivi de la qualité de l'eau à l'ensemble du bassin de la prise d'eau pour guider la mise en œuvre des interventions et en suivre l'efficacité dans le temps	■	■	■	■	■									
			Consolider et proursuivre le programme de suivi de la qualité de l'eau mis en place à l'échelle du bassin versant de la prise d'eau	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			Réaliser une consolidation des données recueillies jusqu'à maintenant dans le bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles afin de pouvoir mieux les exploiter et d'obtenir une mesure quantitative plus détaillée de la variabilité spatiale et temporelle;				■	■									
			Consolider les efforts d'acquitisition de données par les différents acteurs du bassin versant;				■	■									
			Homogénéiser les méthodes d'analyses (reconnues par le CEAEQ) et les limites de détection à l'ensemble du programme de suivi de la qualité de l'eau du bassin versant afin de pouvoir mieux exploiter les données recueillies;				■	■									
			Mettre en place des plans d'aménagement d'ensemble (PAE) par sous-bassin versant, en considérant les caractéristiques du sous-bassin et la capacité de support du milieu				■	■									
			Évaluer à partir des données récoltées jusqu'à présent les charges de contaminants provenant des trois principaux affluents de la prise d'eau et cibler ensuite les sous-bassins versants prioritaires	■	■	■	■	■	■								
			Cartographier plus précisément les zones de fortes mobilité du phosphore afin de mieux guider l'implantation de fosses septiques, des systèmes d'assainissement collectifs et des systèmes mixtes d'assainissement			■	■	■	■								
			Reconsidérer l'étendue des périmètres d'urbanisation en fonction de la capacité de support du milieu	■				■	■	■							
			Évaluer les coefficients d'exportation de contaminants/ha dans des sous-bassins présentant des densités et occupations du sol diverses	■	■	■	■	■	■								
			Identifier les chemins d'écoulement préférentiels des eaux (fossés, drains, chemins d'accès, chemins forestiers, lignes de transport d'énergie, etc.)	■	■	■		■	■	■							
			Mieux comprendre les conditions qui mènent à l'apparition de fleurs d'eau de cyanobactéries dans le lac Saint-Charles			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

3 Cadre bâti existant

3.1 État de la situation de la qualité de l'eau

À la prise d'eau de la rivière Saint-Charles, des mesures de la qualité de l'eau sont effectuées plusieurs fois par semaine, voire quotidiennement. Certains paramètres (absorbance, turbidité, pH, température, couleur, coliformes fécaux et totaux) sont mesurés plus fréquemment que d'autres (alcalinité, nutriments, métaux, ions, conductivité; annexe 2). Ces données sont récoltées à une fréquence suffisante pour déterminer s'il y a une détérioration statistiquement significative de la qualité de l'eau à la prise d'eau à travers le temps. Les données disponibles couvrent la période de septembre 2008 à mars 2014. Les résultats indiquent clairement qu'il y a une variabilité saisonnière récurrente, mais qu'il n'y a pas eu de détérioration ou d'amélioration statistiquement significative de la qualité de l'eau à la prise d'eau entre janvier 2009 et décembre 2013 (annexe 2).

Comme la qualité de l'eau est une entité fortement variable dans le temps, il est nécessaire de posséder des séries de données adéquates pour détecter s'il existe des tendances à l'amélioration ou la dégradation de celle-ci. Pour ce faire, les données doivent être récoltées à une fréquence permettant de détecter les variations saisonnières et elles doivent couvrir une période temporelle suffisamment longue, soit plusieurs années. Les données de qualité de l'eau récoltées mensuellement par le MDDELCC (2014) à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien permettent d'illustrer l'amplitude des variations saisonnières de la qualité de l'eau ainsi que l'évolution de la qualité de l'eau entre janvier 2000 et décembre 2012 (annexe 3). Pour vérifier s'il y avait des tendances significatives dans le temps, une régression linéaire des données selon les années a été faite.

Dans le temps, on observe un portrait mixte. Les seuls paramètres pour lesquels on peut observer des changements temporels significatifs, mais faibles, sont :

- Les concentrations de carbone organique dissous qui augmentent légèrement entre 2000 et 2013 au boulevard Bastien (R=0,1911; P=0,0258) et à l'exutoire du lac Saint-Charles (R=0,2515; P=0,0029);
- Les concentrations de phosphore total en suspension à l'exutoire du lac Saint-Charles qui diminuent légèrement entre 2000 et 2009 (R=0,2915; P=0,0024). Par la suite, les méthodes d'analyse ont changé et ne permettent pas la comparaison avec les résultats utilisant des méthodes antérieures);
- Les concentrations de nitrites-nitrates au boulevard Bastien qui diminuent légèrement entre 2000 et 2013 (R=0,1973, P=0,0174).

Pour ce qui est des coliformes fécaux, il n'y a pas de tendance statistiquement significative à l'augmentation ou à la diminution à travers le temps (boulevard Bastien (R = 0.0175; P= 0.8357) exutoire du lac St-Charles (R = 0.0358, P = 0.6701). Pour les matières en suspension, la plage de données de 2005 à 2007 ne peut pas être utilisée car les limites de détection analytique utilisées étaient trop élevées.

En ce qui a trait aux variations spatiales, la qualité de l'eau du bassin versant de la prise d'eau montre certains signes de dégradation qui sont surtout mesurés à l'aval de l'exutoire du lac Saint-Charles ainsi que sur certains tributaires de la rivière Saint-Charles. Les données de qualité de l'eau récoltées mensuellement par le MDDELCC (2014) permettent d'illustrer qu'une détérioration spatiale statistiquement significative de la qualité de l'eau survient entre l'exutoire du lac et le boulevard Bastien (annexe 3).

En aval du barrage du lac Saint-Charles, la qualité de l'eau de la rivière Saint-Charles se détériore en grande partie due à la présence du milieu urbain (cadre bâti existant) ainsi qu'aux apports du réseau pluvial et des tributaires de la rivière Saint-Charles. Les ruisseaux des Eaux Fraîches (APEL, 2010b), Savard (APEL, 2012b) et du Valet (APEL, 2011b) ont été identifiés par l'APEL comme étant des sources de contaminants (coliformes fécaux, phosphore total et matières en suspension). Certaines de ces sources de contamination ont pu être corrigées par la Ville de Québec au cours des dernières années, entre autres, en ce qui concerne les branchements croisés.

Le bassin versant de la rivière Nelson, où se jette le ruisseau Savard, comporte la plus faible proportion de milieux naturels. La présence de certaines activités réalisées dans ce bassin versant entre en conflit avec les objectifs de conservation de la ressource en eau. C'est pourquoi l'indice de qualité bactériologique et physicochimique de la rivière Nelson à la confluence avec la rivière Saint-Charles était qualifié de satisfaisant en 2011 (APEL, 2012). L'eau brute prélevée à la prise d'eau est vulnérable aux apports de la rivière Nelson puisque l'exutoire de cette rivière se trouve à moins d'un kilomètre en amont de la prise d'eau, et ce, sans moyen de contrôle des apports de contaminants comme le ferait un réservoir ou un lac. Un contaminant émis dans ce bassin versant est susceptible d'arriver rapidement à la prise d'eau puisque le temps de réponse de la rivière Nelson suite à une averse est court, compte tenu de la faible proportion de milieux naturels présents dans son bassin versant.

Bien que la rivière Jaune présente une plus grande proportion de milieux naturels, la qualité de l'eau de celle-ci se détériore en traversant la municipalité de Lac Beauport et l'arrondissement de Charlesbourg (APEL, 2012, Roche, 2010). L'indice de qualité bactériologique et physicochimique de la rivière Jaune à environ un kilomètre en amont de sa confluence avec la rivière Saint-Charles, et en amont du ruisseau du Valet, était qualifié de satisfaisant en 2011 (APEL, 2012).

Ainsi, la majeure partie des activités ou occupations du sol qui entrent en conflit avec les objectifs de protection de la ressource en eau à la hauteur de la prise d'eau se trouve dans la moitié inférieure de son bassin versant (bassins versants de la rivière Jaune et de la rivière Nelson et bassin versant de la rivière

Saint-Charles entre l'exutoire du lac et la prise d'eau). C'est là aussi qu'est observée une détérioration statistiquement significative de la qualité de l'eau.

Les contaminants et les paramètres physico-chimiques de l'eau qui sont les plus problématiques et qui peuvent représenter des contraintes pour l'opération de l'usine de traitement de l'eau potable sont la turbidité, la qualité microbiologique de l'eau (virus, parasites et bactéries incluant les coliformes fécaux tel que *E. coli*), et la présence occasionnelle de contaminants organiques ou d'azote ammoniacal. D'autres paramètres qui doivent être considérés et suivis pour ajuster les paramètres d'opération de l'UTE sont l'alcalinité, le pH, la teneur en matière organique, dont les principaux indicateurs sont la couleur (vraie et apparente), l'absorbance UV et le carbone organique total et dissous. L'alcalinité et le pH ont un impact sur la coagulation des contaminants dans l'eau brute. Le dosage d'alcali est souvent requis lorsque ces paramètres sont faibles, sinon, la qualité du floc pourrait être compromise et l'étape de clarification. Dans le cas de l'UTE de Québec, le dosage de chaux est souvent requis en période hivernale pour améliorer l'efficacité du traitement. Le dosage de coagulant et de floculant varie en fonction de la concentration en matière organique et de la turbidité. Le dosage des produits chimiques doit être vérifié par l'opérateur de l'usine et l'ajustement des quantités est fait manuellement. De façon générale, les teneurs en matière organique varient selon les saisons et les ajustements de dosage peuvent être réalisés pour des périodes prolongées. Cependant, un paramètre comme la turbidité peut changer de façon brusque lors d'orages ou de crue soudaine. L'opérateur doit alors réagir rapidement pour ajuster les paramètres de fonctionnement de l'usine. L'érosion et du transport sédimentaire peut donc avoir un impact sur l'efficacité de traitement et en particulier sur la phase de coagulation du traitement.

Sur la base des résultats du suivi de qualité de l'eau brute à l'UTE de Québec entre 2008 et 2014, les paramètres pour lesquels sont observés des dépassements des critères pour la prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques) du MDDEFP (2013) sont, par ordre décroissant d'importance : le fer (95 % de dépassement), la température (42 % de dépassement), l'aluminium (31 % de dépassement), l'azote ammoniacal (25 % de dépassement), les coliformes fécaux (5,3 % de dépassement), le manganèse (4,6 % de dépassement), la bactérie *E. coli* (3,3 % de dépassement) et le potassium (0,5 % de dépassement). Une détérioration importante de la qualité microbiologique de l'eau peut avoir un impact significatif sur la capacité de l'usine à respecter les normes de traitement en matière de désinfection. C'est pourquoi un système d'inter-ozonation a été installé en novembre 2010 à l'UTE de Québec dans le but de permettre à l'usine d'atteindre en tout temps les objectifs de réduction des parasites et virus dictés par la qualité d'eau de la rivière.

3.2 Plan d'action

Compte tenu qu'une détérioration statistiquement significative de la qualité de l'eau est observée entre l'exutoire du lac et la prise d'eau, il y a lieu de concentrer une partie des efforts d'intervention dans ce secteur afin de réduire les apports de contaminants provenant des sources présentes dans le cadre bâti existant (carte 1, en pochette). C'est d'ailleurs à l'intérieur de cette zone proximale d'intervention, identifiée en jaune sur la carte 1, que les inondations récentes du 14 et du 15 avril 2014 ont contribué à transporter les contaminants présents à la surface du sol vers la prise d'eau de la rivière Saint-Charles (ex. chemin du Rocher, avenue du Lac Saint-Charles, section aval de la rivière Nelson, avenue Roussin, etc.). C'est dans cette zone en jaune que les constats suivants ont été faits :

- Il s'agit de la zone où est observée la majeure partie de la détérioration de la qualité de l'eau alimentant la prise d'eau;
- Il s'agit d'une zone accessible où l'on retrouve la plus grande concentration d'activités ou d'occupations du sol non-compatibles avec la protection de la ressource en eau de la prise d'eau;
- On y retrouve la majeure partie des sources de contaminants qui sont susceptibles d'avoir un impact direct sur la qualité de l'eau à la prise d'eau;
- Il s'agit de la zone où le potentiel de mobilité des contaminants vers le réseau hydrique et la prise d'eau est le plus grand;
- Il s'agit d'une zone où un déversement accidentel ou une fuite de contaminants aurait le plus de conséquence sur la qualité de l'eau brute à la prise d'eau.

Entre 1970 et 2006, les municipalités du bassin versant de la prise d'eau ont connu une forte croissance de leur population (entre 20 et 783 % selon les municipalités). Entre 2000 et 2008, l'occupation urbaine du bassin versant a augmenté d'environ 14 % avec une augmentation plus marquée au cours des deux dernières années.

Bien que l'application du RCI renforce le cadre réglementaire applicable aux nouveaux projets de développement dans le bassin versant de la prise d'eau, elle ne couvre pas le cadre bâti existant et toutes les mesures de gestion et les bonnes pratiques recommandées dans le rapport de Roche (2010). C'est pourquoi il est important de s'assurer dès maintenant de la mise en œuvre des mesures du plan d'action visant le cadre bâti existant.

3.2.1 Gestion des eaux sanitaires et contrôle des éléments nutritifs

Bien qu'il soit souhaitable de limiter les risques d'exposition à des contaminants chimiques, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et la plupart des pays industrialisés reconnaissent que le risque le plus important pour la santé posé par l'eau potable réside dans la présence de microorganismes pathogènes affectant les sources d'approvisionnement en eau potable (Santé Canada, 2013; Prévost *et al.,* 2006; CCME, 2004). Par conséquent, les mesures de gestion et de contrôle des eaux sanitaires doivent être traitées en priorité par les institutions publiques.

La qualité de l'eau brute échantillonnée à la prise d'eau de la rivière Saint-Charles excède, par moment, les normes bactériologiques provinciales pour les coliformes fécaux (200 UFC / 100 ml[9]; MDDEFP, 2013), soit dans 5 % des cas (annexe 3), et une attention prioritaire doit donc être accordée à ce problème. Le plan d'action 2011 recommandait notamment de poursuivre en priorité la séparation des branchements croisés entre les réseaux d'égout sanitaire et pluvial et d'envisager les opportunités de réduction des surverses du réseau d'égout sanitaire vers le pluvial et d'éliminer les rejets en temps sec. La Ville de Québec a réalisé des travaux en ce sens au cours des dernières années. Des travaux ont notamment été réalisés sur l'ouvrage de surverse qui était le plus problématique. Il s'agit de celui de la rue Jacques-Bédard (se déverse dans la rivière St-Charles) où 33 débordements (388 h) ont été enregistrés entre 2006 et 2013, dont treize (93,4 h) dus à des urgences et 20 (294,6 h) en période de pluie, de fonte des neiges ou à l'automne. Selon les données disponibles sur les surverses d'égout sanitaire entre 2006 à 2013 (Ville de Québec, 2014[10]), les principaux ouvrages de surverse (trop-plein) qui sont toujours problématiques dans ce secteur sont les suivants :

- Glorieux (se déverse dans un étang du golf Lorette qui se draine dans la rivière St-Charles juste en amont de la prise d'eau) : seize débordements (23,1 h), dont neuf (18 h) dus à des urgences, un par temps sec (0,4 h; survenu en 2006) et six (4,7 h) en période de pluie;
- Val-Bélair (se déverse dans la rivière Nelson) : douze débordements (92,3 h), dont dix (67,3 h) dus à des urgences et deux (25 h) en période de pluie;
- Notre-Dame-des-Laurentides (se déverse dans la rivière Jaune) : 20 débordements (177,9 h) dus à des urgences (sur trois ans seulement, soit en 2008, 2011 et 2012).

Aussi, six débordements totalisant 174 h ont eu lieu à l'ouvrage de surverse de la rue Verret en 2009, mais celui-ci n'a pas débordé depuis. Les ouvrages de L'Isère, Hammon et Hibernia ont aussi montré certains débordements, principalement lors d'urgence, parfois par temps de pluie, mais la durée de ceux-ci n'est pas connue. Le positionnement de ces ouvrages de surverse est illustré sur la carte 1. Des postes de pompage sont aussi installés en certains points stratégiques du réseau d'égout sanitaire/combiné afin de prévenir le refoulement d'égout lors d'orages ou de la fonte des neiges (voir carte 1). À l'occasion, des pompes mobiles sont également utilisées. Lors de ces pompages ou des surverses du réseau d'égout sanitaire vers le pluvial, des eaux usées non-traitées sont alors rejetées dans le réseau hydrique afin de protéger les infrastructures. Une dégradation statistiquement significative de la qualité bactériologique des eaux est particulièrement constatée dans la rivière Saint-Charles entre l'exutoire du lac Saint-Charles et le boulevard Bastien (annexe 3). À Stoneham-et-Tewkesbury, étant

[9] Ce critère de qualité est applicable à l'eau brute destinée à l'approvisionnement en eau potable lorsque cette eau fait l'objet d'un traitement par filtration. Il permet d'éviter la mise en place de procédés de traitement supplémentaires. Ce critère de 200 UFC/100 ml (ou 150 bactéries E. coli/100 ml) s'applique à la moyenne arithmétique des échantillons qui doit correspondre à la moyenne mobile la plus élevée des résultats obtenus pendant 12 mois consécutifs, établie à partir d'une période de référence d'au moins 36 mois. (MDDEFP, 2013).

[10] Données fournies par la Division de la qualité de l'eau de la Ville de Québec.

donné que le réseau d'égoût sanitaire est plus récent et surdimensionné par rapport aux besoins de la municipalité, il n'y a pas de problématique de surverse du réseau d'égoût sanitaire dans le réseau pluvial. Le court réseau sanitaire de Lac Beauport est raccordé à celui de la ville de Québec et selon la municipalité, il n'y a pas de problématique connue de surverse.

Les rapports d'évaluation de performance des stations d'épuration des eaux usées disponibles sur le site du ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT) permettent d'évaluer la performance de traitement des eaux usées des usines de Stoneham-et-Tewkesbury et Lac-Delage qui sont rapportées pour les années 2006 à 2012. Sur la base des données présentées dans ces rapports, la performance des deux usines est excellente et rencontre les exigences des objectifs environnementaux de rejet (OER). À Stoneham-et-Tewkesbury, le débit de l'effluent demeure généralement entre 500 et 600 m³/jour. Depuis 2010, de légères augmentations des concentrations (mg/l) de coliformes fécaux, de phosphore total et de MES rejetées dans le réseau hydrique sont constatées. Ces augmentations demeurent tout de même, à l'intérieur de la variabilité normale d'opération du système et les concentrations rejetées sont inférieures aux OER. Un nombre d'heures plus élevé de surverse d'urgence a aussi été observé en 2012. À la station de Lac-Delage, le débit de l'effluent demeure généralement entre 300 et 500 m³/jour. Depuis 2009-2010, on observe aussi une augmentation des concentrations de coliformes fécaux, de phosphore total et de MES rejetées dans le réseau hydrique.

En juillet 2009, le ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs a adopté le *Plan d'intervention sur les algues bleu-vert* qui recommande, entre autres, l'implantation d'équipements qui permettent de réduire les rejets de phosphore dans le milieu récepteur (MDDEP, 2009). Tous les lacs sont visés par la position ministérielle, cependant, le ministère a classé par catégories (lacs prioritaires, préoccupants, sous surveillance et exclus) un nombre limité de lac pour débuter son intervention. Ces lacs incluent ceux qui ont fait l'objet de restrictions d'usage en 2007, 2008 et 2009 en raison d'une émergence de fleurs d'eau d'algues bleu-vert (cyanobactéries), ainsi que ceux dans lesquels des ouvrages d'assainissement municipaux des eaux usées se déversent (directement ou dans le bassin versant en amont du lac). Le lac Saint-Charles a été classé parmi les lacs d'intervention prioritaire, soit des plans d'eau qui ont connu des épisodes importants ou récurrents d'algues bleu-vert ou qui sont jugés très sensibles au phosphore. Ainsi, les stations d'épuration des eaux usées de Stoneham-et-Tewkesbury et de Lac-Delage ont l'obligation de mettre à niveau leurs équipements de déphosphatation pour réduire significativement la charge de phosphore qu'elles déversent en amont du lac Saint-Charles. Ces deux municipalités ont reçu un avis du MDDEP à cet effet en août 2012. La nouvelle exigence de rejet en phosphore pour ces deux usines ($Q > 66,7\ m^3/j$) est de 0,3 mg/l de phosphore. Les municipalités des Cantons Unis de Stoneham-et-Tewkesbury et de Lac-Delage devront se conformer à cette nouvelle exigence de rejet au plus tard le 1er janvier 2017. D'ici là, elles doivent déposer et faire approuver par le MDDELCC un plan d'action ayant fait l'objet d'une résolution municipale concernant la mise en place de ces équipements. Ce plan d'action est requis afin d'obtenir les autorisations nécessaires pour tout projet de prolongement de réseaux d'égout domestique, pseudo-domestique ou unitaire. Selon le procès-verbal

de la séance ordinaire du conseil municipal des Cantons Unis de Stoneham-et-Tewkesbury du 11 mars 2013, le conseil a accepté le plan d'action du 21 janvier 2013 déposé par la firme BPR et s'est engagé à respecter le plan d'action final à être approuvé par le MDDELCC. Dans le cas de la Ville de Lac-Delage, elle s'est engagée lors de l'assemblée extraordinaire tenue le 19 février 2013 à réaliser un plan d'action pour la mise en place de nouveaux équipements de déphosphatation qui permettront l'atteinte de la nouvelle exigence de rejet du phosphore de 0,3 mg/l. Il serait aussi opportun de fixer des objectifs pour l'azote qui est susceptible de modifier la composition des communautés de cyanobactéries du lac et qui peut représenter une contrainte à l'opération de l'UTE.

Mis à part ces sources ponctuelles d'effluents sanitaires, plusieurs installations septiques individuelles sont réparties un peu partout dans le bassin versant de la prise d'eau. La dispersion de ces installations sur un vaste territoire rend toute intervention visant à contrôler ces sources de contaminants plus onéreuse et difficile. Bien qu'individuellement ces sources de contaminants représentent de faibles charges de contaminants lorsque les installations fonctionnent correctement, l'effet cumulatif de ces charges dans un sous-bassin plus densément peuplé peut favoriser l'eutrophisation des plans d'eau. Selon l'APEL (2009), les apports en coliformes fécaux de la rivière Jaune font significativement augmenter les concentrations dans la rivière Saint-Charles (station 29).

Un total de 1 226 installations sanitaires individuelles ont fait l'objet d'une inspection en amont de la prise d'eau sur le territoire de la ville de Québec. De celles-ci, seulement 1,7 % (21 installations) étaient considérées comme des foyers directs de pollution (CMQ, 2014) tandis que 17 % étaient considérées comme des foyers occasionnels ou indirects de pollution. Dans la municipalité des Cantons unis de Stoneham-et-Tewkesbury, un programme de suivi des fosses septiques est mené depuis 2004 par la municipalité. Selon la municipalité, parmi les 792 installations septiques qui ont fait l'objet d'une vérification de conformité, 4,7 % étaient considérées comme des foyers directs de pollution tandis que 50 % étaient considérées comme des foyers occasionnels ou indirects de contamination (B-) (CMQ, 2014). Stoneham-et-Tewkesbury possède un programme de mise à niveau des installations septiques et évalue en plus, les opportunités d'implanter des systèmes d'assainissement mixtes (traitement des eaux clarifiées des fosses septiques) ou des systèmes d'assainissement collectifs dans six secteurs prioritaires qui ont été identifiés. À lac Beauport, depuis mai 2006, la municipalité assure la vidange des fosses septiques et des puisards. Ce service est obligatoire pour tous les propriétaires de fosses septiques et de puisards. Il existe également un programme de mise aux normes des installations septiques.

La CMQ a contribuée à financer la réalisation des vérifications de conformité des fosses septiques pour les années 2012 et 2013; inventaire qui a été réalisé pour les municipalités de Stoneham-et-Tewkesbury, Lac Delage et Saint-Gabriel-de-Valcartier en collaboration avec la MRC de la Jacques-Cartier.

Une saine gestion des eaux sanitaires permet également de réduire les concentrations d'éléments nutritifs rejetés dans le milieu aquatique. Toute mesure visant à contrôler les apports d'éléments nutritifs (phosphore et azote) vers le lac Saint-Charles et le lac Delage aura pour effet de diminuer les probabilités d'apparition de fleurs d'eau de cyanobactéries ou d'autres algues dans ces lacs. Bien que les cyanobactéries fassent partie de la flore phytoplanctonique normale des plans d'eau et des cours d'eau, certaines espèces produisent des toxines qui présentent des risques pour la santé humaine. Si ces organismes unicellulaires sont présents en grande concentration dans l'eau, il faut alors s'assurer de les retirer adéquatement et d'éliminer leurs toxines dissoutes dans l'eau afin de produire une eau potable saine (Ellis, 2009).

Les concentrations de chlorophylle *a* mesurées dans le lac Saint-Charles ne permettent pas d'évaluer l'abondance de cyanobactéries puisque ce pigment est universel dans le règne végétal. Selon les données de qualité de l'eau récoltées par le MDDELCC (2014) dans la rivière Saint-Charles, les concentrations médianes de chlorophylle *a* à l'exutoire du lac St-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien sont respectivement de 4,8 µg/l et 2,6 µg/l, ce qui correspond à une diminution de 1,9 fois entre l'amont et l'aval. Pour les moyennes, elles sont respectivement de 5,4 µg/l et 3,1 µg/l, pour une diminution de 1,8 fois. Les données de la Ville de Québec récoltées à la prise d'eau de la rivière Saint-Charles présentent des décomptes de plusieurs espèces de phytoplancton, dont dix espèces de cyanobactéries, qui ont été faits à 29 reprises en 2009, 2010 et 2011. La concentration maximale de cyanobactéries rencontrée était de 530 cellules/ml (15 août 2011). Cette concentration est bien en-deçà du seuil de 2 000 cellules/ml à partir duquel il est considéré pertinent d'entreprendre un suivi spécifique des cyanobactéries en situation d'approvisionnement en eau potable selon une étude réalisée par le MDDEP entre 2004 et 2006 (Robert, 2008).

L'étude de Robert (2008) portait sur les cyanobactéries et les cyanotoxines à sept stations de production d'eau potable situées en milieu agricole et en milieu urbain (Bedford, Sorel-Tracy, Daveluyville, Saint-Damase, Farnham, Saint-Hyacinthe et Plessisville). Les concentrations maximales de cyanobactéries dans l'eau brute puisée par ces stations variaient entre 2 087 et 1 904 148 cellules/ml. Malgré ces concentrations élevées de cellules cyanobactériennes dans l'eau brute, la qualité de l'eau traitée par les usines de traitement de l'eau potable démontrait généralement que le traitement était efficace. En effet, l'abondance de cyanobactéries dans l'eau traitée était faible et les concentrations de cyanotoxines étaient plus de 30 fois inférieures à la norme du *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (RQEP) qui est de 1,5 µg/l pour les microcystines (exprimés en équivalent toxique de microcystine-LR) et à la concentration maximale acceptable de 3,7 µg/l pour l'anatoxine-a recommandée par le Groupe scientifique sur l'eau (2005). Il convient de préciser ici qu'il n'existe pas de relation directe entre les concentrations de cellules cyanobactériennes et les concentrations de cyanotoxines présentes dans l'eau brute; la production de toxines par les cyanobactéries étant influencée par plusieurs facteurs environnementaux.

Dans le contexte de la production d'eau potable, il est important de faire une distinction entre les cyanotoxines qui sont contenues dans les cellules cyanobactériennes et celles qui se retrouvent dissoutes dans l'eau suite au bris des cellules (Barbeau *et al*., 2008). Le rapport de Barbeau *et al*. (2008) résume bien cette problématique :

> *« Les cellules entières de cyanobactéries (incluant les cyanotoxines intracellulaires) peuvent être enlevées par des barrières physiques telles la décantation et la filtration, alors que les toxines extracellulaires sont enlevées préférentiellement par des procédés d'oxydation ou d'adsorption. Ces procédés qui permettent l'enlèvement physique représentent une barrière de protection importante. Par contre, il est possible que les cyanotoxines intracellulaires soient libérées dans l'eau, notamment parce que les barrières physiques peuvent favoriser leur libération en induisant la rupture des parois cellulaires des cyanobactéries (phénomène appelé lyse cellulaire). »*

Il est possible de contrôler le risque lié à la présence de cyanotoxines dans l'eau potable en utilisant des procédés de traitement existants (Barbeau *et al*., 2008). L'ozone est le traitement le plus performant, tant pour éliminer les microcystines que l'anatoxine-a. La Ville de Québec a d'ailleurs installé un système d'inter-ozonation en novembre 2010. Le chlore, traitement le plus répandu dans les installations québécoises, est efficace contre les microcystines, mais n'élimine pas l'anatoxine-a au-delà d'une certaine concentration. L'utilisation de charbon actif en poudre (CAP) peut être efficace dans une certaine mesure, mais ses capacités sont influencées par divers paramètres. En 2009, le MDDEP a rendu disponible un guide permettant de s'assurer si une chaîne de traitement est adéquate pour permettre l'élimination des cellules de cyanobactéries et de leurs toxines (Ellis, 2009).

En ce qui a trait à l'UTE de Québec, sa filière de traitement est composée d'un procédé de coagulation, de floculation, de décantation, d'ozonation, de chloration et de filtration. Cette filière serait tout à fait efficace pour retenir un maximum de cellules de cyanobactéries, comme le prétend l'étude de Robert (2008). Le processus de décantation permet une réduction importante des particules en suspension (incluant les cellules de cyanobactéries), l'ozonation détruit une bonne partie des cyanobactéries qui n'ont pas décantées et la filtration récolte une bonne partie des cellules résiduelles.

Il est à noter que le processus d'ozonation à l'UTE de Québec a récemment été déplacé entre l'étape de décantation et de filtration granulaire (inter-ozonation) plutôt qu'en aval de cette filtration (post-ozonation). De cette façon, l'ozonation peut causer la lyse cellulaire des cyanobactéries non éliminées par la décantation et ainsi libérer des cyanotoxines qui ne seraient pas efficacement éliminées par la filtration qui suit. Par contre, si une dose suffisante d'ozone est ajoutée durant le procédé d'inter-ozonation, les toxines libérées lors de la lyse cellulaire pourraient aussi être éliminées (Ellis, 2009). Pour ce faire et afin de générer une eau traitée de qualité respectant les normes, le temps de contact de l'ozone devrait donc respecter les conditions de traitement indiquées au tableau 3.1, surtout en eau froide.

Tableau 3.1 Temps de contact (CT) pour l'ozone en fonction de la température pour l'élimination des cyanotoxines (pH supérieur à 6,0)

Niveau d'enlèvement requis	CT requis pour l'ozone (mg•min/L)					
	0,5 ºC	5 ºC	10 ºC	15 ºC	20 ºC	25 ºC
95 %	0,174	0,149	0,129	0,109	0,095	0,081
90 %	0,134	0,115	0,099	0,084	0,073	0,062
75 %	0,081	0,069	0,060	0,051	0,044	0,038
50 %	0,040	0,035	0,030	0,025	0,022	0,019

Selon Robert (2008), une caractérisation du phénomène des cyanotoxines dans l'eau brute s'impose pour toute prise d'eau potable susceptible d'être touchée par les floraisons de cyanobactéries et un suivi dans le temps est également requis lorsqu'une source d'approvisionnement en eau potable est effectivement touchée par les cyanobactéries. Dans cette optique, le suivi de la qualité de l'eau brute à la prise d'eau de la rivière Saint-Charles devrait continuer le décompte des cellules de cyanobactérie. En outre, la mesure des concentrations de cyanotoxines (microcystines, anatoxines-a, etc.) devrait être ajoutée aux paramètres de suivi puisqu'il s'agit du meilleur indicateur de la présence de risques immédiats sur la santé publique.

3.2.2 Aménagement du territoire et conservation de la ressource en eau

3.2.2.1 Conservation des boisés et milieux humides

La conservation des milieux naturels est la stratégie la plus efficace et la moins coûteuse permettant de protéger la ressource en eau ainsi que la pérennité d'une prise d'eau (Postel et Thompson, 2005; Gabor, 2004; Knight, 1997; Thibault *et al.*, 2009). L'acquisition de terrains à des fins de conservation est l'outil qui présente le plus haut niveau de protection contre toute activité anthropique (CCME, 2004; Postel et Thompson, 2005). Elle permet le contrôle de l'utilisation des terres par l'acquisition d'aires protégées ou par l'instauration de servitudes limitant certaines pratiques d'aménagement et d'utilisation des terres qui sont susceptibles de contribuer à la détérioration de la qualité de l'eau (CCME, 2004). Les fonctions d'alimentation et de purification de l'eau remplies par les boisés et les milieux humides sont complétées par d'autres fonctions complémentaires dont la valeur doit être considérée. À titre d'exemple, les forêts et les milieux humides permettent d'atténuer les inondations en produisant de 30 à 50 % moins de ruissellement que les zones gazonnées qui produisent elles-mêmes moins de ruissellement que les zones imperméables (Capiella *et al.*, 2005; CIC, 2004). Les inondations survenues les 14 et 15 avril 2014 ont occasionné des dégâts matériels en plus de rendre mobiles des contaminants (inorganiques et organiques) qui peuvent représenter des contraintes à l'opération de l'UTE. Parmi les autres fonctions complémentaires des boisés et des milieux humides, on peut noter la conservation des sols et le contrôle du transport sédimentaire, le maintien des activités de pêche sportive, récréatives, touristiques et culturelles, la protection du paysage et du milieu de vie de la population, la séquestration du carbone ainsi que la conservation de la biodiversité (Postel et Thompson, 2005). La valeur totale de l'ensemble de ces services qui bénéficient à l'ensemble de la population (incluant celle à l'extérieur du bassin versant)

dépasse fort probablement la valeur associée au déboisement et au développement de ces territoires, où seule une fraction de la population en tire un profit.

Cette stratégie permet d'avoir un impact immédiat sur la qualité de l'eau et les risques d'inondation et de diminuer les coûts en capital, en opération et en entretien des installations de traitement de l'eau potable. À titre d'exemple, la Ville de New York a évité des dépenses de 3 à 8 milliards $US en infrastructures de traitement des eaux en investissant 1,5 milliard $US dans la mise en place de mesures de protection du bassin versant et dans l'acquisition de terres autour des réservoirs (RAMSAR, 2002). En ce qui concerne l'acquisition des boisés et des milieux humides, il est important d'agir le plus rapidement possible puisque les coûts d'acquisition augmentent rapidement avec la valeur des terrains et les opportunités diminuent rapidement avec le développement. Tout délai dans la prise de décision rend la protection du bassin plus coûteuse. Dans le bassin de la prise d'eau, la ville de Québec a acquis ou est en voie d'acquérir 9 lots de milieux naturels totalisant 81 401 m² dans le cadre de règlement d'emprunt prévu au PTI. La municipalité de Stoneham-et-Tewkesbuy a pour sa part acquis un milieu humide de 27 814 m² dans le cadre d'un protocole d'entente avec un développeur immobilier. À lac Beauport, c'est un milieu humide de 72 310 m² qui a été acquis dans le cadre d'une entente avec le promoteur. Les acquisitions de ces municipalités représentent donc 18 ha sur un total de 25 700 ha de milieu naturel dans le bassin versant de la prise d'eau. À titre d'exemple, en 15 ans, la proportion de terrain détenue par la ville de New York dans le bassin versant Catskill/Delaware est passée de 3,5 % à 15% en plus de 21 % additionnel protégé par le New York State Preserve, pour un total de 36 %.

Par rapport au cadre bâti existant et à l'instar d'autres provinces et pays, un comité technique pourrait étudier l'opportunité d'instaurer des périmètres de protection autour de la prise d'eau afin de prévenir ou de contrôler rigoureusement certaines activités qui présentent des risques potentiels pour la prise d'eau et la santé publique. Les zones d'aquifères sont particulièrement vulnérables à la contamination étant donné la perméabilité des dépôts de surface et les risques de contamination de la nappe. La carte de vulnérabilité des eaux souterraines réalisée par l'Université Laval en partenariat avec la CMQ (indice DRASTIC) ainsi que la carte 3 du présent document peuvent être mises à profit à cette fin. L'étendue et les limites des périmètres de protection peuvent notamment varier en fonction des risques et du temps requis pour qu'un polluant déversé dans le bassin versant atteigne la prise d'eau par un écoulement de surface ou souterrain. Une étude commandée par la ville de Québec et réalisée par l'INRS-ETE a permis de cibler la zone autour de la prise d'eau où un contaminant prendrait moins de 24 heures pour atteindre la prise d'eau.

Finalement, une cartographie plus fine (1:10 000 ou 1:8 000) des milieux humides et des cours d'eau à l'échelle des sous-bassins versants a été recommandée en 2010 (Roche, 2010) et elle a été réalisée par Canard Illimité Canada en 2013. Pour ce qui est des plans d'eau (lac), la numérisation des superficies a été réactualisée par la CMQ en 2014. La ville de Québec possède également, pour certains secteurs du bassin versant de la prise d'eau, des cartographies du réseau hydrique et des milieux humides à une

échelle de 1 : 8 000 ou moins. Ces cartes plus précises, constituent des outils d'aide à la décision qui favoriseront une application plus efficace de la réglementation existante et qui éviteront de modifier significativement le régime d'écoulement de l'eau approvisionnant ces écosystèmes. Elles permettront également de faciliter l'aide à la décision pour le développement ou l'aménagement du territoire.

3.2.2.2 Contrôle des émissions de contaminants organiques et inorganiques des sites industriels et commerciaux à proximité de la prise d'eau

La présence de cimetières d'autos, de stations-service, de sites contaminés et de sites d'enfouissement sanitaire à l'intérieur du bassin versant, particulièrement dans la zone de plus forte mobilité des contaminants (en jaune sur la carte 1) peut venir interférer avec l'objectif de protection de la qualité de l'eau de la prise d'eau potable. Sur le territoire du bassin versant de la prise d'eau, selon le Répertoire des terrains contaminés du MDDEP (2009b), il existait en 2009 au moins 20 terrains contaminés ou qui ont été décontaminés, mais dont la qualité des sols n'est pas optimale (plage C). Ces terrains ont été contaminés par l'occupation passée du sol (stations-service, activités industrielles, militaires, garages, etc.) par des hydrocarbures, des composés phénoliques, des BTEX, des métaux, etc. Dans le bassin versant de la prise d'eau, il existe des sites d'enfouissement sanitaires, des déchetteries (et écocentres) et des dépôts de matériaux secs qui sont soit en opération ou qui sont fermés. La présence d'au moins quatre cimetières d'automobiles est notée dans le bassin versant de la prise d'eau. Trois de ceux-ci sont situés dans le sous-bassin versant du lac et de la rivière Saint-Charles. Celui de la rue Roussin est localisé dans la plaine inondable 0-20 ans. Ces activités sont susceptibles d'émettre divers contaminants organiques ou inorganiques. Si la source d'émission se trouve dans la zone de forte mobilité des contaminants, il est important de contrôler les risques potentiels d'émission de contaminants. Si le contaminant est organique et qu'il est émis en concentrations élevées, il peut représenter un risque pour la qualité de l'eau brute à la prise d'eau. Des inondations comme celle du 14-15 avril peuvent inonder certaines des installations citées plus haut et contribuer à l'émission de contaminants. Des audits ciblés devraient être réalisés sur les sites industriels ou commerciaux les plus à risque d'émettre des contaminants. La carte de vulnérabilité des eaux souterraines (établies à partir de l'indice DRASTIC) est un outil qui peut être utilisé pourd'établir le niveau de risque de transport des contaminants par les eaux souterraines.

3.2.3 Contrôle du transport d'éléments nutritifs vers les lacs

La moitié amont du bassin versant de la prise d'eau est constitué majoritairement de milieux naturels, ce qui la rend moins vulnérable à une détérioration de la qualité de l'eau. En outre, le lac Saint-Charles est le principal réservoir d'eau de bonne qualité alimentant la prise d'eau et celui-ci est vulnérable à l'eutrophisation. Le lac Saint-Charles et les milieux naturels de son bassin versant remplissent des services de filtration et d'épuration de l'eau qui font en sorte que la qualité de l'eau à la sortie du barrage est en général qualifiée de bonne. Elle est d'ailleurs généralement de meilleure qualité que celle des rivières Nelson et Jaune. Les lacs Delage et Saint-Charles agissent naturellement comme des trappes à sédiments, qui captent les particules et les contaminants qui leur sont associés, et leurs milieux humides

fournissent un certain pouvoir d'épuration des eaux. Il est important de noter que le lac Saint-Charles fournit annuellement 42 % des apports d'eau à la prise d'eau. Huit mois sur douze, sa contribution mensuelle dépassent les 50 % et peut atteindre jusqu'à 62 % (Roche, 2010). Il est donc essentiel de protéger le lac Saint-Charles d'un vieillissement prématuré (eutrophisation) qui pourrait mener à une dégradation significative de la qualité de l'eau, entre autres par l'apparition de fleurs d'eau pélagiques de cyanobactéries et par l'enrichissement du lac par la décomposition saisonnière de masses de plantes aquatiques.

Le phosphore peut naturellement résulter de l'altération de la roche (généralement entre 0,01 et 1 kg P ha / année mais peut parfois atteindre 5 kg P ha / année) et de la déposition atmosphérique (0,01 et 2 kg P ha/année; Newman, 1995, cité par Frossard *et al.*, 2004). C'est un élément habituellement peu mobile dans le profil du sol. Pour cette raison, il est principalement retrouvé dans la couche supérieure du sol où il est aisément disponible pour le transport par ruissellement. Les forêts sont le plus souvent considérées comme des puits qui emmagasinent le phosphore (IRDA, 2008).

Les phosphates se retrouvent généralement associés à des cations, des oxydes ou à des hydroxydes de fer (Fe) et d'aluminium (Al) (IRDA, 2008; Beaudin 2008). Seuls les premiers millimètres du sol interviennent effectivement dans le transport en surface du phosphore (Sharpley, 1985). Le phosphore peut ainsi être transporté par le ruissellement en étant attaché aux sédiments ou à la matière organique. Le phosphore peut aussi être transporté sous forme dissoute dans le ruissellement de surface ou souterrain.

Le phosphore biodisponible est sous forme d'ions orthophosphates (PO_4^{3-}) et le niveau de disponibilité des orthophosphates varie grandement (IRDA, 2008). Certains se retrouveront rapidement en solution, d'autres migreront plus lentement de la phase solide vers la solution et d'autres encore ne se solubiliseront qu'avec l'activité d'organismes vivants. Ces processus de désorption et de dissolution du phosphore et d'extraction du phosphore sous forme soluble se produisent à l'intérieur d'une mince couche de sol de 1 à 5 mm (Sharpley, 1985; Ahuja, 1986).

En plus d'être naturellement présent dans le sol, le phosphore peut provenir de sources anthropiques comme les effluents sanitaires, les fumiers et les lisiers et les fertilisants. Plusieurs études ont démontré qu'une proportion relativement restreinte du territoire est responsable de la majorité des exportations de phosphore et que ces exportations sont concentrées sur une courte période. Pionke *et al.* (1997) estiment qu'en général, 90% des exportations de phosphore des bassins versants proviennent de seulement 10 % du territoire et surviennent surtout au cours de quelques évènement de ruissellement de forte intensité. Au Québec, Michaud et al. (2002) ont démontré que 75 % des exportations de phosphore vers le ruisseau au Castor provenait de seulement 6 % de la période de caractérisation (1997-2000), principalement à la fin de l'hiver et tôt au printemps. Au Québec, le sol gelé et la neige contribuent aussi à une portion importante du ruissellement de surface et influencent les exportations de phosphore.

La migration du phosphore du sol vers les plans d'eau est influencée par plusieurs processus physiques, chimiques et biologiques. La quantité de phosphore qui atteint les cours d'eau peut varier substantiellement en fonction de plusieurs facteurs (IRDA, 2008; Beaudin, 2008) :

- De la topographie et des pentes;
- De la nature, de la perméabilité, du pH, de la température et de la teneur en eau des sols (des sols mal drainés étant plus susceptibles à exporter du phosphore);
- De la présence d'hydroxydes de fer, d'aluminium ou de calcium dans les sols pouvant fixer le phosphore;
- De l'activité biologique (mycorhizes, bactéries) dans les sols (l'activité microbienne favorise la libération de phosphore qui se trouve sous des formes moins disponibles);
- De la hauteur de la nappe (les nappes près de la surface étant plus susceptibles à l'exportation de phosphore);
- Des pratiques agricoles (cultures, gestion des fertilisant, travail des sols, etc.);
- De la forme, de la période et du mode d'épandage de fertilisant (gazon et agricole) ainsi que de l'importance des précipitations enregistrées avant et suivant l'épandage.

Les exportations de phosphore vers les cours d'eau ne peuvent provenir que des zones où la source de phosphore et le mécanisme de transport (transport par l'eau) se rencontrent. Ces zones particulièrement vulnérables à l'exportation de phosphore sont appelées zones critiques (IRDA, 2008). Deux circonstances peuvent provoquer l'apparition du ruissellement en surface : soit que l'intensité des précipitations excède la capacité d'infiltration du sol ou que le sol devienne saturé d'eau et que la nappe remonte jusqu'à la surface. Typiquement, on retrouve ces zones critiques dans les endroits suivants :

- En position basse dans le relief;
- Dans les bas de talus et dans les sols où existe une couche imperméable peu profonde;
- Dans les zones de convergence topographique (Walter *et al.*, 2000);
- Près des cours d'eau, où la profondeur de la nappe phréatique, la perméabilité du sol et la densité du réseau hydrographique favorisent l'état de saturation (Michaud, 2005; Beven et Wood, 1983).

Il importe donc de contrôler les émissions des activités existantes et de prévenir l'implantation d'activités qui sont susceptibles d'être des sources importantes de phosphore dans ces zones de forte mobilité du phosphore (carte 3).

Il existe sept terrains de golf en amont de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles qui couvrent une superficie totale de 2,3 km². Les émissions de phosphore de ces golfs peuvent être contrôlées par l'application stricte de plans de fertilisation et d'épandage des pesticides (exemple du programme Audubon) ainsi que par des plans de gestion des eaux de ruissellement adaptés au contexte d'un bassin versant d'une prise d'eau potable. Afin de mettre en application un plan de gestion des eaux de

ruissellement qui confine les eaux de ruissellement du golf à l'intérieur de la propriété, il peut être nécessaire de faire des travaux de remblai-déblai dans les parcours de golf. Les étangs aménagés sur les terrains de golf doivent recueillir les eaux de ruissellement et de drainage, être étanches et faire l'objet d'un programme d'entretien régulier pour ne pas devenir des sources d'émission de phosphore.

En milieu urbain, il importe de s'assurer que le phosphore présent à la surface des rues tôt au printemps est rapidement récupéré par les balayeuses-aspiratrices. Les facteurs affectant l'efficacité du nettoyage des rues incluent : la charge de particules, la texture de la rue, l'humidité, les équipements utilisés (et leur condition), la présence de voitures stationnées et la fréquence de nettoyage (Pitt *et al.,* 2004). La fréquence et l'intensité des précipitations sont cependant les variables clés qui contrôlent les besoins de nettoyage et l'efficacité d'enlèvement des contaminants (Claytor, 2000). À titre d'exemple, la charge de matière sédimentaire dans une rue résidentielle (région Pacifique Nord-Ouest) peut être diminuée de 50 % par un nettoyage mensuel et de 78 % par un nettoyage hebdomadaire (Claytor, 2000).

Bien que les engrais minéraux soient moins solubles que les engrais organiques (IRDA, 2008), l'application de fertilisants sur les pelouses peut être contrôlée pour réduire les sources diffuses de phosphore. En raison de nos conditions climatiques, la période d'épandage printanière est relativement vulnérable à la production de ruissellement puisqu'elles coïncident souvent avec une période de pointe hydrologique (IRDA, 2008).

La bande riveraine est souvent citée comme bonne pratique pour contrôler les sources diffuses de phosphore. Pour le ruissellement de surface, la bande riveraine enherbée permet effectivement de retenir le phosphore particulaire avec des réductions de 80 à 92 % pour des bandes enherbées de cinq à douze mètres (Lemay-Lavigne, 2005). Cependant, la forme dissoute du phosphore n'est pas aussi facilement retenue, avec des réductions observées qui oscillent entre 7 % (Vallières, 2005) et 87 % (Patty *et al.,* 1997) pour des bandes de 1 m à 18 m. La majorité des études citent toutefois des réductions de 40 à 58 % pour des largeurs de 5 à 10 mètres. Lors de pluies intenses, le ruissellement plus important et plus rapide favorise la suspension des sédiments et du phosphore. La capacité d'infiltration de la bande peut alors être dépassée et l'efficacité de la bande riveraine à capter les contaminants diminue. De plus, comme l'eau et le phosphore suivent généralement les chemins d'écoulement préférentiels de l'eau (fossés, drains, chemins, sentiers, ponceaux, etc.) une bonne partie des eaux ne transitent pas par les bandes riveraines (Jamieson et al., 2003; Enright et Madramootoo, 2003). Ce constat illustre l'importance de contrôler la mobilité du phosphore à la source afin d'en limiter le transport vers le réseau hydrique. Les mesures de contrôle à la source du phosphore peuvent aussi contribuer à réduire les apports d'azote qui semblent contribuer au développement d'algues du genre *Anabaena* dans le lac Saint-Charles. De plus, deux épisodes de concentrations plus élevées d'azote ammoniacal ont été constatés à la prise d'eau.

L'agriculture dans le bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles est relativement limitée et principalement concentrée dans le bassin versant de la rivière Nelson (carte 3). Il existe douze producteurs de volailles (2 815 unités animales) dans le bassin versant de la prise d'eau et onze d'entre eux se trouvent dans le sous-bassin versant de la rivière Nelson dans la municipalité de Saint-Gabriel-de-Valcartier (MAPAQ, octobre 2009). Les autres producteurs agricoles (aquiculture, ovins, chevaux, bovins) cumulant 188 unités animales sont situés dans le sous-bassin du lac et de la rivière Saint-Charles. Dans la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury, l'agriculture se limite à des fermettes et des écuries (comm. perso., Stoneham-et-Tewkesbury).

Au Québec, Brunelle et Savoie (2000) considèrent que les longues pentes perpendiculaires au cours d'eau ainsi que la forme allongée des cadastres et le drainage agricole favorisent l'écoulement latéral le long des semelles de labour. Plusieurs études ont démontré que les éléments nutritifs, les agents pathogènes et les autres substances présentes dans le sol sont transportés suivant la voie offrant la résistance la moins grande dans le profil de sol (IRDA, 2008; Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales, 2005). L'eau et les nutriments descendent sous l'effet piston des nouvelles pluies qui poussent l'eau vers les nappes souterraines. Lorsque les superficies agricoles sont pourvues d'un système de drains agricoles souterrains, une bonne partie de cette eau sera interceptée, ce qui contribue à augmenter la mobilité du phosphore (IRDA, 2008).

Selon l'IRDA (2008), en milieu agricole, la période de temps s'écoulant entre l'épandage et le transport du phosphore lors d'une pluie revêt une importance cruciale puisque le phosphore des engrais organiques nécessite du temps pour se fixer aux particules de sols. Les bonnes pratiques de contrôle de la pollution diffuse en provenance des zones agricoles abordent le problème sur deux fronts (IRDA, 2008): empêcher l'eau, les sédiments et les polluants de sortir des parcelles agricoles ou les intercepter avant qu'ils n'atteignent le réseau hydrographique.

3.2.3.1 Contrôle du relargage de phosphore des sédiments de lacs

Le phosphore transporté par les particules de sol qui se déposent dans les plans d'eau et les zones de sédimentation du bassin versant peut, dans certaines conditions, être remis en solution dans l'eau sous forme d'orthophosphates (PO_4^{3-}) biodisponibles. Ce phénomène de relargage survient généralement au fond des lacs (hypolimnion) en absence d'oxygène et lorsque le potentiel d'oxydoréduction à l'interface eau-sédiment est favorable au relargage. Cette source de phosphore présente dans les sédiments peut contribuer à soutenir la production phytoplanctonique des lacs pendant plusieurs années et le dragage de grands volumes de sédiment n'est souvent pas une solution réaliste, compte tenu des coûts importants. Toutefois, en raison du faible volume de l'hypolimnion du lac Saint-Charles, la quantité de phosphore potentiellement relargué serait faible et de l'ordre de 9,9 kg/année selon Légaré (1998). Il serait néanmoins important de mesurer les concentrations d'orthophosphates au fond du lac Saint-Charles afin de suivre le phénomène et son importance relative dans le temps.

Afin de contrôler les apports de phosphore particulaire du bassin versant, il importe de contrôler à la source l'érosion, afin d'éviter que les matières particulaires ne s'accumulent dans les plans d'eau et ne contribuent pas à l'auto-fertilisation des lacs (voir section 3.2.3).

3.2.4 Contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire

L'érosion et le transport sédimentaire contribuent à l'eutrophisation des plans d'eau comme le lac Saint-Charles, en transportant du phosphore qui peut contribuer, dans certaines conditions, à fertiliser le lac. Le transport sédimentaire peut également diminuer les profondeurs dans le lac, enrichir les sédiments et augmenter la température de l'eau ce qui peut favoriser la prolifération de macrophytes et d'algues. Les mesures de contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire permettent ainsi de réduire les quantités de phosphore total adsorbées aux particules en suspension (Santé Canada, 2003).

De plus, les matières en suspension transportées dans l'eau peuvent affecter l'efficacité du processus de traitement de l'eau potable (CCME, 2004) et il s'agit là d'une contrainte à l'opération de l'UTE de Québec. Dans bien des cas, une forte turbidité protège les micro-organismes des procédés de désinfection. Des études ont montré l'existence d'un lien entre la turbidité et la contamination de l'eau traitée par *Giardia* et *Cryptosporidium* (Santé Canada, 2003). Une turbidité excessive peut conduire à une augmentation de sous-produits de désinfection dans l'eau traitée comme les trihalométhanes (THM) (Santé Canada, 2003). Une forte turbidité peut également être associée à des goûts et à des odeurs désagréables. Les mesures de contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire peuvent également contribuer à réduire les quantités de divers métaux qui sont adsorbés aux particules en suspension (Santé Canada, 2003).

Pour être effective, la mise en place de mesures de contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire doit être précédée d'une quantification de l'importance relative des charges sédimentaires provenant des trois principaux affluents qui alimentent la prise d'eau (lac et rivière Saint-Charles, rivière Nelson, rivière Jaune) ainsi que de leurs sous-bassins secondaires. Une telle évaluation a déjà été faite pour le sous-bassin de la rivière des Hurons au début des années 2000 (Durette et Morneau, 2002; Viens et Lewis, 2004). Ces deux études ont démontré que la rivière des Hurons contribuait significativement au transport sédimentaire vers l'aval et que les plus grosses zones d'érosion (de 200 à 300 m²) sont situées entre la confluence de la rivière Noire et de la rivière des Hurons et l'intersection de cette dernière avec le pont de la route 175. Il est toutefois important de ne pas seulement traiter les symptômes (rives en érosion), mais aussi de s'attaquer aux causes qui se trouvent à l'amont et qui sont souvent liées à des lacunes dans la gestion des eaux de ruissellement (contrôle à la source de la vitesse des eaux de ruissellement, grandes superficies déboisées qui occasionnent de l'érosion au bas du talus, chemins préférentiels d'écoulement de l'eau qui favorisent des vitesses plus élevées de l'eau de ruissellement, etc.). Compte tenu qu'une partie des problèmes d'érosion et de transport sédimentaire se trouve dans la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury, la municipalité a mis en place un programme de protection de la qualité de l'eau qui comprend un volet sur le contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire.

Afin de faciliter l'identification des zones qui sont les plus susceptibles de représenter des foyers d'érosion, la carte 2 a été préparée. La carte de susceptibilité à l'érosion a été préparée à partir des informations disponibles sur les pentes, les dépôts de surface et le couvert végétal. Plusieurs études démontrent qu'en général une grande partie des charges sédimentaires provient d'une faible proportion du territoire lors de la fonte des neiges et des précipitations importantes (Michaud et al. 2002).

La problématique d'érosion et de transport sédimentaire pourrait être plus importante qu'anticipée par les résultats du programme de suivi existant. En effet, pour la plupart des rivières, les charges sédimentaires annuelles sont en général sous-estimées, à cause de la nature épisodique du transport de MES en période de crue. Les charges sédimentaires annuelles sont en général sous-estimées par les programmes de suivi, puisqu'une grande partie de ces charges provient d'une faible proportion du territoire lors de la fonte des neiges et des fortes crues. Ces événements ne sont souvent pas couverts par l'échantillonnage de l'eau qui est souvent réalisé mensuellement (ex. : données de qualité de l'eau du MDDELCC). Lorsque la fréquence d'échantillonnage n'est pas suffisante, l'imprécision dans l'évaluation des charges sédimentaires peut atteindre 100 % par rapport aux valeurs réelles (Walling et Webb, 1981). Une fréquence d'échantillonnage aux deux semaines peut grandement améliorer le niveau de précision de l'évaluation des charges sédimentaires (Meybeck *et al.,* 2003).

Pour des bassins versants de tailles comprises entre 64 et 500 km², comme celui de la prise d'eau de l'UTE de Québec (344 km²), 50 à 90 % des charges sédimentaires sont transportées pendant seulement 2 % du temps (Meybeck *et al.,* 2003). À titre d'exemple, entre 2000 et 2013, à la station limnimétrique 050904 située à 0,8 km en amont de la rivière Lorette, le débit journalier de la rivière Saint-Charles a dépassé 40 m³/s seulement 119 jours (soit une moyenne de 9 jours par année). C'est lors de ces évènements qu'une grande partie des charges sédimentaires annuelles sont transportées par la rivière. En l'absence de contrôle efficace de l'érosion et des vitesses d'écoulement à la source, des quantités importantes de matières particulaires et de contaminants peuvent être transportées lors de ces quelques journées dans l'année. Ces matières solides proviendront des zones de fortes pentes où le sol est exposé, des talus en érosion et des voies préférentielles d'écoulement des eaux (routes d'accès, sentiers, fossés, drains, etc.) ou des zones en aval de celles-ci. Même en présence de bande riveraine et de bassin de rétention des eaux à l'aval des sous-bassins, les eaux de ruissellement prennent le chemin d'écoulement préférentiel et atteignent rapidement le réseau hydrique à l'aval. Ces matières solides et ces contaminants se déposent dans les zones de sédimentation comme le lac Saint-Charles, le lac Beauport, le lac Clément et le lac Delage. Les résultats de l'APEL (2009) confirment que c'est lors des pluies que la rivière des Hurons semble apporter d'importantes charges sédimentaires dans le bassin nord du lac Saint-Charles. Il s'agit du bassin le plus profond du lac et il agit comme une trappe à sédiment. Selon l'APEL (2009), c'est uniquement lors des pluies et des crues printanières que la rivière Nelson (station 6) transporte des concentrations de MES supérieures à 13 mg/L.

La rencontre entre des zones de fortes pentes, des réseaux routiers, des sentiers et des cours d'eau, est susceptible d'occasionner des secteurs où la vitesse d'écoulement des eaux de surface est élevée et où des foyers d'érosion sont observés lors de fortes pluies (voir carte 2). Par exemple, la présence de centres de ski et des chemins d'accès qui y sont associés peut contribuer de façon significative au transport sédimentaire global d'un bassin versant (Olsen, 2009). Comme l'écoulement des eaux de ruissellement se fait dans des zones de fortes pentes qui sont déboisées, il est particulièrement important de suivre de près le phénomène de transport sédimentaire provenant de ces zones. Il existe deux centres de ski alpin qui sont toujours en opération dans le bassin versant de la prise d'eau, soit Le Relais dans le sous-bassin de la rivière Jaune et Stoneham dans celui de la rivière des Hurons. La municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury travaille activement au contrôle du transport sédimentaire provenant des chemins existants et de la station de ski. Les efforts investis commencent à montrer des effets positifs. Entre 50 000 et 100 000 $ par année sont investis par la municipalité dans le contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire liés au réseau routier.

Les lignes de transport d'énergie représentent d'autres zones de fortes pentes où il y a peu de couverture végétale pour prévenir l'érosion. Six exploitations minières ont été identifiées en amont de la prise d'eau à partir du Répertoire des établissements miniers du Québec (Institut de la statistique du Québec, 2009b). Une exploitation de granit ainsi qu'une sablière et gravière sont situées dans le sous-bassin de la rivière Nelson. Une gravière et sablière est située à 1,5 km de la rivière Saint-Charles. Les trois autres gravières et sablières se trouvent dans le sous-bassin de la rivière des Hurons. Compte tenu des activités qui s'y déroulent et de la grande exposition du sol, il est particulièrement important de suivre de près les émissions de matières particulaires provenant de ces sites et d'y appliquer des plans de gestion des eaux stricts. La pratique du VTT se fait de façon régulière dans les emprises d'Hydro-Québec et cette activité cause de l'érosion, en plus du bruit et des dérangements pour la population résidente. Cette activité échappe malheureusement au contrôle des autorités municipales puisqu'elle n'est pas sous juridiction municipale. Il serait toutefois possible d'utiliser les emprises, avec la permission d'Hydro-Québec, pour prévenir le transport sédimentaire par des bassins de sédimentation, en particulier dans les vallées à l'intersection des cours d'eau.

Il est important de contrôler à la source, l'érosion et la vitesse d'écoulement des eaux de surface. Les symptômes liés à l'accélération des vitesses d'écoulement des eaux de surface sont souvent observés sur les talus des rives des rivières bien en aval des zones de fortes pentes (APEL, 2009). Ainsi, une importante proportion des berges de la rivière Saint-Charles présente des signes d'érosion (APEL, 2009). Le type d'érosion observé pour cette rivière est principalement du recul à la base, ce qui veut dire que les rives se creusent par en dessous (APEL, 2009).

3.2.5 Communication, éducation et sensibilisation

Un plan de gestion intégrée par bassin versant a peu de chance d'être appliqué s'il ne fait pas l'objet d'un consensus auprès des acteurs du bassin versant (CWP, 2000a). C'est pourquoi la mise en place d'un comité technique a été suggérée en 2011. Un comité de direction a été mis en place en 2011 suite à la préparation du projet de plan d'action pour la mise en œuvre des recommandations de l'État de la situation du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles. Deux rencontres ont été tenues, ce qui a permis de mettre en place une action concertée sur l'inventaire des installations septiques autonomes (ISA). Pour être efficace, ce comité technique doit recevoir, en temps opportun, les informations nécessaires sous une forme accessible qui lui permet de constater l'évolution de la qualité de l'eau dans les trois principaux affluents et sous-bassins versants qui contribuent le plus à la dégradation de la qualité de l'eau à la prise d'eau. Les données recueillies doivent faire l'objet d'une analyse qui permet de constater l'importance relative des charges de contaminants provenant des trois principaux affluents de la prise d'eau.

En plus de mettre en place de nouvelles mesures de protection du bassin versant, il importe de tenir compte des mesures existantes et de bâtir sur celles-ci. Les structures et institutions déjà en place doivent être prises en considération et le dialogue doit être poursuivi avec les organisations non-gouvernementales qui œuvrent pour une gestion intégrée du bassin versant de la rivière Saint-Charles (Organisme des bassins versants de la capitale (OBVC), Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL), Comité de protection du lac Saint-Charles, etc.). Ces associations ont un rôle important de sensibilisation auprès du public.

Le volet de communication, d'éducation et de sensibilisation cible plusieurs groupes dont les résidents du bassin versant de la prise d'eau et les utilisateurs de la ressource en eau, les entrepreneurs, les inspecteurs et les employés municipaux ainsi que les écoles.

Ainsi, l'éducation est largement reconnue comme étant une étape essentielle à la mise en place d'actions de conservation. L'éducation et la sensibilisation du public permettent de familiariser la population aux liens qui existent entre leur utilisation des terres, leurs activités et la qualité de l'eau potable (CCME, 2004). Les enfants sont un public cible prioritaire pour les actions d'éducation à l'environnement, puisque dès l'enfance, ils peuvent acquérir de bons réflexes vis à vis l'eau. Ils possèdent également un pouvoir d'influencer et modifier les comportements et les habitudes des familles relativement à l'usage de l'eau (Veolia Eau, 2007; Sauvé, 2002). À la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury, une activité de sensibilisation rejoignant environ 100 élèves de l'école primaire a été réalisée en collaboration avec l'OBV de la Capitale. La ville de Québec possède deux programmes qui ont permis d'obtenir la participation de 2370 élèves de 3e et 4e année et de 95 enseignants. Ces programmes réalisés avec la collaboration de Québec ERE couvrent l'économie d'eau potable (Une tempête dans un verre d'eau) et la contamination de l'eau (Moi je ne contamine pas).

3.2.6 Formation

L'application plus stricte de la réglementation passe inévitablement par une vigilance accrue et une formation technique adéquate des inspecteurs. Sur le plan de la formation, une centaine de fonctionnaires municipaux ont déjà suivi une formation d'une journée, donnée par la CMQ, sur l'application du règlement de contrôle intérimaire. Un service de réponse destiné aux municipalités a également été mis en place par la CMQ afin de venir en aide aux inspecteurs chargés de l'application du règlement. De plus, un guide d'interprétation de ce dernier a été mis à la disposition de ces inspecteurs en janvier 2011.

La formation et la sensibilisation sont souvent utilisées comme instruments complémentaires à la réglementation pour favoriser le respect des mesures de conservation des eaux et de protection de la qualité des eaux (Environnement Canada, 2009). En plus des programmes de formation administrés sur une base volontaire, des formations adaptées aux entrepreneurs pourraient être mises sur pied et devenir une condition préalable à la réalisation de travaux dans le bassin versant de la prise d'eau. Les états du Delaware et du Maryland possèdent déjà ce type de programme de certification obligatoire des entrepreneurs (Shaver *et al.,* 2007). Pour être efficaces, les responsabilités et les obligations spécifiques des entrepreneurs doivent être abordées dans le cadre de ces formations (Shaver *et al.,* 2007). Des rencontres périodiques avec les entrepreneurs et les responsables des travaux publics peuvent être des outils utiles pour évaluer l'efficacité des mesures mises en place et les difficultés d'application rencontrées sur le terrain. Un bon exemple de document de formation et de sensibilisation est le guide du promoteur qui a été produit pas la ville de Québec (Ville de Québec, 2012). Le Guide est un document innovateur sur le développement dans les bassins versants de prises d'eau. Il s'adresse aux professionnels qui désirent déposer une demande d'ouverture ou de prolongement de rue dans les bassins versants des rivières Saint-Charles et Montmorency à Québec. Il fournit, à l'aide d'exemples concrets, de l'information quant aux attentes de la Ville en matière de développement durable de projets, dans le respect des objectifs et critères du RCI. Un atelier de formation à l'intention du personnel technique municipal est en cours d'élaboration sur la gestion des eaux pluviales et sur le contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire (Ville de Québec, service de l'environnement) Des conférences ont aussi été dispensées auprès des ingénieurs et municipalités (INFRA, 2012, INFRA, 2013, Réseau Environnement, 2013). À Stoneham-et-Tewkesbury, des formations ont été dispensées aux inspecteurs lors de l'adoption du RCI et il serait maintenant le temps d'actualiser la formation sur la base des modifications apportées au RCI et de l'élargir aux entrepreneurs.

3.2.7 Ressources

Outre des mesures réglementaires adaptées, la définition de priorités claires et l'ajout de ressources au sein des municipalités permettraient d'améliorer l'efficacité d'application de la réglementation existante. Cela permettrait également une surveillance systématique des aspects liés au contrôle des sources de contaminants. Par exemple, la ville de Québec a récemment ajouté un technicien spécifiquement attitré

au bassin versant de la prise d'eau. Selon le service de l'environnement, il y aurait certainement place pour une ressource supplémentaire pour faciliter l'application de la réglementation liée au contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire. Il en est de même à Stoneham-et-Tewkesbury. Il y a 3 inspecteurs municipaux (1 temps plein, 1 pour les nouvelles constructions, 1 pour les chantiers) mais il y aurait des besoins pour une ou deux ressources supplémentaires pour mieux contrôler la problématique de transport sédimentaire dans un contexte où le recrutement d'inspecteurs et la rétention de personnel représente un défi pour la municipalité.

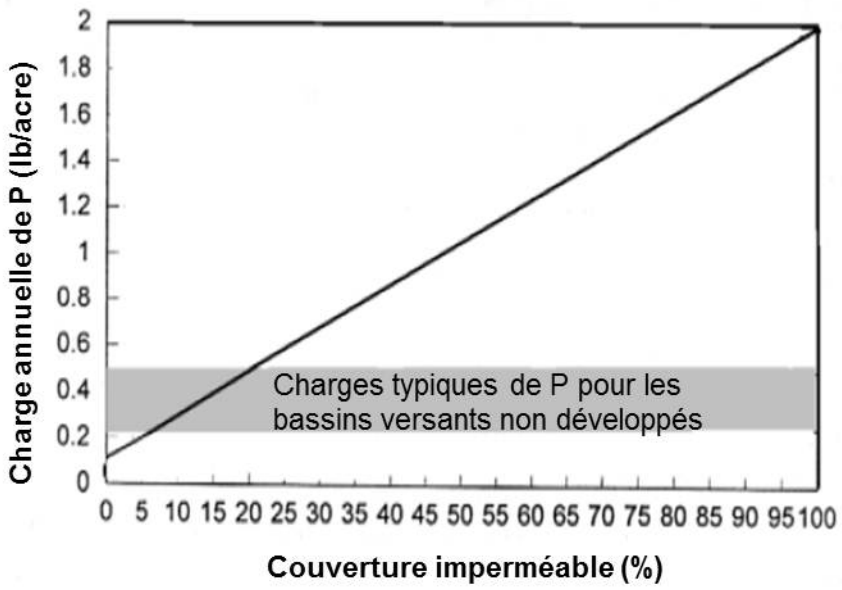
4 Futurs projets de développement

4.1 État de la situation de l'occupation du sol et de l'évolution du cadre bâti

La forte topographie, l'abondance des précipitations et la mince couche de sol présente en certains endroits du bassin versant justifient que l'on prenne des précautions particulières concernant le développement du territoire dans le bassin versant de la prise d'eau. Ces caractéristiques font en sorte que les contaminants rejetés dans le bassin versant sont transportés plus rapidement vers le réseau hydrique que dans un bassin versant où de telles conditions sont absentes.

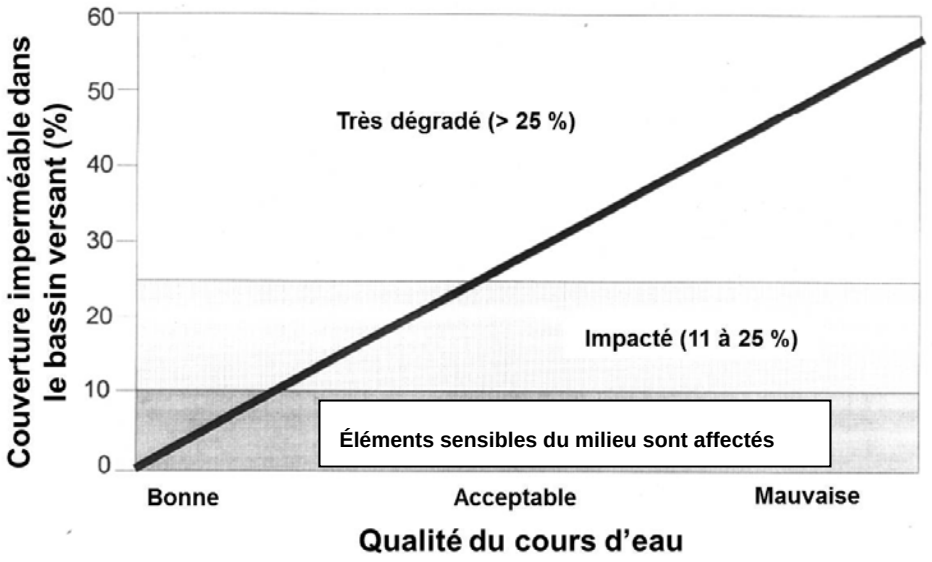
Entre 2000 et 2006, environ 40 % de l'évolution du cadre bâti dans le bassin versant de la prise d'eau a eu lieu dans des zones de contraintes naturelles au développement identifiées dans le rapport d'étude de Roche (2010). La majeure partie du développement dans les zones de contraintes (52 %) s'est faite dans des zones de pentes supérieures à 25 %. Dans une moindre mesure, ce développement a eu lieu à proximité du réseau hydrographique (< 20 m d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau) ainsi qu'en plaine inondable et en malgré la réglementation en vigueur. C'est ce qui a justifié le développement du RCI qui est entré en vigueur le 8 novembre 2010 afin de prévenir le développement de terrains dans des zones de contraintes naturelles comme les zones de fortes pentes, les plaines inondables, les milieux humides ainsi que les bandes riveraines des cours d'eau.

De façon générale, il existe une relation linéaire entre le pourcentage de milieux naturels dans un sous-bassin versant, la quantité de contaminants atteignant le réseau hydrique, la qualité de l'eau et les coûts de traitement (tableau 2.1 et figures 4.1 et 4.2). Compte tenu que le potentiel de développement résiduel existant dans les périmètres d'urbanisation du bassin versant de la prise d'eau est aussi grand que ce qui a été comblé jusqu'à présent (tableaux 4.1, 4.2 et 4.3 et carte 4), il faut effectuer une analyse rigoureuse des futurs développements par sous-bassin afin de déterminer leur impact sur la qualité de l'eau. Cette analyse permettra d'amorcer une réflexion sur les bénéfices apportés par les futurs développements versus la valeur économique des pertes de services et fonctions écologiques actuellement fournis par les milieux naturels.



Source : Adapté de CWP (2000a)

Figure 4.1 Relation entre le pourcentage de couverture imperméable d'un bassin versant et les charges annuelles de phosphore en lb/acre



Source : Adapté de CWP (2000a)

Figure 4.2 Relation entre le pourcentage de couverture imperméable d'un bassin versant et la qualité de l'eau

Tableau 4.1 Terrains vacants résidentiels en 2013 dans le bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles

	Espaces vacants			Détails des contraintes						
	Superficie (ha)			Superficie (ha)						
	Contraintes superposées	Espaces vacants	Total	Pente 25% et plus	Bande riveraine cours d'eau (15 m)	Sol mince	Milieux humides	Emprise ligne hydroélectrique (15 m)	Zone inondable (0-20 ans)	Moins de 300 m²
La Jacques-Cartier	**502,69**	**643,86**	**1 146,55**	**218,16**	**72,68**	**244,63**	**89,20**	**2,37**	**11,57**	**10,71**
Lac-Beauport	311,22	361,04	672,26	117,57	51,24	146,18	73,36		4,66	6,22
Lac-Delage	34,00	25,50	59,50	15,31	3,89	15,40	5,18			0,66
Saint-Gabriel-de-Valcartier	1,20	7,75	8,96	0,29	0,58		0,21			0,02
Shannon		0,83	0,83							
Stoneham-et-Tewkesbury	156,26	248,74	405,00	84,99	16,97	83,05	10,45	2,37	6,91	3,81
Agglomération de Québec	**41,64**	**178,44**	**220,08**	**3,78**	**8,71**	**1,99**	**23,64**	**0,92**	**7,43**	**1,38**
Québec	41,64	178,44	220,08	3,78	8,71	1,99	23,64	0,92	7,43	1,38
Total	**544,32**	**822,30**	**1 366,63**	**221,94**	**81,39**	**246,62**	**112,84**	**3,29**	**19,00**	**12,09**

Source : *CMQ, 2014*

Contraintes utilisées:

Pente 25% et plus	Réalisé à partir des courbes de niveau à une équidistance de 10 mètres, BDTQ 2001
Sol mince	Réalisé à partir des données écoforestières du 4ème décennal, MRN
Milieux humides	Canard Illimité 2013
Lignes hydroélectriques	Hydro-Québec, 2012
Hydrographie linéaire	BDTQ, 2001
Hydrographie surfacique	Communauté métropolitaine de Québec, 2013
Zone inondable	MDDEFP, 1993
Moins de 300 m²	Calcul de superficie

Tableau 4.2 Espaces vacants constructibles dans le bassin de la prise d'eau de la rivière St-Charles, potentiels d'accueil en logements et prévisions des ménages 2014-2026 pour l'ensemble du territoire des municipalités concernées

Secteur	Espaces vacants bruts (ha)[1]	Espaces vacants nets (ha)[2]	Densités PMAD (log/ha)	Logements potentiels	Prévisions ménages MTQ 2014-2026
La Jacques-Cartier	**644**	**451**	**6,9**	**3 097**	**2 627**
Lac-Beauport	*361*	*253*	*6,0*	*1 516*	*961*
Lac-Delage	*25*	*18*	*9,0*	*161*	*326*
Saint-Gabriel-de-Valcartier[3]	*8*	*5*	*4,5*	*24*	*151*
Shannon[3]	*1*	*1*	*4,5*	*3*	*415*
Stoneham-et-Tewkesbury	*249*	*174*	*8,0*	*1 393*	*774*
Agglomération de Québec	**178**	**125**	**18,0**	**2 248**	**28 062**
Québec[3]	*178*	*125*	*18,0*	*2 248*	*28 062*
Total	**822**	**576**	**9,3**	**5 345**	**30 689**

Source : inventaire des terrains vacants de la CMQ et prévisions démographiques de population et des ménages des municipalités, MTQ, décembre 2013.

Notes :

1-Les espaces vacants bruts excluent les contraintes naturelles et anthropiques.

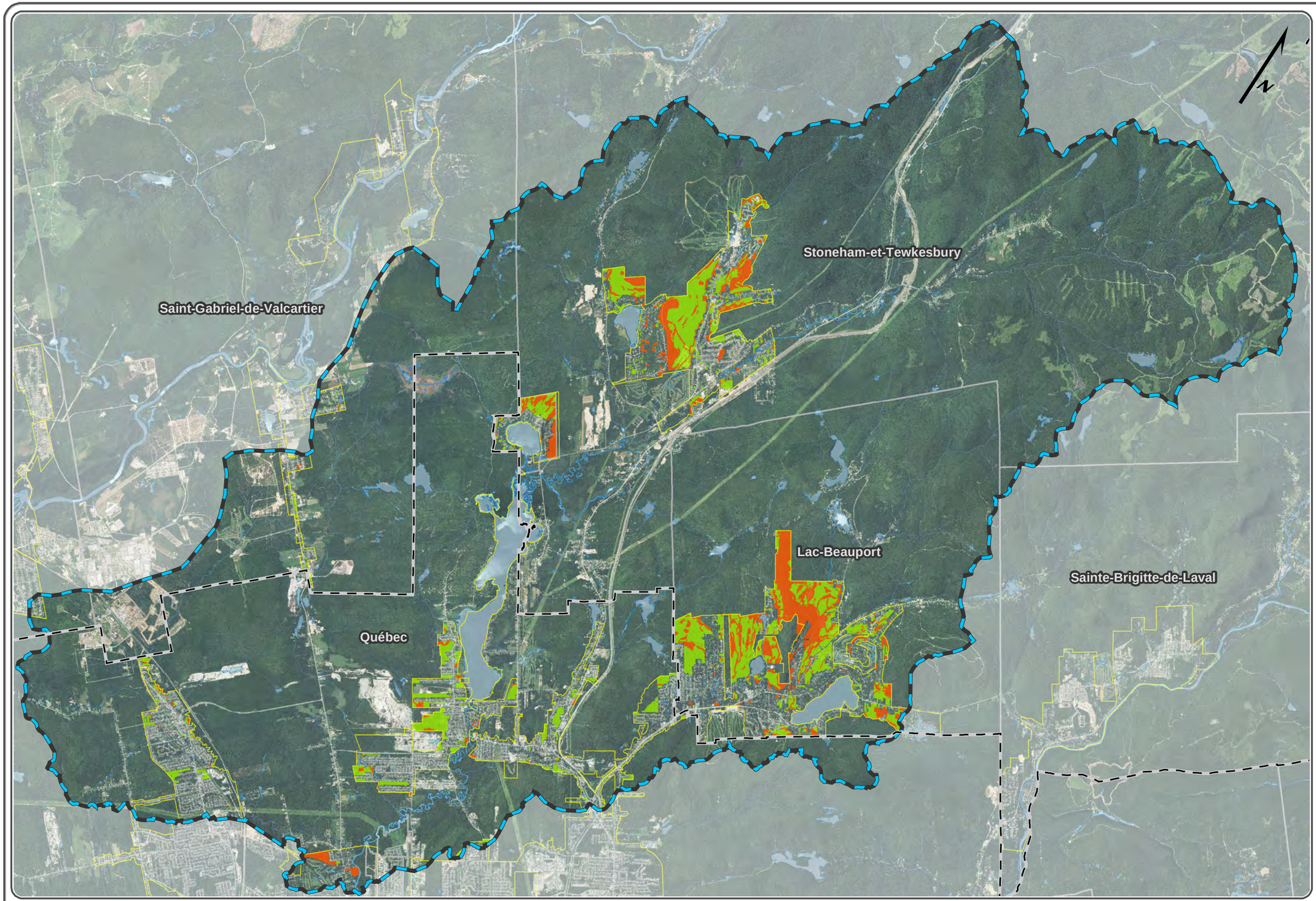
2-Espaces vacants bruts desquels sont soustraits 30 % pour les infrastructures municipales.

3-Les prévisions de ménages pour la Ville de Québec, Shannon et St-Gabriel sont applicables à l'ensemble du territoire de la municipalité et non pas uniquement au territoire visé par le bassin versant de la prise d'eau de la rivière St-Charles.

On se rappellera que les variations actuelles de la qualité de l'eau des principaux affluents de la prise d'eau représentent des contraintes à l'opération de l'usine de traitement de l'eau potable. La gestion des eaux sanitaires et le contrôle du transport sédimentaire représentent des défis. Avec le développement, les variations de qualité de l'eau vont s'amplifier si on ne contrôle pas les contaminants provenant des zones nouvellement développées en tenant compte des caractéristiques propres à chaque sous-bassin et de la capacité de support du milieu. La mise en place de plans d'aménagement d'ensemble (PAE) par sous-bassin versant peut faciliter le travail. Un suivi environnemental est essentiel pour vérifier l'efficacité des mesures mises en place pour atteindre les objectifs de qualité de l'eau.

Comme le lac Saint-Charles constitue le principal réservoir d'eau de bonne qualité alimentant la prise d'eau et qu'il est sensible au processus d'eutrophisation, des précautions doivent être prises pour contrôler les apports d'éléments nutritifs et le transport sédimentaire vers le lac.

Si, dans cinq ans, les actions prévues au plan d'action n'ont pas permis de redresser ou de maintenir la qualité de l'eau dans les principaux affluents de la prise d'eau, des interventions plus robustes devront être mises en place.



Communauté métropolitaine de Québec

Inventaire des terrains vacants résidentiels 2013 dans le bassin versant de prise d'eau de la Rivière Saint-Charles

Limites administratives

- Municipalité
- MRC
- CMQ

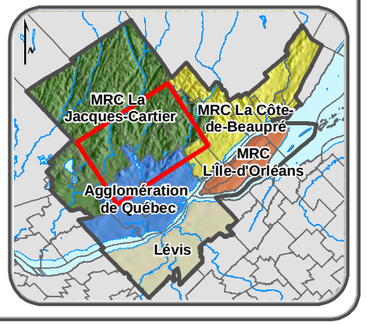
Hydrographie

- Cours d'eau
- Cours d'eau intermittent
- Plans et cours d'eau

- Espace vacant résidentiel
- Contraintes (2013)

- Bassin versant de prise d'eau

- Périmètre urbain régional



Sources :
Ministère des Ressources naturelles (MRN), 2001-2011
Communauté métropolitaine de Québec, 2013

1:90 000

2 1 0 2 4 6
Kilomètres

Datum et projection
NAD 83, MTM fuseau 7

© Communauté métropolitaine de Québec
Réalisé le 06-05-2014
Nom du document: T:\Projet_mxd_production\Gestion urbanisation\Vacants\Vacant2013\Vacant2013BVPESC.mxd

Tableau 4.3 Évolution du cadre bâti et de l'occupation du sol dans le bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles

Année	2009			2011			2013		
Source	APEL			CMQ			CMQ		
Indicateur	Valeur	Importance relative (%)	Variation	Valeur	Importance relative	Variation par rapport à 2009	Valeur	Importance relative	Variation par rapport à 2011
Évolution du cadre bâti				(km²)			(km²)		
Superficie du cadre bâti existant dans le bassin de la prise d'eau (km²)	n.d.	n.d.	n.d.	55,67	n.d.	n.d	56,77	n.d.	2,0%
Superficie du cadre bâti à l'intérieur des périmètres d'urbanisation (km²)	n.d.	n.d.	n.d.	22,91	n.d.	n.d	23,40	n.d.	2,1%
Superficie des périmètres d'urbanisation dans le bassin de la prise d'eau (km²)	n.d.	n.d.	n.d.	46,94	n.d.	n.d	46,94	n.d.	
Périmètre d'urbanisation comblé par le cadre bâti (%)	n.d.	n.d.	n.d.	49%	n.d.	n.d	50%	n.d.	1%
Pourcentage du périmètre d'urbanisation à développer (%)	n.d.	n.d.	n.d.	51%	n.d.	n.d	50%	n.d.	-1%
Occupation du sol**	**km²**	**(%)**		**km²**	**(%)**		**km²**	**(%)**	
Milieu forestier	259,10	74,5	n.d.	255,44	74,3	-0,2%	254,39	74,0	-0,3%
Sous-total (urbain, récréo-touristique, ouvert, agricole)	63,90	18,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
- Milieu urbain	*27,10*	*7,8*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*
- Milieu ouvert	*27,10*	*7,8*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*
- Récréotouristique	*3,80*	*1,1*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*	*n.d.*
- Milieu agricole	*5,90*	*1,7*	*n.d.*	*2,83*	*0,8*	*n.d.*	*2,81*	*0,8*	*-0,7%*
Milieu bâti	n.d.	n.d	n.d.	55,67	16,2	n.d.	56,8	16,5	0,3%
Milieu humide	15,00	4,3	n.d.	20,55	6,0	n.d.	20,5	6,0	0,0%
Lacs et cours d'eau	9,60	2,8	n.d.	9,42	2,7	0,1%	9,4	2,7	0,0%
Non-classé	0,40	0,1	n.d.	0,00	0	0,0%	0	0	0,0%
TOTAL	**348**	**100**	n.d.	**344**	**100**	**n.d.**	**344**	**100**	**n.d.**
Qualité de l'eau brute à la prise d'eau	**Médiane**	**n**	**Min-Max (écart-type)**	**Médiane**	**n**	**Min-Max (écart-type)**	**Médiane**	**n**	**Min-Max (écart-type)**
Coliformes fécaux (UFC/ 100 ml)*	**26**	175	2 - 310 (49,9)	**34**	184	0 - 3 200 (407,3)	**8**	33	1 - 59 (11,8)
Coliformes totaux (UFC/ 100 ml)*	**250**	175	27 - 3 000 (431,3)	**440**	184	16 - 32 000 (4 192,6)	**320**	183	33 - 9 600 (1 453,2)
E. coli (UFC/ 100 ml)*	**n.d**	n.d	n.d.	**n.d**	n.d	n.d	**24**	150	0 - 1 400 (132,3)
Turbidité (UNT)	**1,47**	157	0,88 - 7,68 (1,04)	**1,81**	165	0,16 - 354 (27,4)	**1,77**	178	0,68 - 17,7 (1,66)
Orthophosphates (mg/l)	**0,005**	39	<0,004 - 0,045	**0,007**	35	<0,004 - 0,017	**0,004**	35	<0,004 - 0,012

Notes:

n.d. Non-disponible

* UFC: Unité de formation de colonies

En 2013, les analyses de coliformes fécaux ont été remplacées par les analyses de *Escherichia coli*

****Mise en garde par rapport aux données d'occupation du sol**

Milieu Bâti = Milieu urbain, ouvert, récréotouristique, et bâtiments agricoles

Milieu agricole 2009 inclut les bâtiments agricoles

Milieu humide 2009 n'inclut pas les toubières de type boisé

4.2 Plan d'action

La figure 2.2 présente les actions à mettre en oeuvre dans les secteurs visés par des développements futurs afin de contrôler la dégradation de la qualité de l'eau dans le bassin versant.

Comme il existe une relation directe entre le pourcentage de superficies imperméables dans un bassin versant et la quantité de contaminants qui est transportée vers le milieu hydrique (figures 4.1 et 4.2; CWP, 2000a et c), les professionnels de l'aménagement du territoire se doivent donc d'effectuer une analyse rigoureuse des futurs développements (positionnement, envergure, densité, pourcentage de superficies imperméables et type d'occupation du sol permissible dans chaque sous-bassin versant) compte tenu des objectifs de protection de la ressource en eau potable. C'est pourquoi l'aménagement du territoire est possiblement le plus important outil de protection de bassin versant (CWP, 2000a et c). Dans certains bassins versants qui bénéficient d'une exclusion de filtration aux États-Unis, les milieux naturels représentent dans certains cas plus de 80% de la superficie totale du bassin versant (exemples de Portland, Maine et New York).

Finalement, il est important de renforcer le cadre de développement dans les zones de forte mobilité des contaminants et de forte vulnérabilité des eaux souterraines identifiées aux cartes 1, 2 et 3. Si un développement doit se faire dans ces zones, le promoteur doit démontrer, à la satisfaction de la municipalité, que le développement ne risque pas de présenter un risque d'introduction de contaminants dans le réseau hydrique et l'aquifère ou d'influencer significativement le débit et la recharge de la nappe.

4.2.1 Aménagement du territoire et conservation de la ressource en eau

Les mesures misent en place pour la cadre bâti existant serviront de base pour s'appuyer et graduellement élargir les mesures d'aménagement du territoire et de conservation des ressources en eau aux futurs développements. La figure 2.2 présente les actions à mettre en œuvre dans les secteurs visés par des développements futurs afin de contrôler le rythme de dégradation de la qualité de l'eau. Les mesures suivantes sont proposées :

- Favoriser l'amélioration continue du cadre règlementaire applicable à la protection de la ressource en eau afin de le rendre plus opérationnel et de le renforcer au besoin;
- Poursuivre le programme de conservation et d'acquisition des milieux naturels initialement mis en place pour le cadre bâti existant (en priorité les milieux humides);
- Prévenir l'installation d'activités non compatibles par l'application d'un périmètre de protection autour de la prise d'eau;
- Favoriser le branchement au réseau d'égout sanitaire, à des réseaux collectifs autonomes ou des réseaux mixtes (exemples de Stoneham et lac Sergent) pour les nouveaux développements;
- Renforcer au besoin, l'application des plans de gestion des eaux de ruissellement dans les nouveaux chantiers;

- Mettre en place des plans d'aménagement d'ensemble (PAE) par sous-bassin versant (positionnement, envergure, densité, pourcentage de superficies imperméables et du type d'occupation du sol permissibles) dans chaque sous-bassin versant des périmètres d'urbanisation;
- Réaliser un analyse coûts-bénéfices comme outil d'aide à la décision pour évaluer quantitativement les bénéfices résultant du développement du territoire du bassin versant de la prise d'eau versus les coûts de traitement de l'eau et les coûts de pertes des fonctions et services écologiques remplis par les milieux naturels (alimentation et purification de l'eau, recharge des nappes phréatiques, contrôle des inondations, activités récréatives, touristiques et culturelles, paysage qui procure une meilleure qualité de vie, pêche sportive, conservation de la biodiversité, séquestration du carbone, etc.). La valeur totale de l'ensemble de ces services qui bénéficient à l'ensemble de la population (incluant la population à l'extérieur du bassin versant) doit être considérée;
- Éventuellement reconsidérer l'étendue des périmètres d'urbanisation en fonction de la capacité du support du milieu.

4.2.2 Contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire

Les mesures misent en place pour la cadre bâti existant serviront de base pour s'appuyer et graduellement élargir les mesures de contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire aux futurs développements selon les interventions suivantes :

- Contrôler, à la source, l'érosion et la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement dans les zones de forte susceptibilité à l'érosion;
- Appliquer aux nouveaux développements, le programme de nettoyage du réseau routier recommandé pour le cadre bâti existant;
- Appliquer le programme d'entretien des fossés aux nouveaux développements;
- Renaturaliser les rives et les zones temporairement exposées à l'érosion des chantiers de construction;
- Appliquer aux nouveaux développements, le programme de foresterie urbaine dans le but de renaturaliser une partie des nouveaux espaces urbains qui ont été déboisés.

4.2.3 Contrôle du transport d'éléments nutritifs vers les lacs

Les mesures proposées pour les futurs développements visent à :

- Contrôler les émissions de fertilisants et de pesticides en milieu résidentiel à proximité du réseau hydrique;
- Contrôler l'installation de fosses septiques dans les zones de forte mobilité du phosphore.

4.2.4 Communication, éducation et sensibilisation

Les mesures proposées pour le cadre bâti existant sont reconduites et poursuivies pour les nouveaux développements.

5 Acquisition de connaissances sur le milieu et suivi environnemental

Pour être efficaces, les mesures de contrôle des contaminants doivent être précédées d'une quantification des charges provenant des trois principaux affluents alimentant la prise d'eau ainsi que de leurs sous-bassins secondaires. Pour ce faire, il faut coupler l'évaluation des débits et de la qualité de l'eau en de mêmes points. Les résultats actuels de qualité de l'eau démontrent que les efforts devraient être concentrés en priorité dans les portions aval des sous-bassins versants de la rivière Nelson et de la rivière Jaune ainsi que sur les 11 km de la rivière Saint-Charles en aval du barrage Cyrille-Delage. Malgré que ce constat initialement réalisé en 2010 soit maintenu en 2014, une grande partie de l'effort d'échantillonnage et de suivi de la qualité de l'eau déployée entre 2010 et 2014 a été disséminée sur plusieurs tributaires du bassin versant de la prise d'eau. Bien qu'un effort d'échantillonnage considérable ait été déployé et que le programme de suivi de la qualité de l'eau ait été recadré (Behmel, 2010), force est de constater que l'analyse de cette masse considérable d'information n'a pas permis d'évaluer les charges de contaminants transportées par les principaux affluents et leurs sous-bassins secondaires. En réduisant la dispersion de l'échantillonnage, il serait possible d'augmenter la fréquence des mesures sur ces trois affluents et ainsi évaluer avec plus de précision, l'importance relative des charges et concentrations de contaminants transportées vers la prise d'eau. Il serait ensuite possible de remonter vers l'amont pour mieux cibler les sous-bassins où des interventions correctives auraient le plus d'impact sur les contaminants influençant l'efficacité de traitement de l'eau.

Afin de pouvoir guider efficacement la mise en œuvre des interventions, le plan d'action fournit des recommandations spécifiques visant à consolider et améliorer les programmes d'acquisition de connaissances et de suivi environnemental réalisés par l'APEL, le MDDELCC et les municipalités dans le bassin versant de la prise d'eau. En 2010, un programme de suivi de la qualité de l'eau à l'échelle du bassin versant de la rivière Saint-Charles a été proposé (Behmel, 2010) dans l'optique de planifier le suivi des rivières à long terme. Ce programme se veut dans la continuité du suivi des rivières déjà entamé et se base sur les recommandations émises lors de celui-ci, ainsi que de celles de l'*État de la situation du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles* réalisé de Roche (2010). Le programme prévoit une planification spatio-temporelle du suivi de la qualité de l'eau des rivières et des lacs du bassin versant de la rivière Saint-Charles sur un premier cycle de six ans (2011-2016). Il a été mis en œuvre par l'APEL en 2011 (APEL, 2012).

Afin de pouvoir pleinement tirer profit des informations provenant de l'échantillonnage de l'eau dans l'ensemble du bassin versant, il apparait essentiel d'homogénéiser les méthodes d'analyse utilisées par l'APEL, le MDDELCC et les municipalités (préférablement les méthodes recommandées par le CEAEQ). Il faut aussi retenir des limites de détections analytiques qui permettent la comparaison des résultats avec les critères d'usage de l'eau, d'homogénéiser les périodes et fréquences d'échantillonnage et

d'ajouter certains paramètres comme les orthophosphates qui représentent la forme biodisponible de phosphore. Par exemple, certaines données de qualité de l'eau (concentrations de matières en suspension de 2005 à 2007) récoltées par le MDDELCC dans la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien, n'ont pas pu être utilisées pour vérifier s'il y avait des tendances temporelles car les limites de détection analytique utilisées étaient trop élevées. Dans d'autres cas, les changements de méthodes d'analyse du phosphore rendent difficile les comparaisons temporelles de qualité de l'eau.

Les fréquences d'échantillonnage du MDDELCC sont mensuelles alors que les échantillons d'eau prélevés sur certains affluents de la prise d'eau par l'APEL sont récoltés aux deux semaines. En réduisant la dispersion de l'échantillonnage, il serait possible d'augmenter la fréquence des mesures sur ces trois affluents et ainsi évaluer avec plus de précision, l'importance relative des charges de contaminants transportées vers la prise d'eau en fonction du débit. En couplant pour les trois principaux affluents de la prise d'eau, des stations de qualité de l'eau avec des stations d'évaluation du débit, il serait possible de quantifier les charges mensuelles de contaminants transportées. Pour le faire, il faut se doter des outils et instruments nécessaires pour mesurer les débits sur les trois principaux affluents de la prise d'eau.

La quantification des charges de matières sédimentaires dans les systèmes fluviaux est une préoccupation majeure des chercheurs et des gestionnaires de la ressource en eau et de l'aménagement du territoire. On tente entre autre de comprendre l'influence des activités humaines et des changements climatiques sur l'érosion et le transport sédimentaire comme vecteur de pollution (carbone organique, nutriments, métaux, etc.) et comme facteur contribuant à l'envasement des lacs et réservoirs (Moatar *et. al.,* 2007). Le problème de quantification du transport sédimentaire est lié à la grande variabilité des concentrations et des charges (flux) de matières en suspension (MES) qui ont une réponse temporelle complexe qui est fonction des événements hydrologiques, de l'importance des crues, des caractéristiques naturelles et/ou anthropiques des bassins et de la gestion des barrages (Moatar *et. al.,* 2007). Les études réalisées sur le sujet à partir de données empiriques montrent clairement une amélioration de l'imprécision liée à l'évaluation des charges sédimentaires lorsque la fréquence de mesure passe d'une fréquence mensuelle à hebdomadaire (Moatar *et. al.* 2007).

Finalement, il serait important de solliciter les commentaires des opérateurs de l'UTE en ce qui a trait aux principaux contaminants qui représentent des contraintes à l'opération de l'UTE de Québec. Ceci permettrait de définir plus clairement les buts, les priorités et les objectifs visés pour la qualité de l'eau brute à la prise d'eau.

L'analyse et l'interprétation des résultats provenant du programme de suivi pourrait bénéficier des améliorations suivantes :

- Faire un traitement statistique des données de qualité de l'eau afin d'être en mesure de bien apprécier les facteurs influençant la variabilité de la qualité de l'eau et d'identifier les tendances spatiales et temporelles qui sont statistiquement significatives;
- À partir des données disponibles pour une station donnée, quantifier la fréquence et l'amplitude des dépassements et cerner les sous-bassins versants où les problèmes de qualité de l'eau sont aigus et où le potentiel de récupération des usages de l'eau est élevé;
- Cartographier plus précisément les chemins préférentiels d'écoulement des eaux de ruissellement afin de mieux contrôler le transport des contaminants;
- Cartographier plus précisément les zones de forte mobilité du phosphore afin de pouvoir prendre les mesures nécessaires pour contrôler les apports de phosphore et mieux encadrer et orienter les développements futurs.

Dans une perspective d'aménagement du territoire, il serait pertinent quantifier les coefficients d'exportation de contaminants (charge en kg/ha) émis par des sous-bassins versants aux densités et type d'occupation du sol variées. Les résultats de cette démarche fourniraient des outils d'aide à la décision par rapport aux densités et aux types d'occupation du sol qu'il est possible d'accepter dans un sous-bassin versant sans compromettre la qualité de l'eau, ainsi que de bien planifier leur positionnement dans un sous-bassin. Ainsi, il serait éventuellement possible de développer des plans d'aménagement d'ensemble (PAE) par sous-bassin versant à l'intérieur des périmètres d'urbanisation

6 Mise en œuvre

6.1 Types et mécanismes de coordination

Afin d'obtenir des résultats tangibles pour la mise en œuvre du plan d'action, il est important d'obtenir l'adhésion de l'ensemble des acteurs du bassin versant. Pour ce faire, des liens et des mécanismes durables de communication doivent être établis entre la Ville de Québec qui a la responsabilité de produire une eau potable de qualité et les municipalités du bassin versant qui auront à appliquer les mesures sur leurs territoires respectifs. Il est également important de bâtir sur les mesures existantes et les intérêts communs du plan d'action pour ensuite travailler à résoudre les éléments de divergence.

Les recommandations formulées dans le plan d'action interpellent divers paliers de gouvernement. Par conséquent, leur application doit être réalisée à l'intérieur des limites de leur juridiction. Les municipalités, l'Agglomération de Québec et la MRC de La Jacques-Cartier jouent un rôle de premier plan dans la mise en œuvre du plan d'action puisqu'elles interviennent à divers niveaux et qu'elles peuvent contribuer à son amélioration de par leur expérience pertinente. De plus, les municipalités doivent encourager les autres paliers de gouvernement à identifier et appliquer des programmes de protection ou de réhabilitation environnementale qui répondent aux besoins de protection de la prise d'eau potable par rapport aux sources de contaminants industrielles et commerciales existantes et qui permettront de maximiser les impacts positifs du plan d'action. C'est le cas notamment du MAMOT, du MDDELCC, du Ministère Forêts, Faune et Parcs (MFFP), du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), du Ministère du Transport du Québec (MTQ) au niveau provincial ainsi que le ministère des Pêches et Océans (MPO) et Environnement Canada au niveau fédéral.

Comme la problématique de gestion de la ressource en eau et de l'aménagement du territoire dans le bassin versant de la prise d'eau déborde des limites municipales, il importe que la CMQ assume la coordination pour la mise en œuvre du plan d'action. Ce rôle est d'autant plus important que les prévisions des ménages du MTQ, pour certaines municipalités du bassin versant de la prise d'eau, excèdent les logements potentiellement développables sur les terrains vacants des périmètres d'urbanisation. La CMQ doit se doter d'une structure de gouvernance efficace appuyée par un comité aviseur scientifique indépendant pour guider la mise en oeuvre. Il est recommandé que cette structure fasse rapport aux élus sur une base régulière. La structure doit avoir les moyens et ressources nécessaires pour remplir sa mission. Cette coordination doit être appuyée sur une base continue, par des réunions fréquentes, des outils d'aide à la décision et par des données techniques provenant du programme de suivi et des systèmes d'information géographique. Ces données doivent être mises à jour sur une base régulière. Pour assurer la réalisation des mesures prévues au plan d'action, la CMQ pourrait faire appel à des partenariats avec les municipalités, la MRC et les autres acteurs du bassin versant (ex. : OBVC, APEL, comité de protection du lac Saint-Charles, etc.). Ainsi, des mandats

pourraient être confiés à certains de ces acteurs en fonction de leur expérience et de leur expertise pertinente.

6.2 Financement durable des mesures

Compte tenu de l'importance de la prise d'eau pour la population de la région et des coûts potentiels inhérents à la réhabilitation et au maintien de la qualité de la ressource en eau, il apparaît justifié de vérifier les opportunités d'augmenter les ressources financières et humaines de protection de la ressource en eau sur le territoire du bassin de la prise d'eau. Un fonds métropolitain de conservation de la ressource en eau pourrait être mis de l'avant puisque la population desservie en tout temps par l'UTE de Québec est largement supérieure à celle habitant le territoire du bassin versant. Un tel fonds n'existe pas actuellement à la CMQ et c'est pourquoi il faudra réfléchir à une évaluation des coûts (étude de faisabilité) afin de financer la mise en œuvre des mesures proposées dans le plan d'action.

Afin de favoriser les chances de succès des mesures mises en place, plusieurs modèles de financement durables utilisés ailleurs dans le monde sont proposés :

- Principe du pollueur-payeur (frais, taxes ou incitatifs fiscaux visant à encourager les entreprises susceptibles d'émettre des contaminants à réduire leurs émissions);
- Constitution d'un fonds en fiducie pour favoriser l'acquisition de terrains pour des fins de conservation et financer les projets de développement économique durable;
- Frais perçus pour l'utilisation des espaces verts nouvellement acquis et la pratique d'activités récréatives dans ces espaces verts;
- Taxe sur les nouveaux permis de construction pour financer les mesures et limiter le développement dans le bassin versant;
- Vente de crédits de séquestration de carbone pour financer les travaux de reboisement du bassin versant;
- Taxe ou redevance régionale sur l'utilisation de l'eau;
- Émission d'obligations de la Ville pour le financement des mesures de conservation et de protection de la ressource en eau.

Comme le financement public n'est souvent pas suffisant pour subvenir au besoin de conservation, il est également souhaitable de favoriser le développement de partenariat public-privé dans des secteurs d'activités où le secteur privé excelle et où il peut y voir des opportunités d'affaire ou de positionnement stratégique face à la compétition. Sur la base des études et de l'expérience acquise par le passé, il est démontré que pour encourager les entreprises à améliorer leurs pratiques, les politiques fiscales ont l'avantage d'être plus flexibles, de stimuler l'innovation et de diminuer les coûts pour les entreprises (Marbek Resource Consultants Inc., 2009).

L'organisme des bassins versants de la Capitale (OBVC) et l'APEL peuvent également être des partenaires actifs des municipalités pour la réalisation de certaines interventions. Des programmes

comme celui de la Fondation Hydro-Québec pour l'environnement et le programme « forêt-faune » de la Fondation de la faune du Québec (FFQ) financent des projets de conservation et de mise en valeur de milieux naturels. Les travaux de stabilisation des berges peuvent être financés par le Programme d'amélioration de la qualité des habitats aquatiques (AQHA) de la FFQ. L'acquisition de boisés et de milieux humides peut se faire, entre autres, par le biais du Programme « Protéger les habitats fauniques » de la FFQ. Ce programme fournit du soutien technique et financier pour des projets d'acquisition de terrains privés ou de servitudes en plus de fournir du financement pour les projets de conservation volontaire des sites qui constituent des habitats fauniques particulièrement productifs, diversifiés ou menacés. La Mountain Equipment Coop (MEC) subventionne l'acquisition de terrains de grande valeur écologique ou récréative pour des fins de conservation ou de protection et supporte le renforcement des capacités des organisations de conservation. La Fondation EJLB finance pour sa part des initiatives environnementales concrètes de protection de l'environnement principalement par l'acquisition et la préservation de sites naturels de valeur écologique exceptionnelle ou d'importance pour le paysage urbain. Le programme « Freshwater Resources » du Walter and Ducan Gordon Foundation supporte quant à lui le développement de réformes réglementaires et d'actions citoyennes visant à protéger la qualité et la quantité d'eau pour les générations futures.

6.3 Gestion de projet et suivi

Dans un souci d'efficacité, la mise en œuvre du plan d'action devrait être gérée comme un projet, selon les principes de gestion de projet. Afin d'assurer un suivi et une gestion efficace du projet, les municipalités seront appelées à rendre des comptes. La CMQ pourrait alors s'assurer de colliger l'ensemble des redditions de compte pour le bassin versant de la prise d'eau en partenariat avec les municipalités, la MRC et les autres acteurs du bassin versant.

Le plan d'action pourrait être décomposé en projets à réaliser selon une structure de découpage de projet. Pour chacune des tâches, des priorités devront être établies, un responsable identifié, un échéancier et un budget fixés et des indicateurs de performance devront être définis.

Afin d'améliorer les chances de succès du plan d'action, il est recommandé de consolider, dès que possible, le programme d'acquisition de connaissances et de suivi environnemental. Une fois consolider ce programme permettra de fournir les outils d'aide à la décision requis pour déployer les efforts et les ressources dans les sous-bassins versants où les problèmes de qualité de l'eau sont aigus et où le potentiel de récupération des usages de l'eau est élevé. Pour ce faire, les améliorations suggérées dans le plan d'action devront être apportées au programme de suivi de la qualité de l'eau. Les opérateurs de l'UTE de Québec devront participer à l'initiative en identifiant les contaminants prioritaires qui représentent une contrainte à l'opération de l'UTE ou qui constituent un risque potentiel pour la santé publique. Le programme d'acquisition de connaissances et de suivi permettra d'évaluer la performance des mesures mises en place sur la base d'indicateurs environnementaux et de mettre à jour, sur une base régulière, les connaissances relatives au bassin versant en question.

7 Conclusion

La conservation des milieux naturels par l'acquisition de terrains à des fins de conservation est l'outil qui présente le plus haut niveau de protection contre toute activité anthropique. C'est également la stratégie la moins coûteuse pour protéger la ressource en eau et la pérennité de la prise d'eau. Les fonctions d'alimentation et de purification de l'eau remplies par les milieux naturels sont complétées par d'autres fonctions et services dont la valeur bénéficie à l'ensemble de la population (incluant celle à l'extérieur du bassin). La valeur de l'ensemble de ces services doit être considérée par les municipalités avant de prendre la décision de déboiser et développer une nouvelle portion du bassin versant de la prise d'eau. La santé des écosystèmes et leur capacité à fournir des services écosystémiques reposent essentiellement sur la présence de ressources durables en eau propre de qualité (TRNEE, 2010). En plus de la conservation des milieux naturels, le plan d'action recommande de contrôler les émissions de contaminants à l'intérieur d'une zone proximale d'intervention dans le cadre bâti existant ainsi que des mesures visant à protéger le fragile équilibre du lac Saint-Charles contre l'eutrophisation. Bien que le processus de vieillissement du lac Saint-Charles n'affecte pas présentement la qualité de l'eau brute à la prise d'eau, les résultats de qualité de l'eau et de suivi des algues et des plantes aquatiques dans le lac Saint-Charles justifient, par mesure de précaution, de contrôler les apports d'éléments nutritifs et le transport sédimentaire vers le lac. Ceci afin de retarder le processus d'eutrophisation du lac, puisqu'il s'agit d'un processus difficilement réversible.

La forte topographie, l'abondance des précipitations et la mince couche de sol présente en certains endroits du bassin versant justifient que l'on prenne des précautions particulières d'aménagement du territoire dans le bassin versant de la prise d'eau. Ces caractéristiques font en sorte que les contaminants émis dans le bassin versant sont transportés plus rapidement vers le réseau hydrique que dans un bassin versant où de telles conditions sont absentes. Comme le potentiel de développement des périmètres d'urbanisation dans le bassin versant de la prise d'eau est seulement comblé à moitié, il importe d'adopter une planification de l'aménagement du territoire qui est propre au contexte d'un bassin versant d'une prise d'eau potable. Pour ce faire, il faut effectuer une analyse rigoureuse des futurs développements dans chaque sous-bassin versant des périmètres d'urbanisation afin de contrôler le rythme de dégradation de la qualité de l'eau.

La mise en œuvre du plan d'action est supportée par un volet de d'acquisition de connaissances sur le milieu et un suivi environnemental. Le plan fournit plusieurs recommandations spécifiques visant à consolider et améliorer les programmes de suivi existant. Il est essentiel de s'engager rapidement dans un processus de consolidation et d'amélioration du programme afin de mieux cibler les sous-bassins où des interventions correctives auraient le plus d'impact sur les contaminants influençant le plus l'efficacité de traitement de l'eau. En attendant que ce programme produise des résultats, il faut mettre de l'avant les mesures propres au cadre bâti existant en déployant des efforts importants dans la portion aval du bassin

versant, sans négliger les autres secteurs du bassin pour ralentir le rythme d'eutrophisation des lacs. Il est recommandé de commencer par les mesures qui sont le plus susceptibles de produire rapidement des diminutions de charges de contaminants importantes à la hauteur de la prise d'eau.

Étant donné la portée du mandat, les mesures proposées touchent spécifiquement la protection de la ressource en eau potable. Pour favoriser un approvisionnement sécuritaire d'eau potable, ces mesures doivent être complétées par des mesures qui touchent les installations de traitement et le réseau de distribution de l'eau, qui sont les deux autres composantes de l'approche de protection « multibarrières » (MDDEP, 2010; CCME, 2004). Ainsi, une eau brute de bonne qualité peut réduire le risque pour la santé humaine d'une installation de traitement qui n'atteindrait plus le taux de traitement recherché (MDDEP, 2010; CCME, 2004).

L'adhésion et l'engagement des municipalités dans la mise en œuvre du plan d'action sont essentiels à sa réussite (Conseil de la science et de la technologie, 2010). La coordination des mesures mises en place avec les principaux acteurs de l'eau l'est tout autant. La prise en charge des recommandations peut diminuer les probabilités de contamination du réseau hydrique et de l'apparition de floraisons de cyanobactéries dans le lac Saint-Charles.

Il est également attendu que les effets des changements climatiques sur l'eau posent d'importants défis de gestion de la ressource en eau (TRNEE, 2010). L'importance relative des milieux naturels qui seront conservés dans le bassin versant de la prise d'eau déterminera la capacité du réseau hydrique à faire face aux conditions d'étiages sévères qui sont susceptibles de se présenter avec le réchauffement climatique. Les milieux naturels permettent d'emmagasiner temporairement des eaux fraîches de qualité et de graduellement restituer cette eau pour les besoins de la prise d'eau. Ainsi, en condition d'étiage, la pression sur la ressource en eau du lac Saint-Charles risque de s'accentuer compte tenu de son importance relative dans l'approvisionnement de la prise d'eau en condition de faible hydraulicité.

8 Références

Ahuja, L. R. 1986. Characterization and modeling of chemical transfer in runoff. Advances in Soil Sciences 4: 149-88.APEL. 2014. Diagnose du lac Saint-Charles, rapport final. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, 519 pages.

APEL 2013. Diagnose du lac Clément 2012, Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 73 pages plus annexes.

APEL. 2009. Étude limnologique du haut-bassin de la rivière Saint-Charles, rapport final. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 354 p.Barbeau, B., A. Carrière, M. Prévost, A. Zamyadi et P. Chevalier. 2008. Changement climatique au Québec méridional : Analyse de la vulnérabilité des installations québécoises de production d'eau potable aux cyanobactéries toxiques – Résumé. Institut nationale de santé publique du Québec. 15 pages.

APEL. 2010b. Rapport d'enquête sur les sources de contamination du ruisseau des Eaux-Fraîches. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord. Québec. 38 pages.

APEL. 2011b. Rapport d'enquête sur les sources de contamination du ruisseau du Valet. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord. Québec. 51 pages.

APEL. 2012. Suivi des rivières du bassin versant de la rivière Saint-Charles – Campagne 2011. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord. Québec. 133 pages.

APEL. 2012b. Rapport d'enquête sur les sources de contamination du ruisseau Savard. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec. 57 pages.

Beaudin, I. 2008. La baie Missisquoi : véritable laboratoire à ciel ouvert. Survol des outils de diagnostic et de prédiction de la pollution diffuse. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). Présentation faite dans le cadre du forum régional sur les cyanobactéries de l'Estrie (2 mai 2008). Cyanobactéries : des outils pour agir.

Behmel, S. (2010). Proposition d'un programme de suivi de la qualité d'eau à l'échelle du bassin versant de la rivière Saint-Charles. Québec, Université Laval : 421.

Beven, K., et F. Wood. 1983. Catchment geomorphylogy and the dynamics of runoff contributing areas. Journal of Hydrology 65: 139-58.

Cantin, Jean. 1998. Effets des apports d'engrais minéraux phosphatés dans les démarreurs à maïs-grain en complément des apports de phosphore provenant des engrais de ferme selon la saturation en phosphore des sols, Association des fabricants d'engrais du Québec.

Capiella, K., Schueler, T. et Wright, T. 2005. Urban Watershed Forestry Manual: Part 1: Methods for Increasing Forest Cover in a Watershed. Center for Watershed Protection. United States Department of Agriculture. 140 p.

CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). 2004. De la source au robinet: Guide d'application de l'approche à barrières multiples pour une eau potable saine. Conseil canadien des ministres de l'environnement. Winnipeg. 274 p.

CIC (Canards Illimités Canada). 2004. L'importance des milieux humides dans le développement d'une communauté viable. Mémoire soumis à la Communauté métropolitaine de Québec dans le cadre de la consultation publique sur le Projet d'énoncé de la vision stratégique du développement. M-15. Québec. 8 p.

Conseil de la science et de la technologie. 2010. Gestion durable des ressources en eau au Québec: les défis de l'intégration et les enjeux de recherché associés. 77 p.

CWP (Center for Watershed Protection). 2000a. Basic Concepts in watershed Planning. Article 28. p. 135-151. Dans Schueler, T.R. et Holland, H.K. (eds.). The Practice of Watershed Protection. Center for Watershed Protection. Ellicott City. MD.

CWP (Center for Watershed Protection). 2000c. The Tools of Watershed Protection. Article 27. p. 123-134. Dans Schueler, T.R. et Holland, H.K. (eds.). The Practice of Watershed Protection. Center for Watershed Protection. Ellicott City. MD.

Déry, A. 2012. Comparaison à l'échelle réelle des performances d'un filtre conventionnel et d'un filtre au charbon activé en grains précédés d'une inter-ozonation. Mémoire de maîtrise présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales de l'Université Laval. Département de génie civil et génie des eaux. Faculté des sciences et génie. Université Laval, Québec. 156 pages.

Dombeck, M.P., Thomas, J.W. et Wood, C.A. 1997. Changing roles and responsabilities for federal land management agencies. P. 135-144. Dans: Williams, J.E., Wood, C.A. et Dombeck, M.P. (eds.). Watershed Restoration: Principles and Practices. American Fisheries Society. Bethesda. Maryland. 561 p.

Durette, M. et F. Morneau. 2002. Problématique d'érosion dans la rivière des Hurons. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord. 14 p. + annexes.

Ellis, D. 2009. Guide d'intervention pour les propriétaires, les exploitants ou les concepteurs de stations de production d'eau potable municipales aux prises avec une problématique de fleurs d'eau de cyanobactéries. 2e édition. Ministère du développement Durable, de l'Environnement et des Parcs. Direction des politiques de l'eau, Québec, ISBN 978-2-550-53297-2, 456 p.

Enright, Peter, and Chandra A. Madramootoo. 2003. Phophorus losses in surface runoff and subsurface drainage waters on two agricultural fields in Quebec, CSAE/SCGR 2003 meeting Montréal Québec.

Environnement Canada. 2009. Gestion de l'eau: Éducation et mobilisation. Environnement Canada. Site Internet consulté le 1er février 2010: [http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=3A6E4280-1].

Frossard, E., J. Pierre, J.-A. Neyroud et S. Sina. 2004. "Cahier de l'environnment no. 368 - Le phosphore dans les sols - État de la situation en Suisse." Le phosphore dans les sols, les engrais, les cultures et l'environnement, 368. Office fédéral de l'environnement, des fôrets et du paysage (OFEFP), Berne.

Gabor, T.S., North, A.K., Ross, L.C.M., Murkin, H.R., Anderson, J.S. et Raven, M. (2004) Natural Values – The Importance of Wetland and Upland Conservation Practice in Watershed Management: Function and Values for Water Quality and Quantity. Rapport inédit de Canard Illimités Canada. Manitoba, 55 p.

Groupe scientifique sur l'eau, 2005. Proposition de critères d'intervention et de seuils d'alerte pour les cyanobactéries, Québec, Institut national de santé publique du Québec, INSPQ-2005-005, 4 p. [En ligne] http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/348-CriteresInterventionCyanobacteries.pdf

Institut de la statistique du Québec. 2009b. Répertoire des établissements miniers du Québec 2008 : Liste des entreprises productrices pour certaines régions et substances. Gouvernement du Québec. 4 p.

IRDA. 2008. Les sources, les formes et la gestion du phosphore en milieu agricole. IRDA Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Fiche technique No. 2 12 pp.

Jamieson, A., C. A. Madramootoo, and P. Enright. 2003. Phosphorus losses in surface and subsurface runoff from a snowmelt event on an agricultural field in Quebec.

Lapalme, R. 2008. Algues bleues: des solutions pratiques. Bertrand Dumont éditeur. 255 p.

Légaré, S. 1998. Dynamique de l'oxygène en lac et en rivière dans le bassin versant de la rivière Saint-Charles. Mémoire de maîtrise. Université Laval. 116 p. + annexes.

Lemay-Lavigne, Robin. 2005. Les bandes végétatives filtrantes et la qualité de l'eau: une revue de littérature (Communication personnelle).

Marbek Resource Consultants Inc. 2009. Research Report: Water Sector. Préparé pour la Federation of Canadian Municipalities. Marbek Resource Consultants Inc. 139 p.

McGurrin, J. et Forsgren. 1997. What works, what doesn't, and why. p. 459-471. Dans:Williams, J.E., Wood, C.A., et Dombeck, M.P. (eds.). Watershed restoration: principles and practices. American Fisheries Society. Bethesda. Maryland. 561 p.

MDDEFP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs). 2013. Critères de qualité de l'eau de surface, 3e édition, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement. 510 pages et 16 annexes. Aussi disponible en ligne [http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/criteres.pdf]

MDDEFP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs). 2014. Banque de données sur le milieu aquatique (BQMA). Québec. Direction du suivi de l'état de l'environnement.

MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs). 2009. Réduction du phosphore dans les rejets d'eaux usées d'origine domestique : Position du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. [en ligne] http://www.mddep.gouv.qc.ca/EAU/EAUX-USEES/reduc-phosphore/index.htm. page consultée le 28 avril 2014.

MDDEP (Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs). 2009b. Répertoire des terrains contaminés. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs. Services des lieux contaminés. Gouvernement du Québec. Site Internet visité le 28 septembre 2009 : [http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/terrains-contamines/recherche.asp?nom_dossier=&adresse=&municipalite=&mrc=&nom_region=&contaminant=&eau_contaminant=&sol_contaminant=].

MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs). 2010. Stratégie de protection et de conservation des sources d'eau potable. Document de consultation. Janvier 2010. 37 p. + annexes.

Meybeck, M., Laroche, L., Durr, H.H., et Syvistski, J.P.M.. 2003. Global variability of daily total suspended solids and their fluxes in rivers. Global and Planetary Change 39: 65–93.

Michaud, Aubert, Julie Deslandes, Isabelle Beaudin, and Jacques Desjardins. 2005. "Modélisation de l'hydrologie et des dynamiques de pollution diffuse dans le bassin-versant de la Rivière aux Brochets à l'aide du modèle SWAT." Rapport Préliminaire, irda (institut de recherche et de développement en agroenvironnement).

Michaud, Aubert, Richard Lauzier, and Marc R. Laverdière. 2002. Description du système de transfert du phosphore dans le bassin versant du ruisseau au Castor. Agrosol 13, no. 2: 124-39.

Moatar, F., et Meybeck, M. 2007. Riverine fluxes of pollutants: towards predictions of uncertainties by flux duration descriptor. C.R. Geoscience, Hydrology-Hydrogeology 339: 367–382.

Olsen, T. 2009. L'identification des sources de sédiments à l'aide de l'analyse spatio-temporelle de sédigrammes de crue. Université du Québec à Rimouski. Présentation faite au Rendez-vous international sur la gestion intégrée de l'eau. Des outils pour agir. Sherbrooke, juin 2009.

Patty, L., J Real, and J. Grill. 1997. The use of grassland buffer strips to remove pesticides, nitrate and soluble phosphorus compounds from runoff water. Pesticide Science 49, no. 3: 243-51.

Pionke, H. B., W. J. Gburek, A. N. Sharpley, and Zollweg. 1997. Hydrological and Chemical Controls on Phosphorus Loss from Catchments. Phosphorus Loss from Soil to Water., 225-42. H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes and A.E. Johnston.

Postel, S.L. et Thompson, B.H. Jr. 2005. Watershed Protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. Natural Resources Forum. 26: 98-108.

Prévost, M., Nour, S. et Jaidi, K. 2006. Évaluation critique des approches de protection des sources d'eau potable et des critères de dérogation à la filtration. École Polytechnique de Montréal. 134 p.

RAMSAR. 2002. Les zones humides: valeurs et fonctions. Publié le 21 décembre 2000 et mis à jour le 26 mars 2002. Site Internet consulté le 10 août 2009: [www.ramsar.org/info/values_intro_f.html].

Robert, C. 2008. Résultats de cyanobactéries et cyanotoxines à sept stations de production d'eau potable (2004-2006), Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 23 pages et 2 annexes.

Roche. 2010. État de la situation du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles. Rapport final. Présenté à la Communauté métropolitaine de Québec, janvier 2010, 221 p. + cartes et annexes.

Santé Canada 2013. Conseils pour un approvisionnement en eau potable salubre dans les secteurs de compétence fédérale, version 2. Bureau de la qualité de l=eau et de l=air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). (N° de catalogue H128-1/05-440-1F-PDF).

Sauvé, L. 2002. L'éducation relative à l'environnement: possibilités et contraintes. Article publié dans Connexion, La revue d'éducation scientifique, technologique et environnementale de l'UNESCO. Vol. XXVII. No 1/2. p. 1-4.

Sharpley A.N. 1996. Availability of phosphorus in manured soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 1459-66.

Shaver, E., Horner, R., Skupien, J., May, C. and Ridley, G. 2007. Fundamentals of Urban Runoff Management: Technical and Institutional Issues. 2nd Edition. North American Lake Management Society in collaboration with the U.S. Environmental Protection Agency. Madison, WI. 327 p.

Taylor, B.L. 1993. The Influence of Wetland and Watershed Morphological Characteristics and Relationships to Wetland Vegetation Communities. Master's Thesis. Dept. Of Civil Engineering University of Washington. Seattle. WA.

Thibault, S., Boulé, V., Taillon, A, et Coulombe, M.-L. 2009 Les milieux humides: Un outil de gestion des eaux de ruissellement urbaines et agricoles. VECTEUR environnement. p. 32-37.

TRNEE (Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie) 2010. Courant de changement. La pérennité de l'eau et des secteurs des resources naturelles au Canada. 165 p.

Vallières, D. 2005. Bandes enherbées étroites et travail réduit du sol pour contrôler la pollution diffuse en milieu agricole. Colloque en agroenvironnement - Des outils d'intervention à notre échelle.

Veolia Eau. 2007. Sensibilisation et éducation des citoyens. Site Internet visité le 1er février 2010: [http://www.veoliaeau.com/developpement-durable/solutions/sensibilisation/].

VILLE DE QUÉBEC, 2012. Guide du promoteur. Développement dans les bassins versants de prise d'eau à Québec. 92 p.

Walling D.E, Webb B.W. 1981. The reliability of suspended sediment load data. International Association of Hydrological Sciences Publication 133: 177–194.

Walter, M. T., M. F. Walter, E. S. Brooks, T. S. Steenhuis, J. Boll, and K. Weiler. 2000. Hydrologically Sensitive Areas: Variable Source Area Hydrology Implications for Water Quality Risk Assessment. Journal of Soil and Water Conservation : 277-84.

Wetzel, R.G. 2001. Limnology: Lake and River Ecosystems. Third Edition. Academic Press. London. 1005 pages.

Annexe 1

Principaux constats de l’étude de Roche (2010)

Annexe 1 Principaux constats du rapport d'étude de Roche (2010)

Actuellement, la qualité de l'eau brute prélevée à la prise d'eau satisfait aux exigences de production de l'eau potable, ce qui est en grande partie lié à la capacité naturelle de filtration de son bassin versant où le milieu forestier occupe 74,5 % de son territoire. L'eau potable produite par l'UTE de Québec est de grande qualité et fait l'objet d'un suivi rigoureux réalisé par la ville de Québec et dont les résultats sont transmis au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) conformément au *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (c. Q-, r. 40).

La variation de la qualité de l'eau brute

Toutefois, les variations actuelles de la qualité de l'eau brute approvisionnant la prise d'eau peuvent, à l'occasion, représenter des contraintes à l'opération de l'UTE de Québec en augmentant les coûts de traitement. En général, la qualité de l'eau d'une prise d'eau s'approvisionnant à même les eaux de surface est fragile et intimement liée à la conservation des milieux naturels de son bassin versant. Il existe une relation directe entre la proportion d'un bassin versant qui est développée, la quantité de contaminants transportés vers les cours d'eau et les coûts de traitement.

Le bassin versant de la prise d'eau est constitué à 82 % de milieux naturels (boisés, milieux humides, lacs et cours d'eau) et à 18 % de milieux urbains, déboisés, agricoles et de zones récréotouristiques (golfs et centre de ski). Les milieux naturels du bassin versant du lac Saint-Charles et le lac lui-même remplissent des services de filtration et d'épuration de l'eau qui font en sorte que la qualité de l'eau à la sortie du barrage est qualifiée de bonne.

Cependant, la qualité de l'eau du bassin versant de la prise d'eau montre déjà certains signes de dégradation qui sont surtout détectés en aval de l'exutoire du lac Saint-Charles, en particulier à cause des apports des rivières Jaune et Nelson et de ceux des milieux urbains de la rivière Saint-Charles. Les principaux paramètres de dégradation de la qualité de l'eau sont les coliformes, les matières en suspension (MES), la chlorophylle-a et le phosphore. Le rapport d'étude de Roche (2010) fait ressortir les variations temporelles et spatiales de la qualité de l'eau et identifie les sources naturelles et anthropiques de contaminants.

Les caractéristiques propres au milieu et son développement

L'importante superficie boisée du bassin versant, le taux de renouvellement élevé de l'eau du lac Saint-Charles et la profondeur élevée de son bassin nord, le protègent en partie contre l'eutrophisation. Toutefois, les concentrations de chlorophylle-*a* dans l'eau du lac le classent comme mésotrophe ou méso-eutrophe (APEL, 2009), c'est-à-dire qu'il dépasse légèrement le troisième niveau d'une échelle à cinq niveaux principaux d'états trophiques utilisée par le MDDEP. Les communautés fossiles de diatomées du lac Saint-Charles indiquent que des conditions mésotrophes s'y sont maintenues tout au long du vingtième siècle (Tremblay *et al.*, 2001). Or, les analyses géochimiques effectuées sur les sédiments du lac indiqueraient une augmentation de la pollution de l'eau de celui-ci par les métaux au cours du dernier siècle (Tremblay *et al.*, 2001). L'augmentation significative du développement récent dans le bassin versant, l'utilisation intensive des rives ainsi que les faibles profondeurs du bassin sud du lac sont des facteurs qui pourraient favoriser l'eutrophisation du lac et le développement de plantes aquatiques.

De plus, la combinaison de la forte topographie, des précipitations annuelles supérieures à bien d'autres régions du Québec et de la mince couche de sol présente en certains endroits justifient de prendre des précautions particulières par rapport au développement du territoire. Ces caractéristiques font, entre autres, en sorte que les contaminants sont transportés plus rapidement vers les cours d'eau.

Entre 1970 et 2006, les municipalités du bassin versant de la prise d'eau ont connu une forte croissance de leur population (entre 20 et 783 % selon les municipalités). Entre 2000 et 2008, l'occupation urbaine du bassin versant a augmenté d'environ 14 % avec une augmentation plus marquée dans les deux dernières années. Entre 2000 et 2006, environ 40 % de l'évolution du cadre bâti dans le bassin versant de la prise d'eau a eu lieu dans des zones de contraintes naturelles au développement identifiées dans le rapport de Roche (2010). La majeure partie du développement dans les zones de contraintes (52 %) s'est faite dans des zones de pentes supérieures à 25 %. Dans une moindre mesure, ce développement a eu lieu à proximité du réseau hydrographique (moins de 20 m d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau) ainsi qu'en plaine inondable et en milieux humides malgré la réglementation existante. Jusqu'à tout récemment, il n'existait peu ou pas de vision d'ensemble des besoins de protection du bassin versant de la prise d'eau et de ses écosystèmes.

Les activités et les occupations du sol non appropriées

Historiquement, la colonisation et l'occupation du territoire débutaient dans les fonds de vallée. Conséquemment, la portion aval du bassin versant de la rivière Saint-Charles, et en particulier les rives des lacs et des cours d'eau, sont déjà en partie urbanisées. Or, plusieurs activités ou occupations du sol présentes depuis des décennies dans le bassin versant de la prise d'eau sont peu conciliables avec les objectifs de protection d'une source d'eau brute destinée à l'approvisionnement en eau potable.

À titre d'exemple, en amont de la prise d'eau, sur le territoire de la Ville de Québec, on compte 8 ouvrages de surverse du réseau d'égout sanitaire. De plus, en 2006, 2 600, résidences qui n'étaient pas raccordées au réseau d'égout sanitaire et dont certaines installations étaient non-conformes. Il existe également 117 exutoires de conduites pluviales qui se jettent en amont de la prise d'eau. Dans les autres municipalités, il existe plusieurs résidences isolées qui ne sont pas raccordées à un réseau d'égout sanitaire et dont certaines sont non-conformes. Il y a également deux émissaires d'eaux usées traitées provenant des étangs aérés des municipalités de Lac-Delage et des cantons unis de Stoneham-et-Tewkesbury.

D'autres activités présentes sur le territoire du bassin versant de la prise d'eau et qui entrent en conflit avec la préservation de la qualité de l'eau de celle-ci sont soulignées dans le rapport d'étude de Roche (2010). Quatre cimetières d'automobiles se trouvent dans le bassin versant de la prise d'eau, dont trois qui sont implantés à moins de 1 km de la rivière Saint-Charles dans un rayon de 5 km de la prise d'eau. Il existe aussi au moins 20 terrains contaminés ou qui ont été décontaminés mais dont la qualité des sols correspond ou dépasse le niveau C[1] de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* du MDDEP. De plus, sept terrains de golfs sont implantés en amont de la prise d'eau, dont un qui est situé à moins de 1 km de celle-ci et dont les eaux de drainage semblent se déverser à 130 m en amont de la prise d'eau. On note également la présence de carrières et sablières, dont une qui est opérée à 1,5 km

[1] Limite de contamination maximale acceptable de pour des terrains à vocation commerciale, non situés dans un secteur résidentiel, et pour des terrains à usage industriel.

de la rivière Saint-Charles dans un rayon de 4 km de la prise d'eau. Finalement, la présence d'un réseau autoroutier fort développé ainsi que des lignes de transport d'énergie et de milieux ouverts contribuent au transport sédimentaire et aux apports de chlorures vers le réseau hydrique.

Le manque de ressources municipales et d'uniformisation des règlements municipaux et des normes de protection environnementale

Le manque de ressources municipales représente une contrainte à l'application de la réglementation existante liée au *Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées* (Q-2, r. 22), au contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire et à l'application de la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*. Malgré les règlements en vigueur, la tonte des pelouses et la présence d'aménagements paysagés en bordure du lac Beauport et du lac Saint-Charles sont fréquents. Le manque de ressource fait également en sorte qu'il n'y a pas de programme de surveillance systématique des chantiers et des fossés de drainage, dont ceux qui drainent les zones de conflits d'usage. Le peu de mesures de contrôle de l'érosion et du transport sédimentaire sur les chantiers commerciaux et résidentiels à proximité du réseau hydrique contribuent au transport de sédiments qui peuvent avec le temps, diminuer l'efficacité du réseau pluvial et nuire à l'efficacité de traitement de l'usine de traitement de l'eau potable.

Malgré qu'il soit démontré que le nettoyage des rues contribue à diminuer significativement les charges de contaminants transportées par les eaux de ruissellement (Claytor, 2000), les arrondissements de la Haute Saint-Charles et de Charlesbourg disposent de peu d'équipement de nettoyage de rue et certains secteurs bordant le lac Saint-Charles ne sont pas desservis (ex. Avenue du lac Saint-Charles). Dans les autres municipalités, le nettoyage des rues se fait principalement au printemps alors que dans certains arrondissements de la Ville de Québec (Sainte Foy-Sillery, Cap Rouge), le nettoyage des rues est une opération systématique qui se fait jusqu'à quatre fois par an (mai, juillet, septembre, octobre).

En conclusion

L'état actuel du bassin versant de la rivière Saint-Charles offre encore l'opportunité d'adopter des mesures préventives pour orienter le développement de manière à ce qu'il ne dépasse pas la capacité de support du milieu ou qu'il devienne une contrainte à l'application de mesures correctives efficaces.

Cependant, le rapport de Roche (2010), le plan directeur de l'eau du bassin de la rivière Saint-Charles (CBRSC, 2009) et le rapport de l'APEL (2009) (financé par la Ville de Québec) indiquent que tout délai supplémentaire dans la prise en charge du contrôle du développement et des sources de pollution dans le bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles pourrait avoir des conséquences néfastes sur la qualité de l'eau alimentant la prise d'eau, tels que l'augmentation de la probabilité de contamination du réseau hydrique et d'apparition de floraisons de cyanobactéries dans le lac Saint-Charles. À cela s'ajoute une augmentation potentielle des coûts de traitement de l'eau potable et un accroissement des coûts futurs de réhabilitation du milieu. Comme les règlements municipaux et les normes de protection environnementales varient grandement d'une municipalité à l'autre, il y a lieu de réfléchir à une réglementation harmonisée et la mise en commun de ressources régionalisées qui permettront d'assurer la protection à long terme de la ressource en eau dans l'intérêt des utilisateurs de l'eau.

Références

APEL (Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord). 2009. Limnologie du lac Saint-Charles – Données préliminaires. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord. 23 p. Document de travail transmis par la Ville de Québec le 23 juillet 2009.

CBRSC (Conseil de bassin de la rivière Saint-Charles. 2009. Plan directeur de l'eau du bassin versant de la rivière Saint-Charles – Rapport final. Conseil de bassin de la rivière Saint-Charles. 20 p.

Claytor, R. 2000. New Developments in Street Sweeper Technology. Article 121. The Practice of Watershed Protection. 2000. In Schueler, T. and Holland, H., eds. Center for Watershed Protection. Ellicott City, MD.

Roche. 2010. État de la situation du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles. Rapport final. Présenté à la Communauté métropolitaine de Québec, janvier 2010, 221 p. + cartes et annexes.

Tremblay, R., Légaré, S. Pienitz, R., Vincent, W.F. et Hall, R.I. 2001. Étude paléolimnologique de l'histoire trophique du lac Saint-Charles, réservoir d'eau potable de la communauté urbaine de Québec. Revue des sciences de l'eau. 14 : 489-510.

Annexe 2

Évolution temporelle de la qualité de l'eau brute prélevée par l'UTE de la rivière Saint-Charles (Château d'eau) entre 2009 et 2013

Annexe 4 Statistiques descriptives de la qualité de l'eau brute à la prise d'eau de la rivière Saint-Charles mesurée entre septembre 2008 et mars 2014 et dépassements des critères de qualité l'eau

Paramètre	Limite de détection	Critères de prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques) [1]	Guide de conception (valeur maximale) [2]	Statistique descriptive (septembre 2008 à mars 2014)						Dépassement du critère de 2008 à 2014		Fréquence de dépassement du critère (%)						
				N	min	Q1	med	Q3	max	N	%	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Absorbance à 254 nm (/5 cm)				895	0,08	0,674	0,809	0,9695	2,47	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinité (mg/l CaCO3)				601	7	19	23	27	77	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Conductivité (µS/cm)			1500	588	52,8	116	143	172	830	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Couleur apparente (UCA)			15 (couleur vraie) [g]	906	**17**	**23**	**28**	**34**	**233**	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dureté (métaux) (mg/l CaCO3)				86	16,4	29,05	33,1	36,75	44,7	0	0,0	0,0	0,0	–	–	0,0	0,0	0,0
pH		6,5-8,5 [d]	6,5-8,5	552	6,6	7,1	7,2	7,3	7,6	0	0,0	–	–	–	0,0	0,0	0,0	0,0
pH (sur place)				396	6,01	6,98	7,17	7,3	7,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	–	–	–
Température (sur place) (℃)			15	894	1	10	13	20	28,8	379	**42,4**	–	**58,3**	**46,2**	**36,8**	**41,9**	**47,6**	0,0
Turbidité (UNT)				929	0,15	1,45	1,71	2,26	354	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nutriments																		
Azote ammoniacal (mg N/l)	0,1	0,2 [b]		187	<0,1	0,1	0,2	0,205	0,9	47	**25,1**	0,0	**44,7**	**11,9**	**24,2**	**50,0**	**8,8**	0,0
Azote NTK EP (mg/l)	0,4			4	<0,4	–	0,51	–	0,87	0	0,0	–	–	–	–	–	–	0,0
Azote total Kjeldahl (mg N/l)	0,3			172	<0,3	0,5	0,7	0,9	2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	–
Orthophosphates (mg/l)	0,004			190	<0,004	<0,004	0,005	0,007	0,053	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Microbiologie																		
Bactéries atypiques (UFC/100 ml)				991	38	560	1400	4250	40000	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bactéries sporulantes (UFC/100 ml)				205	17	360	560	1200	15000	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BHAA 35 ℃ (UFC/ml)				629	0	130	260	650	8100	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coliformes fécaux (UFC/100 ml)		200 [e]		797	0	13	27	53	3200	42	**5,3**	**6,1**	**3,4**	**5,6**	**7,6**	**5,2**	0,0	–
Escherichia coli (UFC/100 ml)		150 [e]		193	0	5	14	38	1400	5	**2,6**	–	–	–	–	–	**3,3**	0,0
Coliformes totaux (UFC/100 ml)				991	6	180	320	735	32000	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Métaux et ions																		
Aluminium (mg/l)	0,08	0,1 [a]		191	<0,08	<0,08	<0,08	0,1145	0,461	59	**30,9**	**28,6**	**27,5**	**24,4**	**48,6**	**32,1**	**28,6**	0,0
Baryum (mg/l)		1 [d]	1	2	0,0108	0,0112	0,0116	0,012	0,0124	0	0,0	–	–	–	–	–	–	0,0
Cadmium (mg/l)	0,0003	0,005 [d]	0,005	191	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,0011	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Calcium (mg/l)				191	5	8,5	10	11	17	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chlorures (mg/l)		250 [c]	250	187	8	19	24	29	187	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chrome (mg/l)	0,004	0,05 [d]	0,05	28	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0	0,0	–	–	–	–	–	0,0	0,0
Cobalt (mg/l)	0,001			3	<0,001	–	<0,001	–	<0,001	0	0,0	–	–	–	–	–	–	0,0
Cuivre (mg/l)	0,02	1 [c]	1	191	<0,02	0,0385	0,053	0,0775	1,1	1	0,5	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Étain (mg/l)	0,01			28	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,0	–	–	–	–	–	0,0	0,0
Fer (mg/l)	0,06	0,3 [c,f]	0,3	191	<0,06	0,3685	0,416	0,4795	4,433	181	**94,8**	**100,0**	**90,0**	**97,6**	**94,3**	**89,3**	**100,0**	**100,0**
Magnésium (mg/l)				191	0,7	1,5	1,8	2	2,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Manganèse (mg/l)		0,05 [c,f]	0,05	191	0,01	0,02	0,03	0,04	1,55	8	**4,2**	0,0	**7,5**	**7,3**	**2,9**	**3,6**	0,0	0,0
Molybdène (mg/l)	0,002	0,04 [d]		2	<0,002	–	–	–	<0,002	0	0,0	–	–	–	–	–	–	0,0
Nickel (mg/l)	0,007	0,07 [d]		28	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	0	0,0	–	–	–	–	–	0,0	0,0
Plomb (mg/l)	0,004	0,01 [d]	0,01	191	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,105	1	**0,5**	0,0	0,0	**2,4**	0,0	0,0	0,0	0,0
Potassium (mg/l)				191	0,5	0,9	1	1,2	2,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sodium (mg/l)		200 [c]		191	6,3	11,75	14,7	17,5	130	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sulfates (mg/l)		500 [c]	500	171	4	6	8	9	26	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zinc (mg/l)	0,01	5 [c]	5	191	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Contaminants organiques																		
Hydrocarbures C10 - C50 (mg/l)	0,1			1	–	–	–	–	<0,1	0	0,0	–	–	–	–	–	0,0	–
Trichloroéthylène (µg/l)	0,1			44	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Sources:

Les données de la qualité de l'eau brute prélevés à la prise d'eau ont été fournies par la Ville de Québec (2014)

[1] Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. 2013. Critères de qualité de l'eau de surface, 3e édition, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, ISBN-978-2-550-68533-3 (PDF), 510 p. et 16 annexes. Aussi disponible en ligne [http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp]

[2] Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. 2001. Guide de conception des installations de production d'eau potable. Disponible en ligne: [http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/guide/].

Notes:

[a] «En raison des possibilités limitées d'utiliser les données obtenues en expérimentation animale comme modèle pour l'homme et de l'incertitude entachant les données humaines, il est impossible de déterminer une valeur guide reposant sur des arguments sanitaires. Néanmoins, l'optimisation des procédés de coagulation utilisant des agents coagulants à base d'aluminium dans les installations de traitement de l'eau de boisson a conduit à la définition de valeurs limites pratiques: 0,1 mg/l ou moins dans les grandes installations de traitement de l'eau et 0,2 mg/l ou moins dans les petites installations de traitement de l'eau.» (OMS 2004)

[b] La présence d'azote ammoniacal à des concentrations plus élevées peut compromettre l'efficacité de la désinfection.

[c] Au-delà de cette concentration, les propriétés organoleptiques ou esthétiques de l'eau de consommation pourront être altérées.

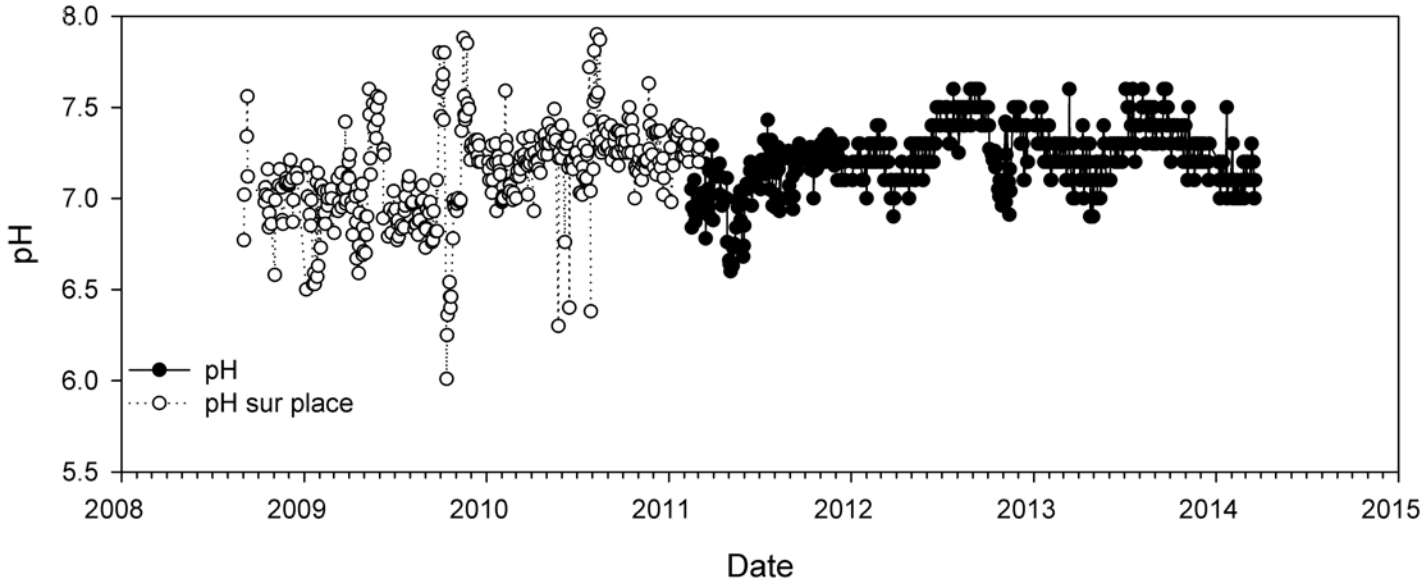
[d] Cette concentration est une concentration maximale acceptable (CMA) définie pour l'eau potable.

[e] Ce critère de qualité est applicable à l'eau brute destinée à l'approvisionnement en eau potable lorsque cette eau fait l'objet d'un traitement par filtration. Il permet d'éviter la mise en place de procédés de traitement supplémentaires. Ce critère de 200 UFC/100 ml (ou 150 bactéries E. coli/100 ml) s'applique à la moyenne arithmétique des échantillons qui doit correspondre à la moyenne mobile la plus élevée des résultats obtenus pendant 12 mois consécutifs, établie à partir d'une période de référence d'au moins 36 mois.

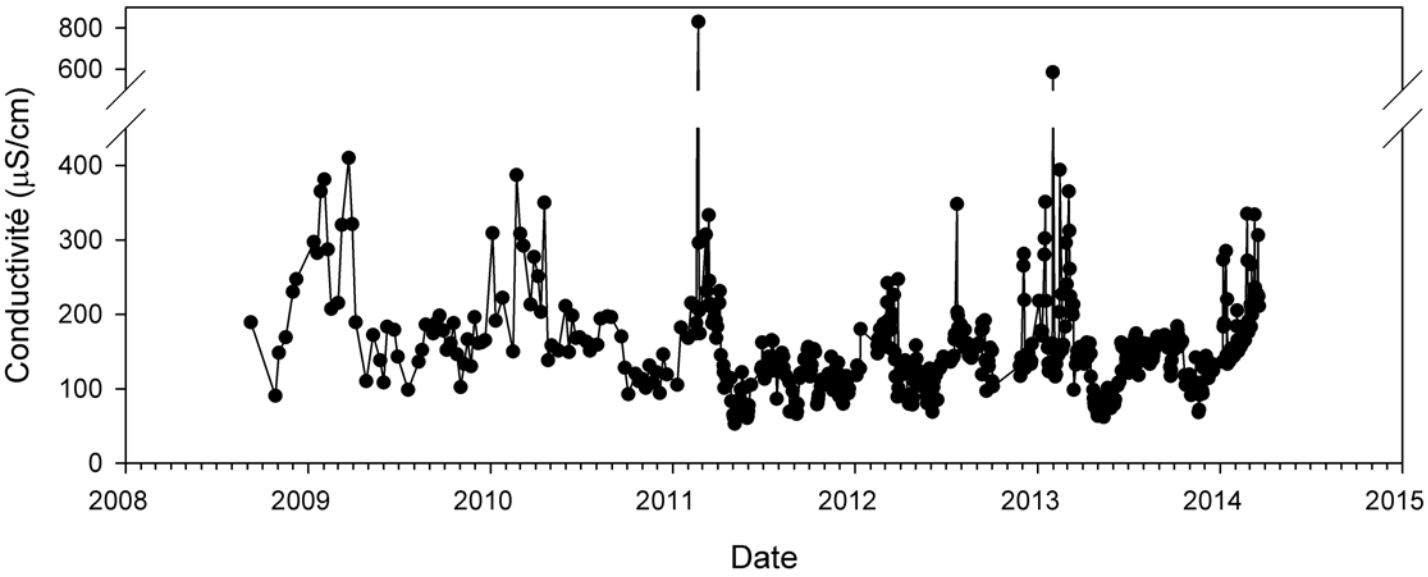
[f] Certaines eaux de surface de bonne qualité peuvent avoir des concentrations naturelles plus élevées.

[g] Il existe deux types de mesures de la couleur, soit la couleur vraie et la couleur apparente. La couleur vraie est la mesure de la couleur d'une eau non turbide qui ne contient aucune matière en suspension. La couleur apparente est la mesure de la couleur d'une eau qui contient de la matière en suspension. Elle est mesurée sur l'échantillon original qui n'a subi aucune filtration ou centrifugation. Généralement, dans l'eau potable, les eaux de surface et les eaux souterraines, la mesure de la couleur est une mesure de couleur vraie. L'échantillon est centrifugé et la mesure de la couleur est effectuée d'après l'échelle platino-cobalt en comparant la couleur de l'échantillon à celle d'une série de solutions étalons. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Détermination de la couleur vraie dans l'eau : méthode par spectrophotométrie UV-visible avec le platino-cobalt, MA. 103 – Col. 2.0, Rév. 2, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 2012, 8 p.

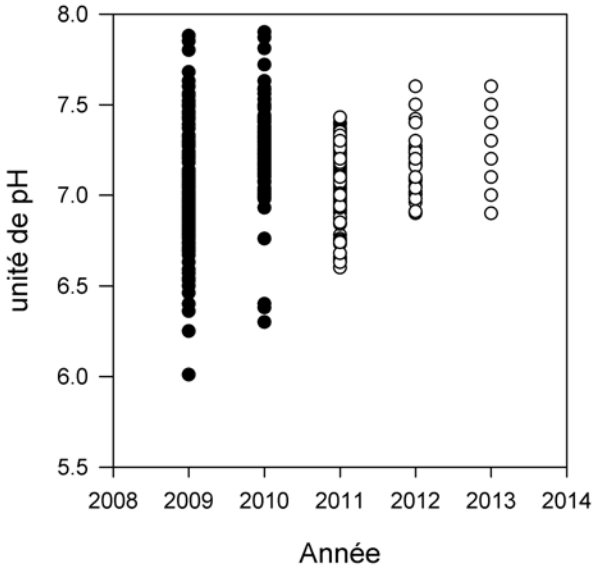
Variation temporelle du pH à la prise d'eau



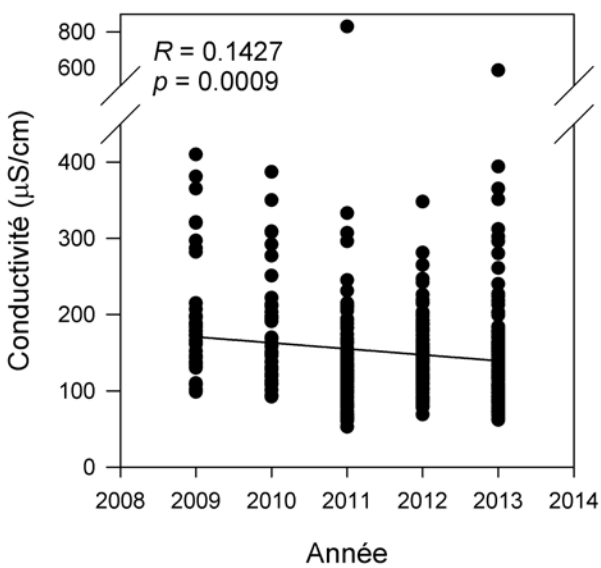
Variation temporelle de la conductivité à la prise d'eau



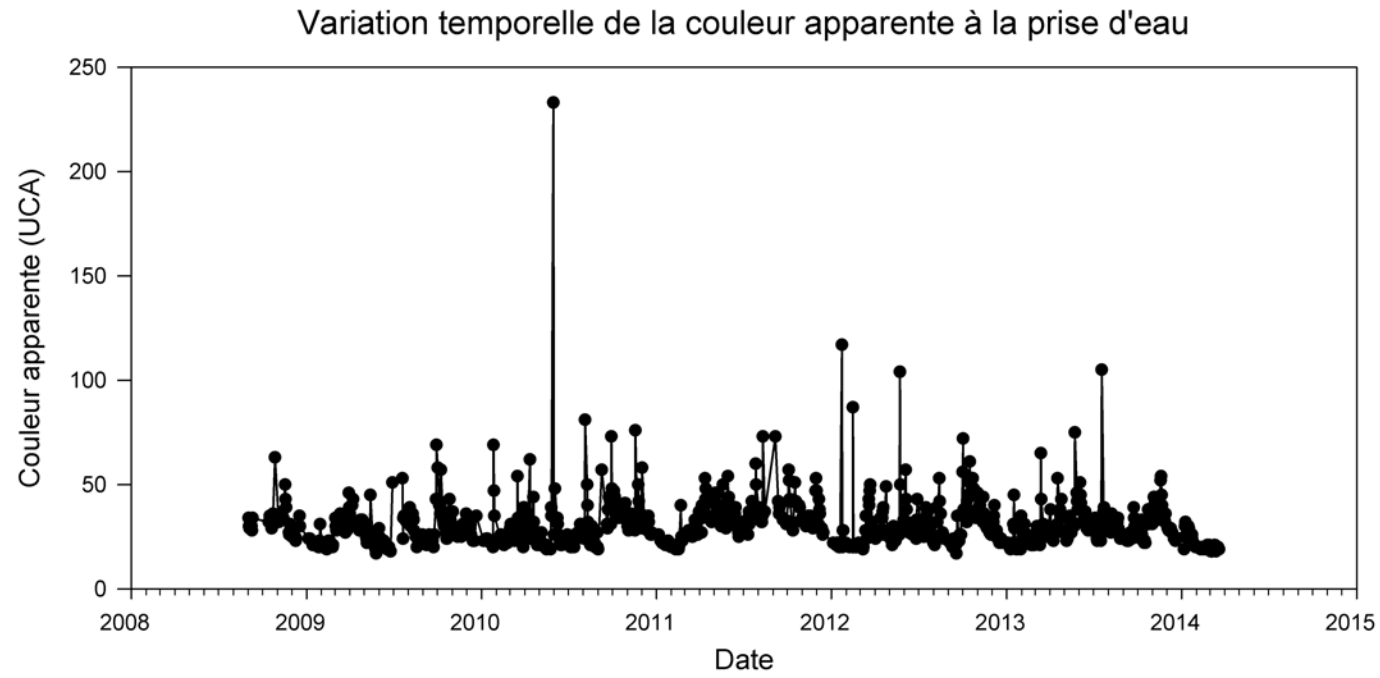
pH

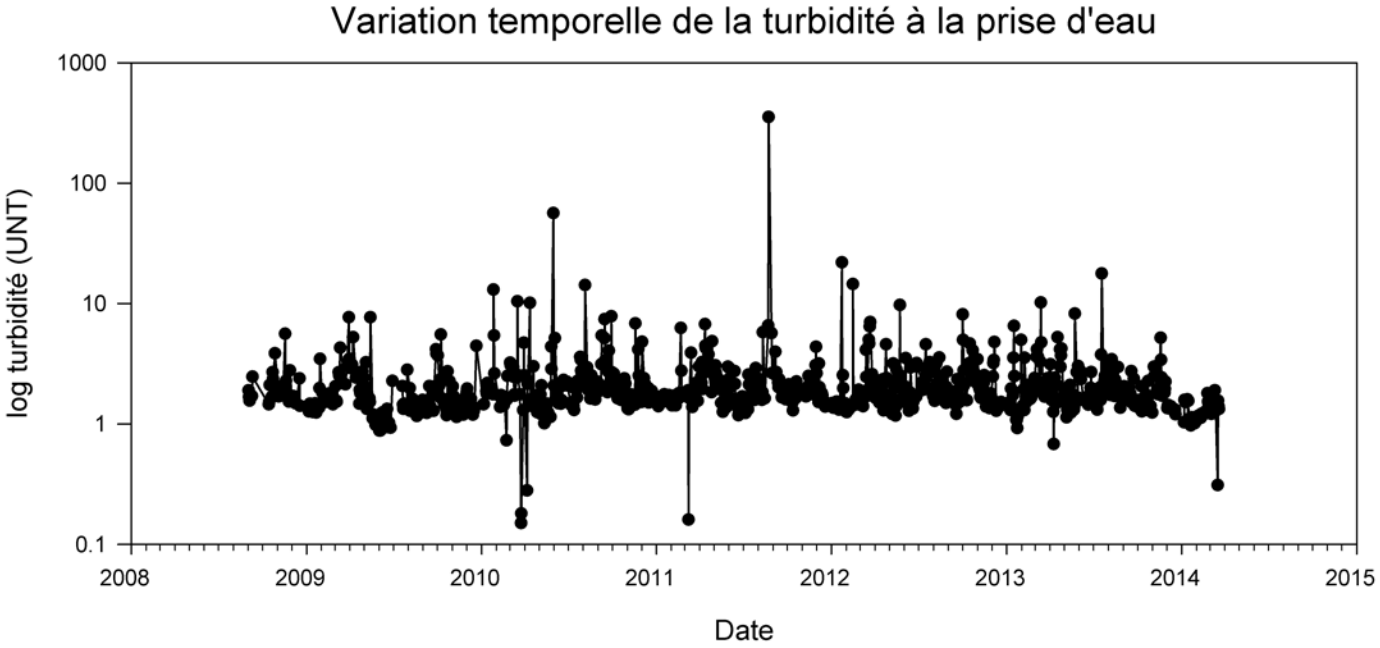


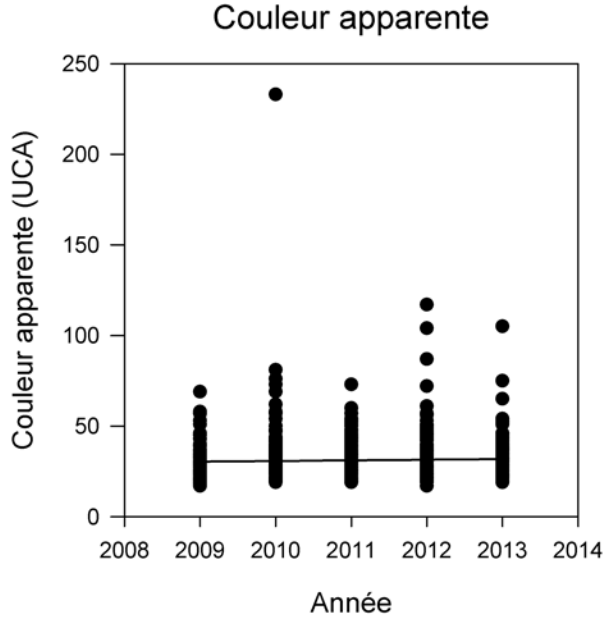
Conductivité

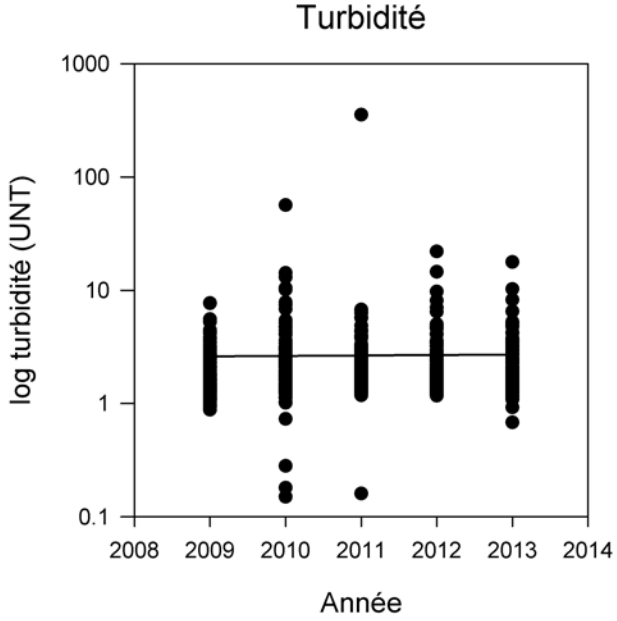


Les données de 2008 et 2014 ne sont pas considérées car elles ne couvrent pas toute l'année.

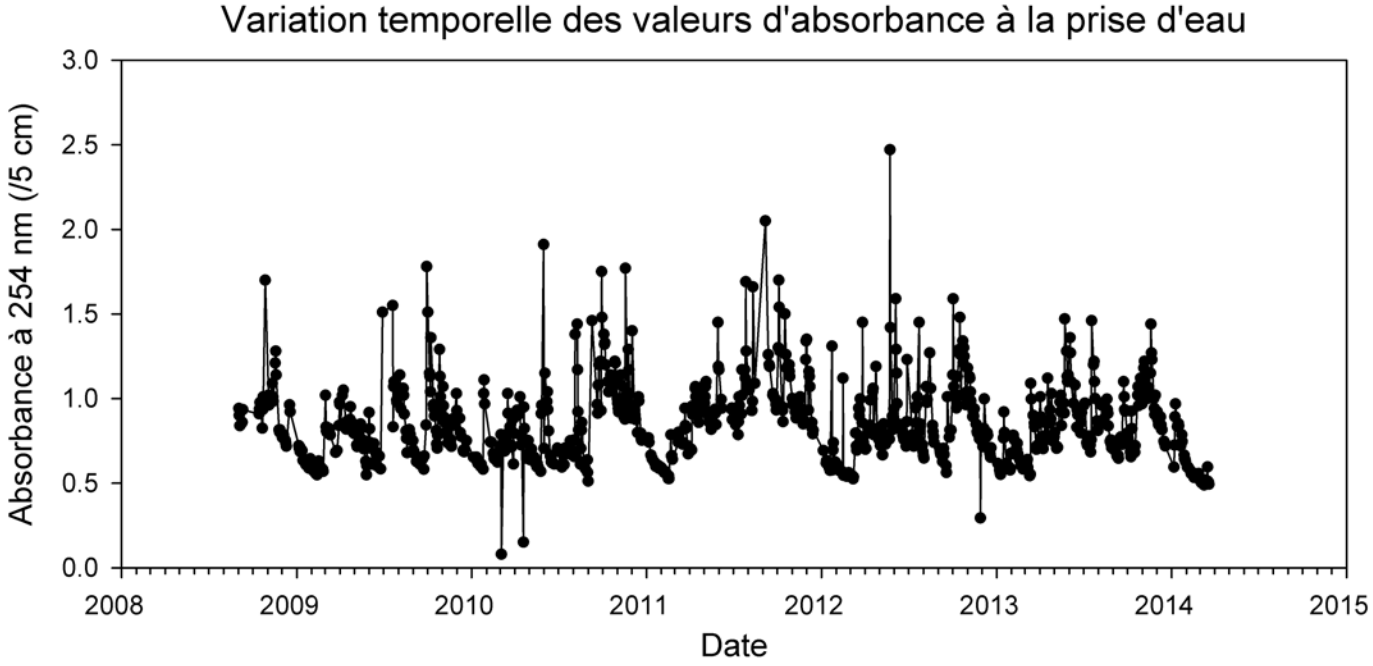


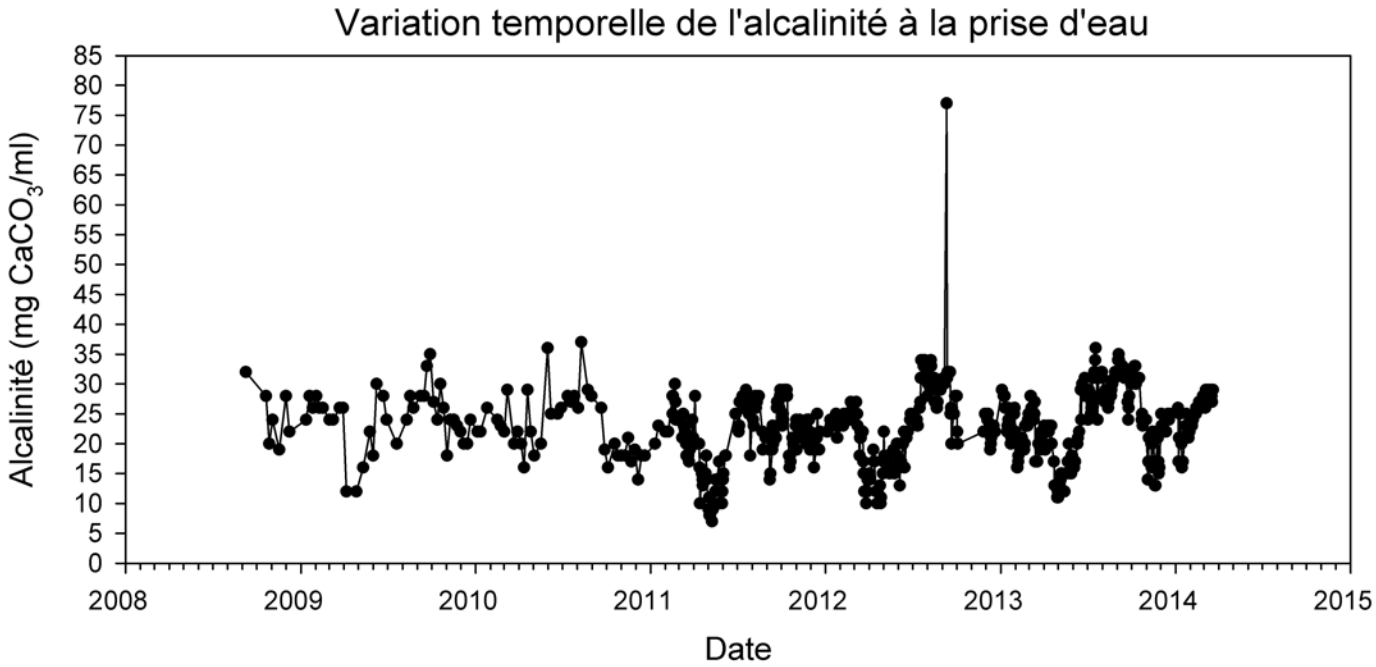


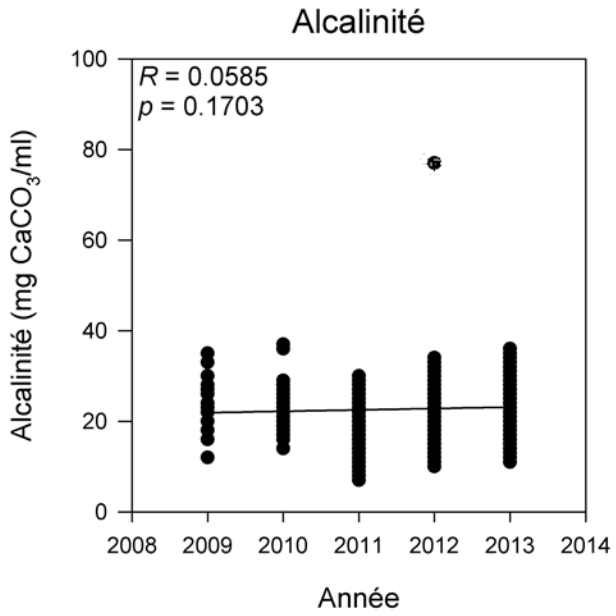


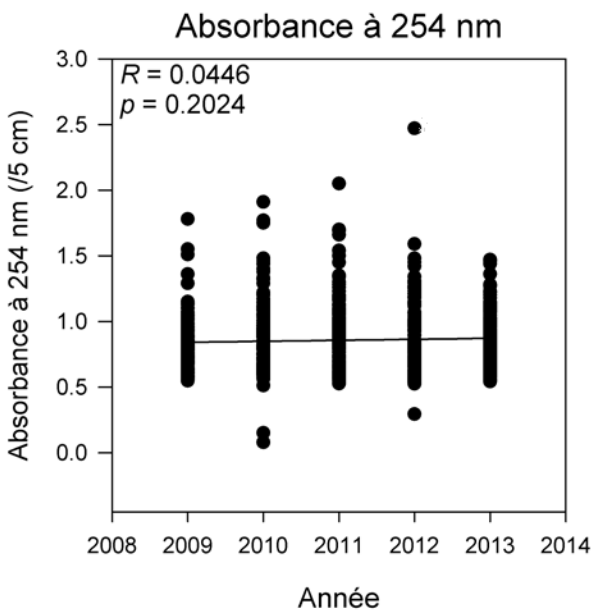


Les données de 2008 et 2014 ne sont pas considérées car elles ne couvrent pas toute l'année.



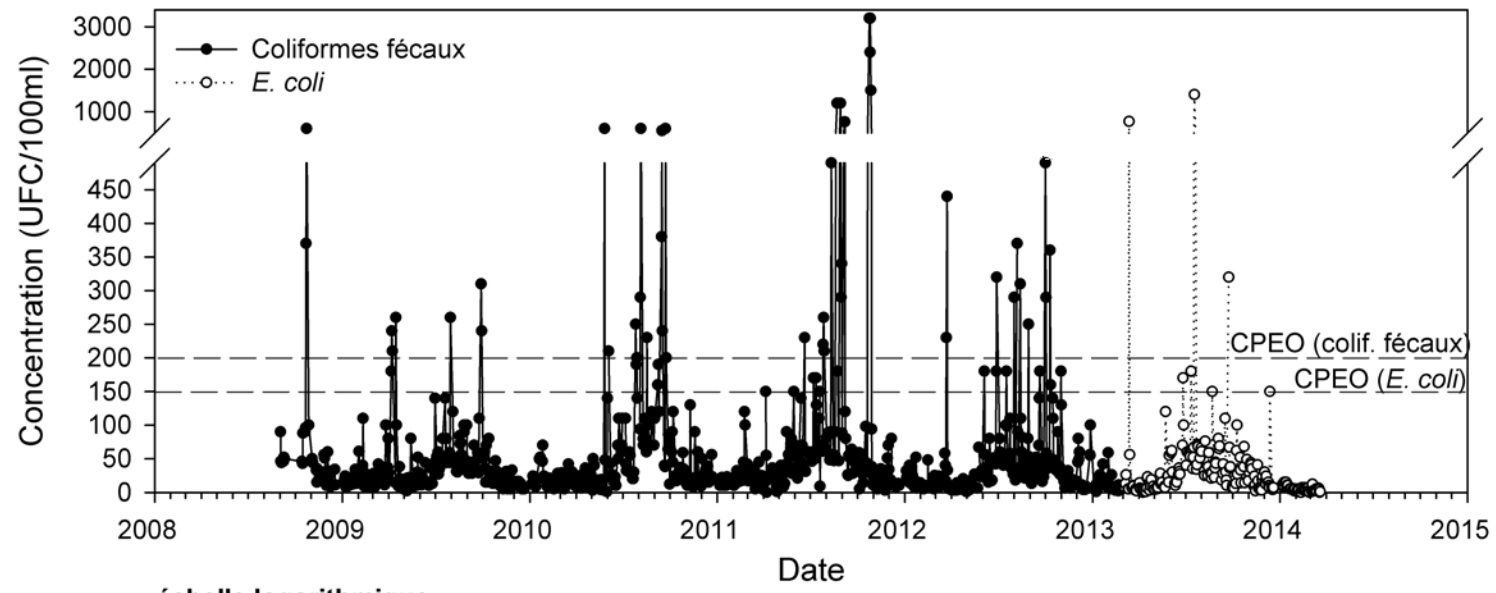


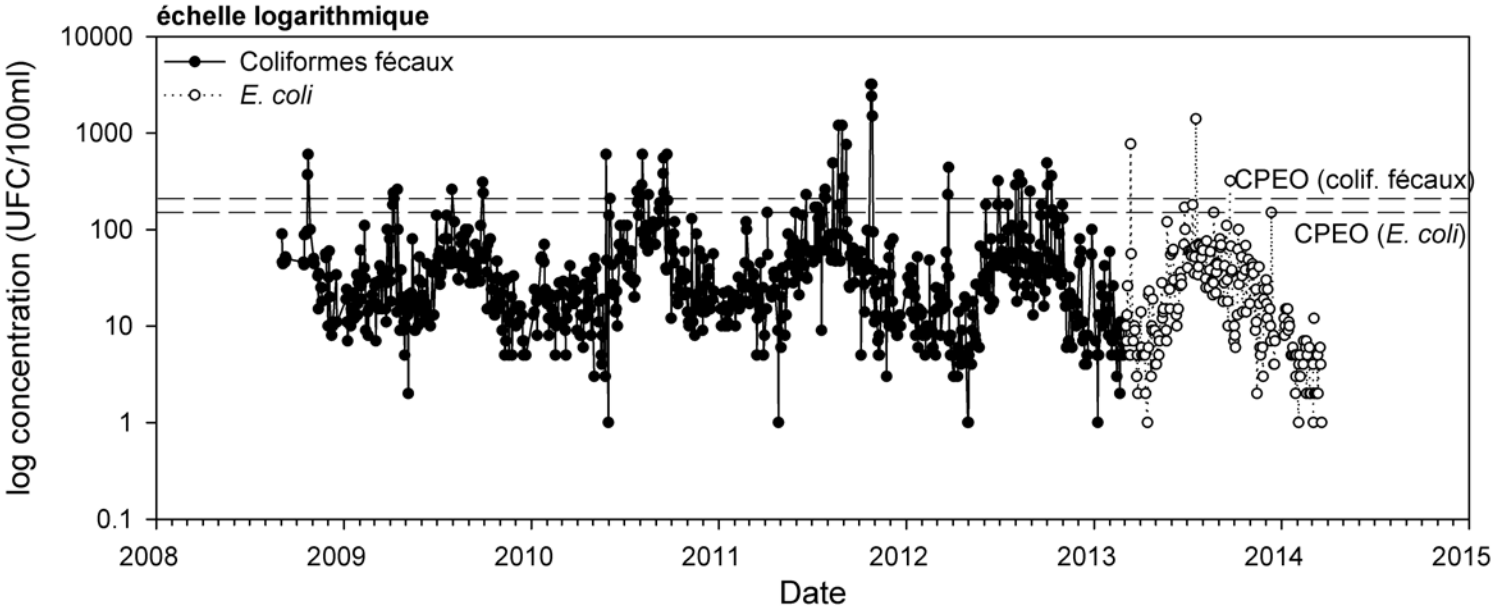




Les données de 2008 et 2014 ne sont pas considérées car elles ne couvrent pas toute l'année.

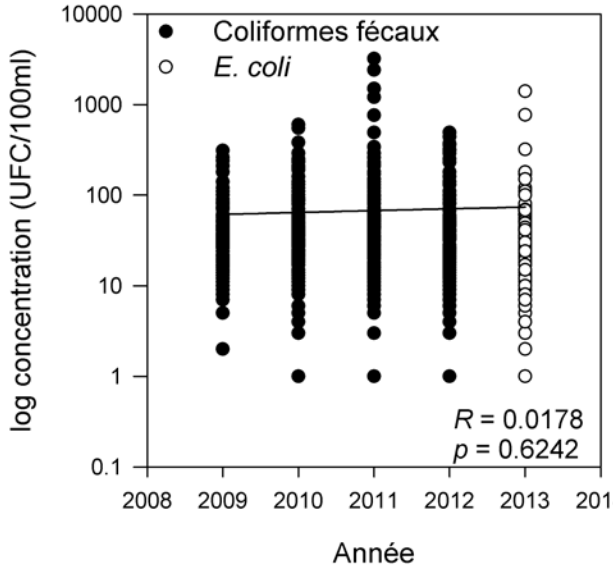
Variation temporelle des concentrations de coliformes fécaux et de *E. coli* à la prise d'eau



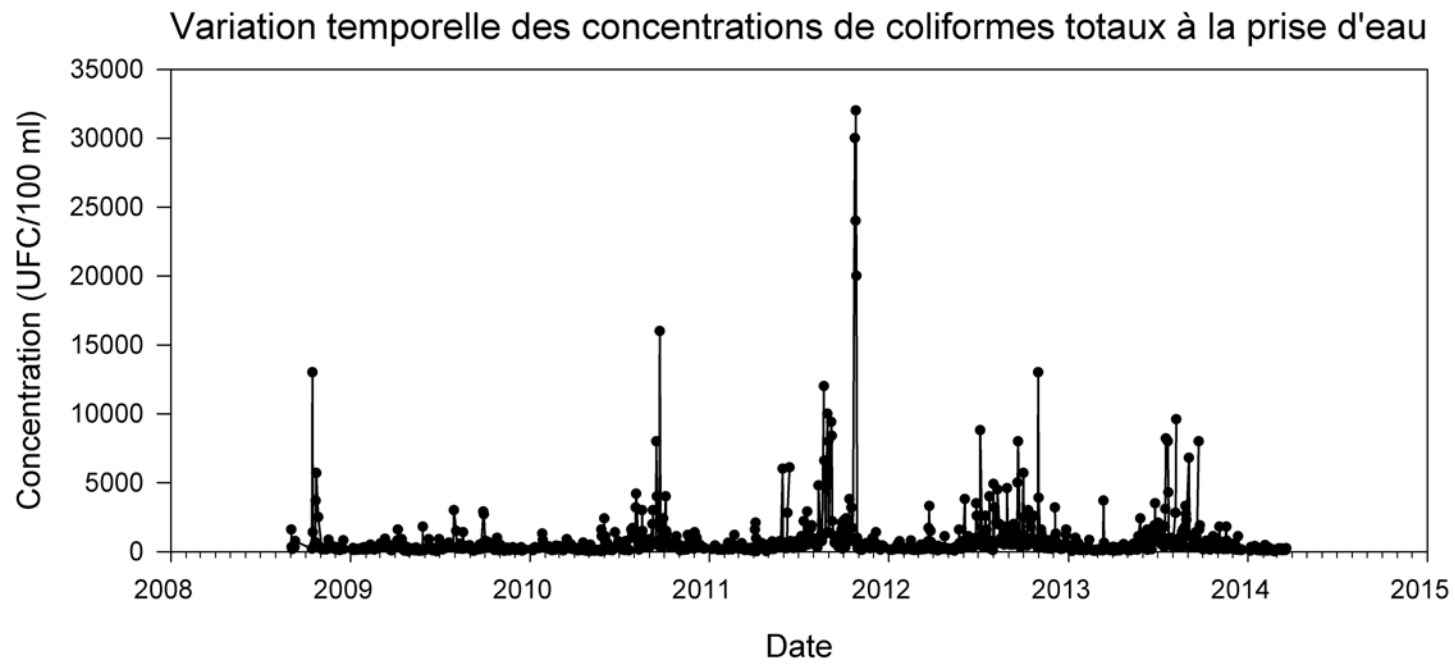


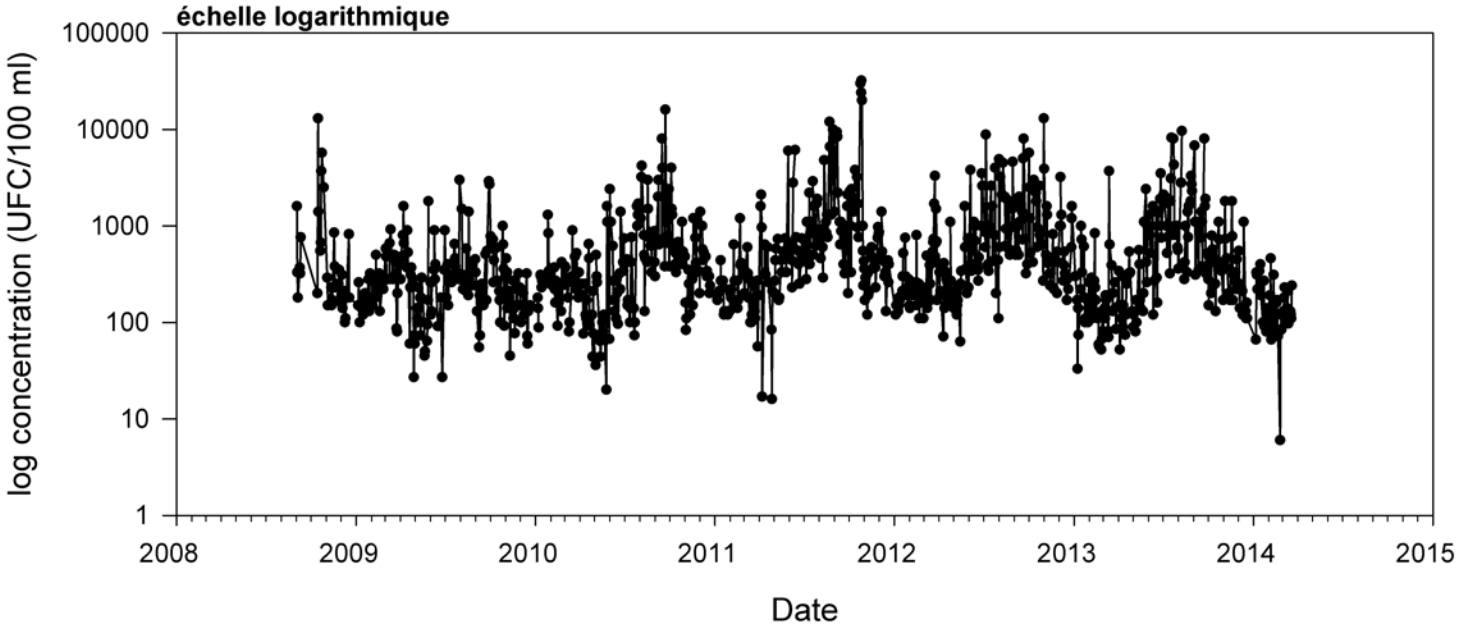
Note: CPEO: Critères de prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques) du MDDEFP (2013) pour les coliformes fécaux (200 UFC / 100 ml) et les *E. coli* (150 UFC / 100 ml).

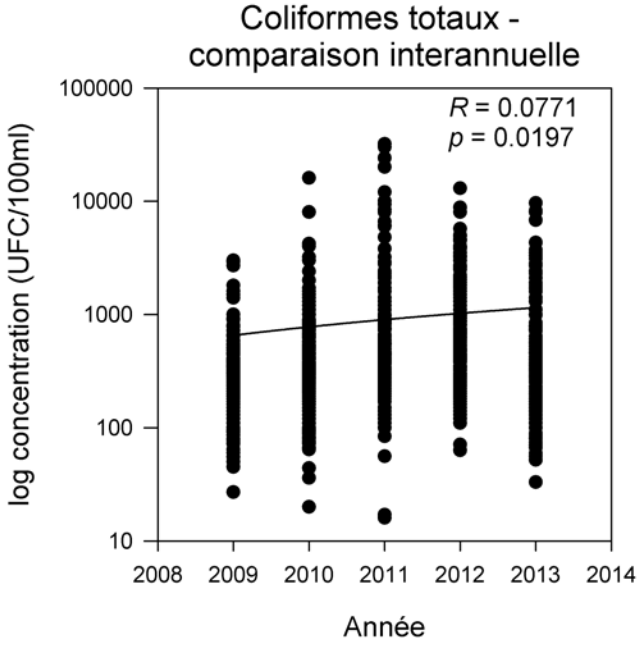
Coliformes fécaux et *E. coli*



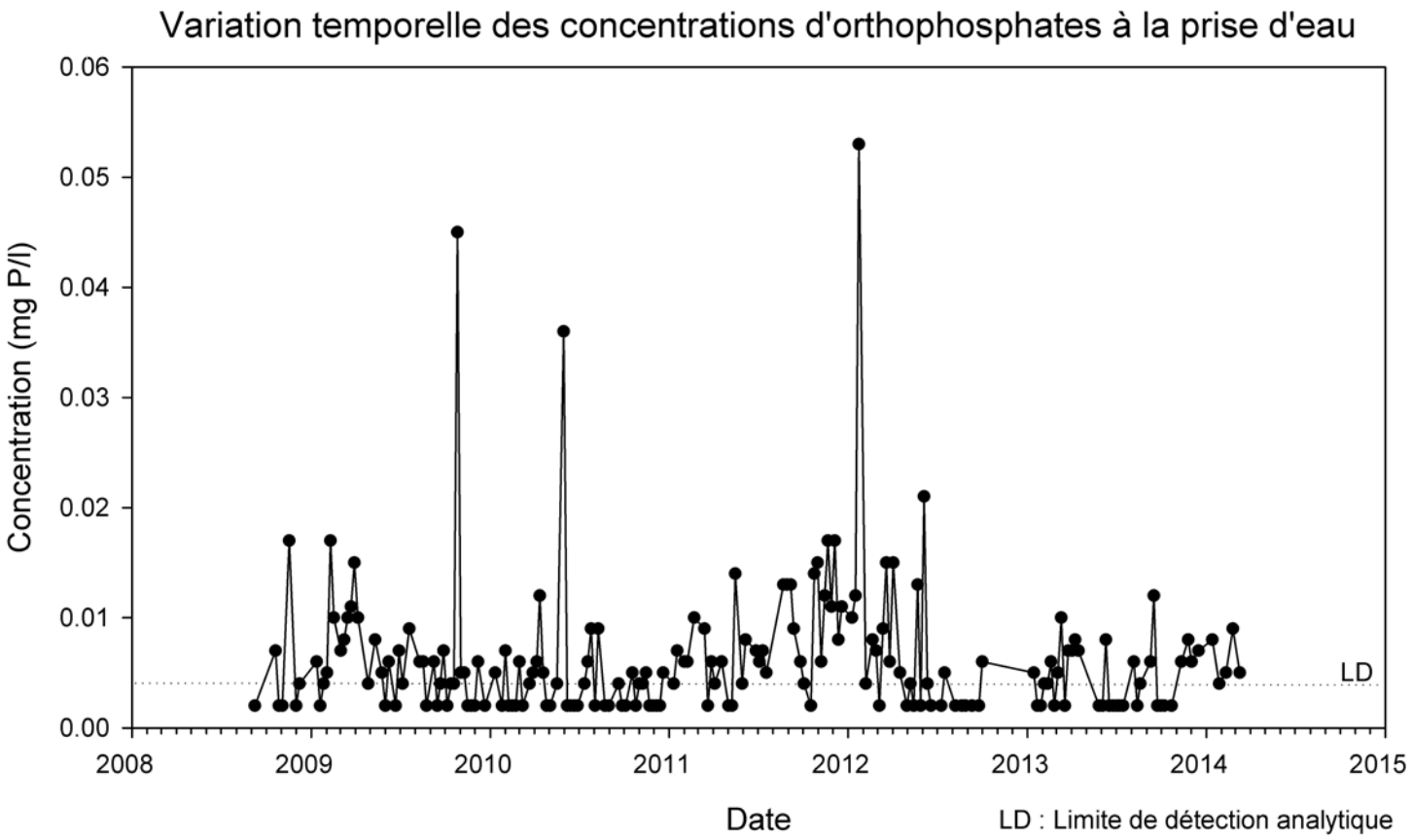
Les données de 2008 et 2014 ne sont pas considérées car elles ne couvrent pas toute l'année.

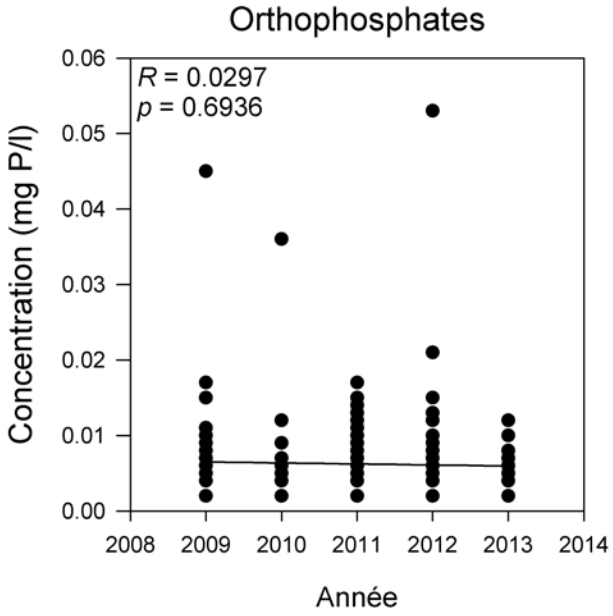




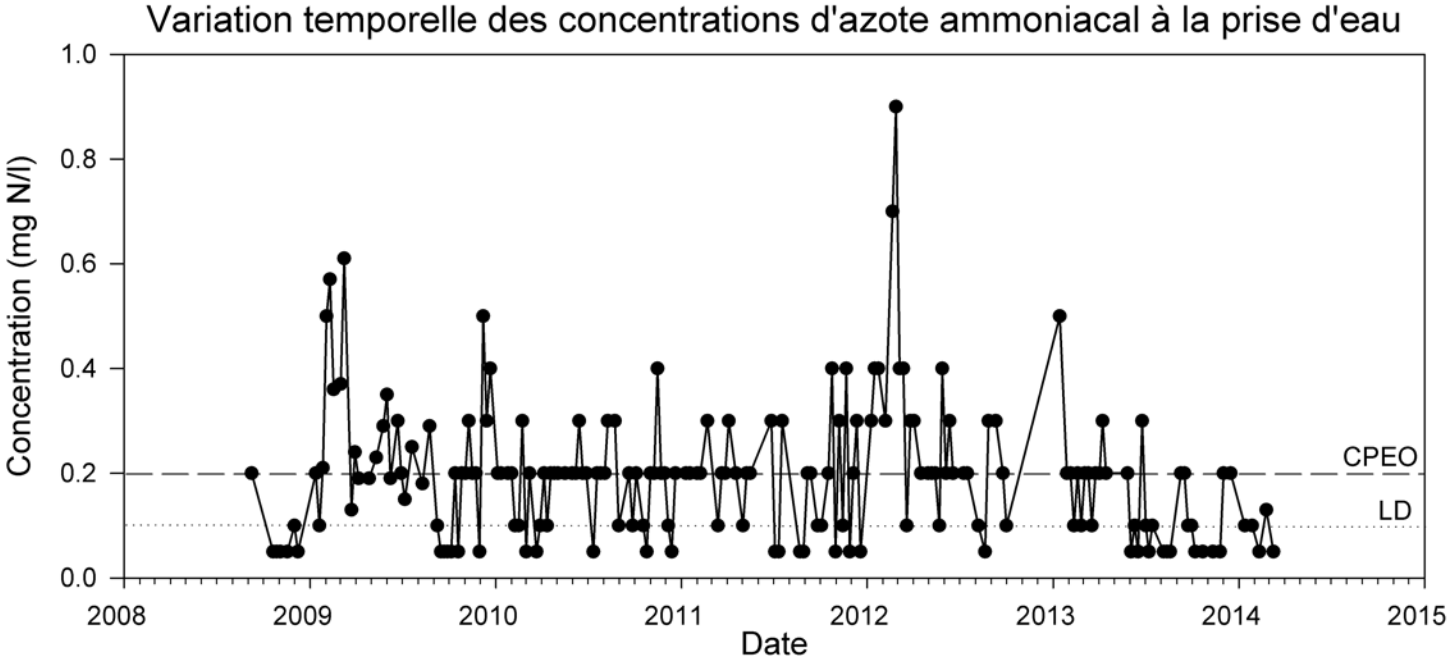


Les données de 2008 et 2014 ne sont pas considérées car elles ne couvrent pas toute l'année.

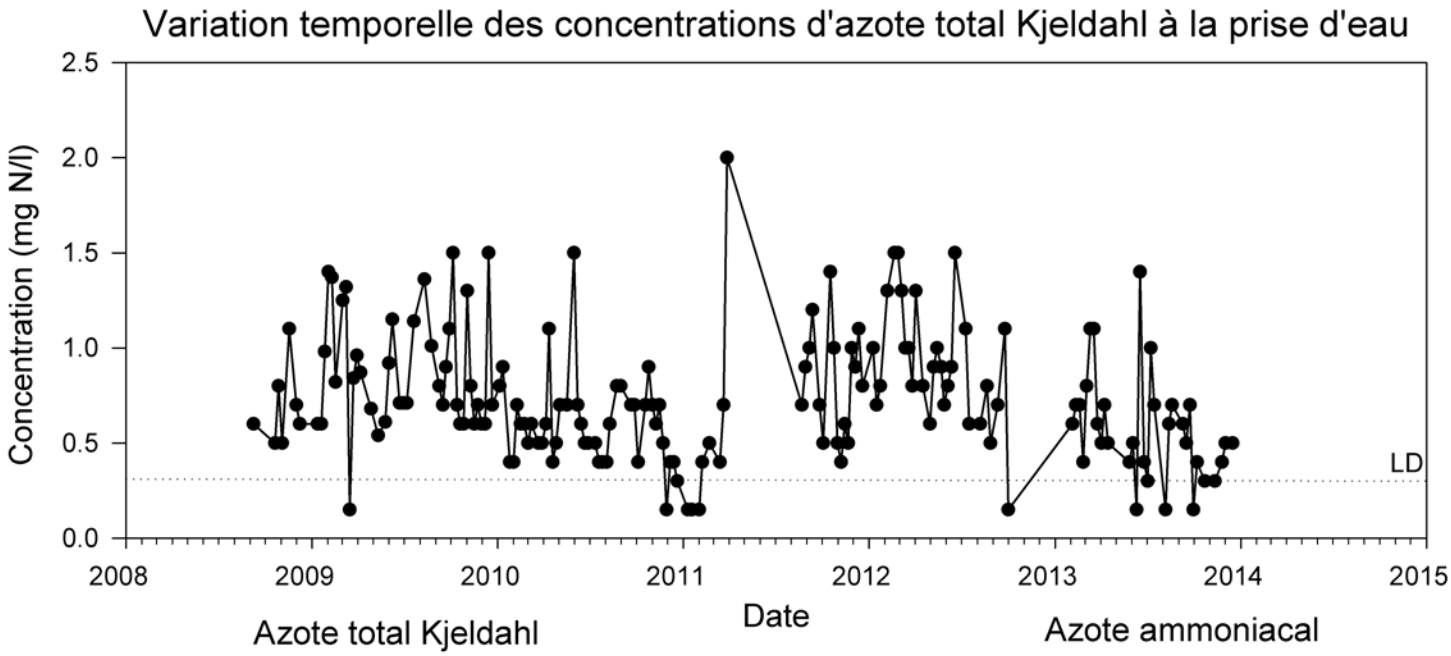


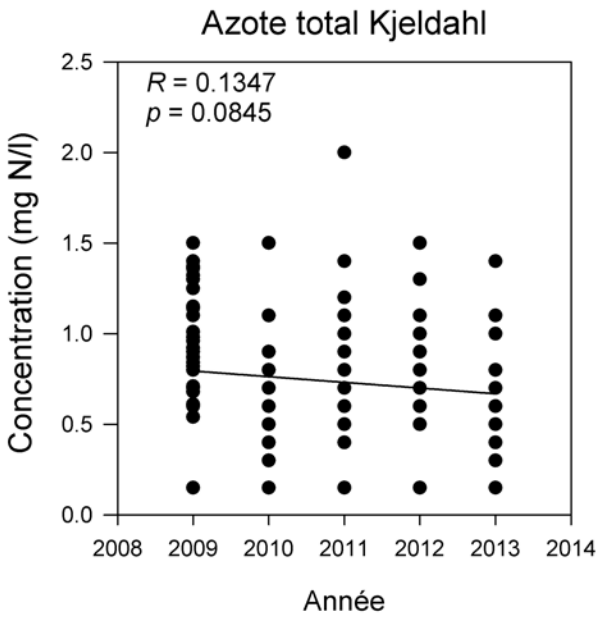


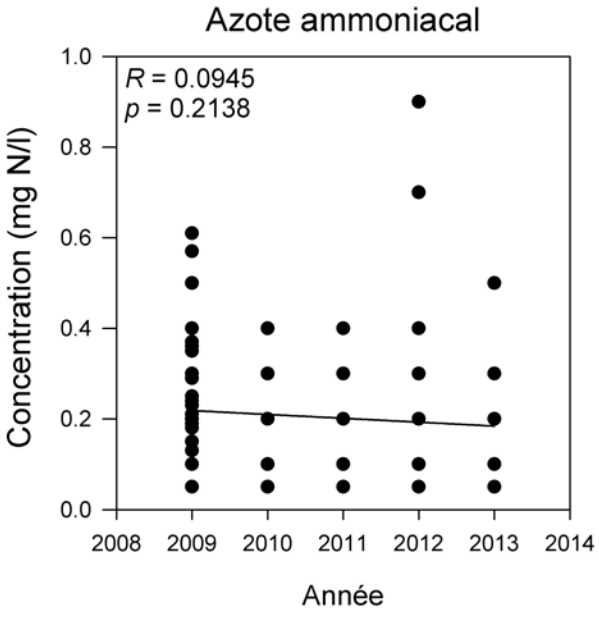
Les données de 2008 et 2014 ne sont pas considérées car elles ne couvrent pas toute l'année.



Notes: CPEO: Critères de prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques)
LD : Limite de détection analytique







Les données de 2008 et 2014 ne sont pas considérées car elles ne couvrent pas toute l'année.

Annexe 3

Évolution spatiale et temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Saint-Charles entre 2000 et 2013 (à la hauteur de l'exutoire du lac Saint-Charles et du boulevard Bastien)

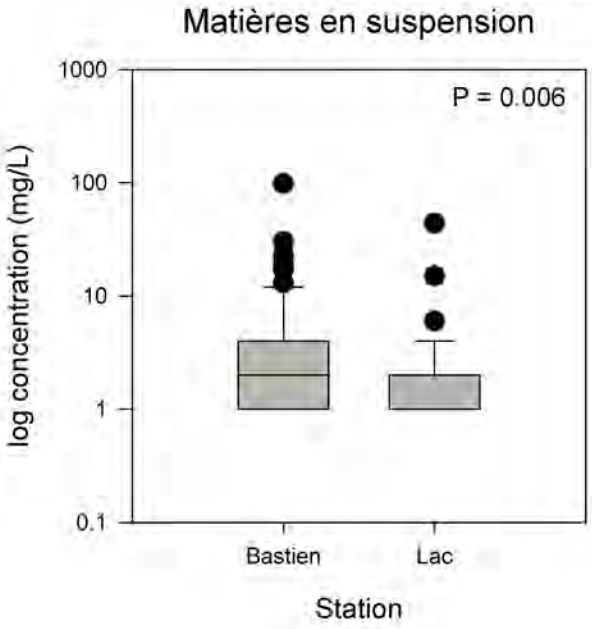
Annexe 3 Statistiques descriptives de la qualité de l'eau de la rivière Saint-Charles mesurée à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien

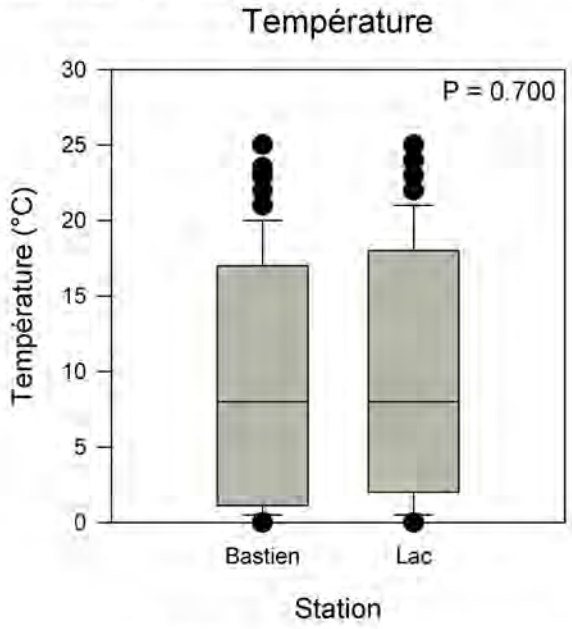
Paramètre	Unité	Limite de détection	Critères de prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques) [1]	Exutoire du lac St-Charles									Rivière Saint-Charles à la hauteur du boulevard Bastien								
				N	min	Q1	med	Q3	max	<LD	Fréquence de dépassement du critère		N	min	Q1	med	Q3	max	<LD	Fréquence de dépassement du critère	
											N	%								N	%
Coliformes fécaux	UFC/100 ml	2	200	144	<2	<2	2	5	480	63	2	1,4	143	2	55	110	258	6000	0	47	32,9
Chlorophylle a	µg/l	0,02		77	0,08	3,24	4,80	7,10	12,00	0			78	1,14	2,03	2,60	3,77	8,00	0		
Carbone organique dissous	mg/l	0,20		138	1,80	2,50	3,10	3,600	5,70	0			136	2,10	3,10	3,70	4,40	9,00	0		
Conductivité	µS/cm	0,70		145	44	66	77	93	570	0			145	23	124	150	172	1310	0		
Azote ammoniacal	mg/l	0,02	0,20	155	<0,02	<0,02	0,02	0,05	0,13	57	0	0,0	145	<0,02	<0,02	0,03	0,05	0,15	47	0	0,0
Nitrites-nitrates	mg/l	0,02		155	<0,02	0,06	0,14	0,27	0,46	10			145	0,04	0,23	0,29	0,39	0,73	0		
Azote total	mg/l	0,02		145	0,09	0,19	0,29	0,41	0,66	0			145	0,24	0,37	0,45	0,53	1,26	0		
pH	pH	2,00	6,5-8,5	144	6,30	6,80	7,00	7,20	7,70	0	0	0,0	142	6,50	7,20	7,30	7,50	8,30	0	0	0,0
Phéophytine	µg/l	0,02		77	<0,02	0,63	1,10	1,50	3,40	3			78	<0,02	0,92	1,18	1,58	3,70	2		
Phosphore total dissous	mg/l	0,01		109	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,025	102			109	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,035	98		
Phosphore total en suspension	mg/l	0,001		106	<0,001	0,004	0,005	0,007	0,045	8			106	<0,001	0,005	0,008	0,012	0,210	4		
Phosphore total persufalte	mg/l	0,002		36	<0,002	0,01	0,01	0,008	0,013	3			36	0,00	0,01	0,01	0,010	0,029	0		
Matière en suspension	mg/l	2,00		109	<2	<2	2	2	44	53			109	<2	<2	2	4	98	37		
Température	℃	0,00	15,00	144	0	2	8	18	25	0	47	32,6	144	0	1	8	17	25	0	44	30,6
Turbidité	UTN	0,1		145	0,7	1,3	1,7	2,1	10	0			144	1	1,9	2,5	3,4	99	0		

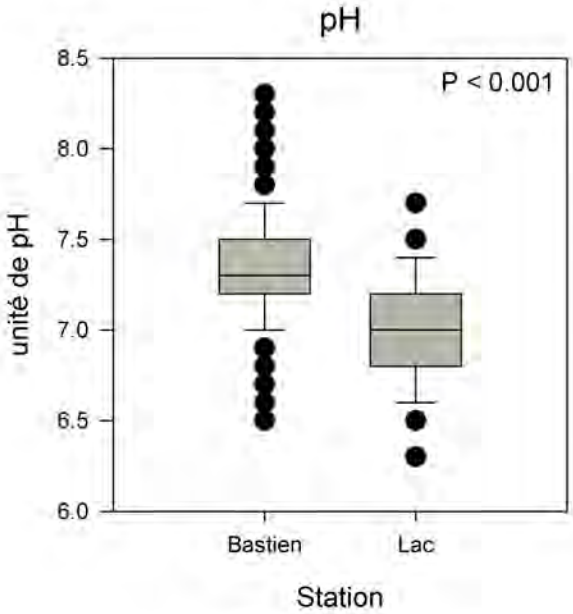
Source: MDDEFP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs). 2014. Banque de données sur le milieu aquatique (BQMA). Québec. Direction du suivi de l'état de l'environnement.

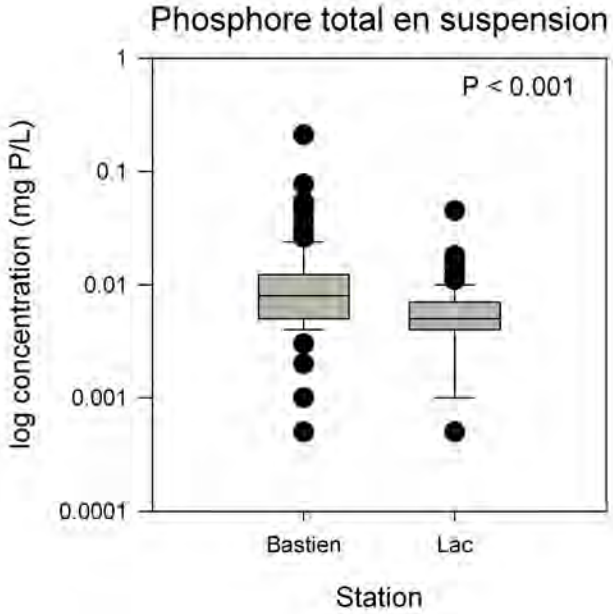
[1] Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. 2013. Critères de qualité de l'eau de surface, 3e édition, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, ISBN-978-2-550-68533-3 (PDF), 510 p. et 16 annexes. Aussi disponible en ligne [http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp]

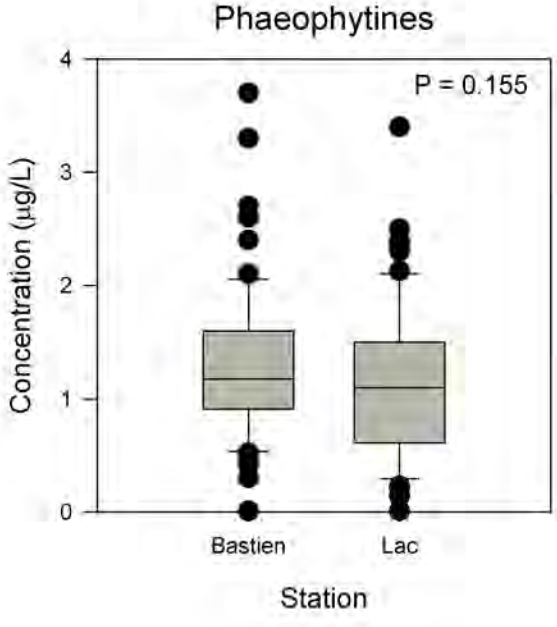
Comparaisons entre la qualité de l'eau de la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien (les valeurs P sont le résultat du test de comparaison de Mann-Whitney)

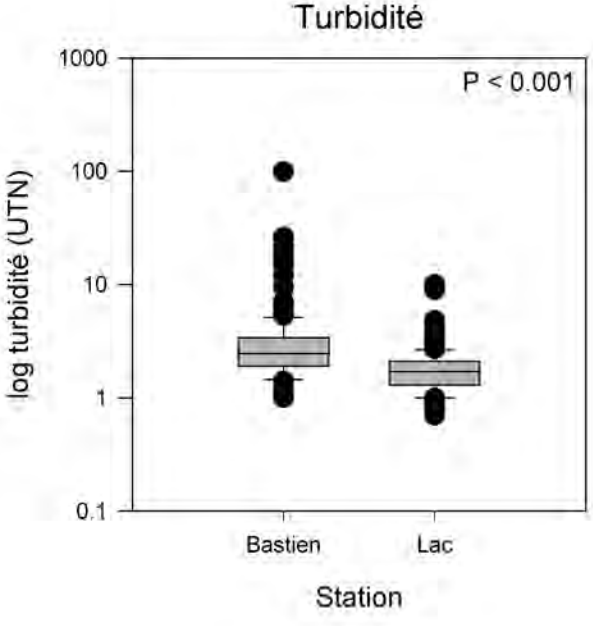




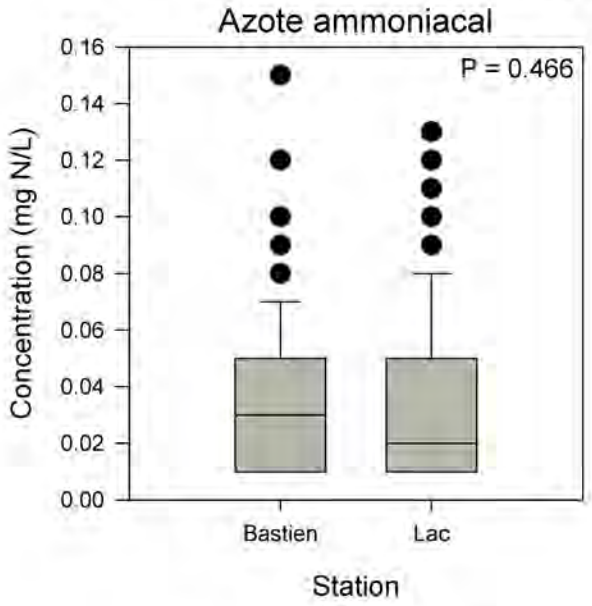


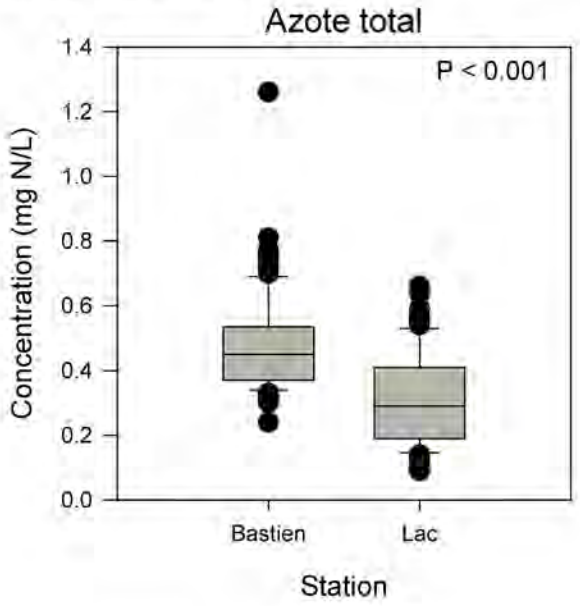


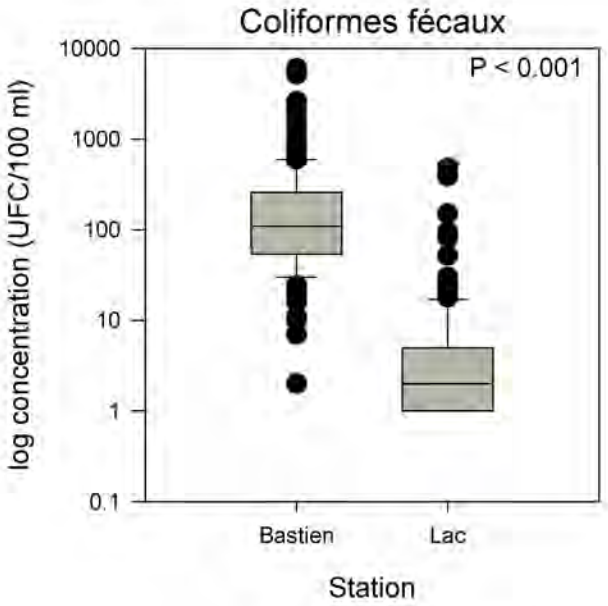


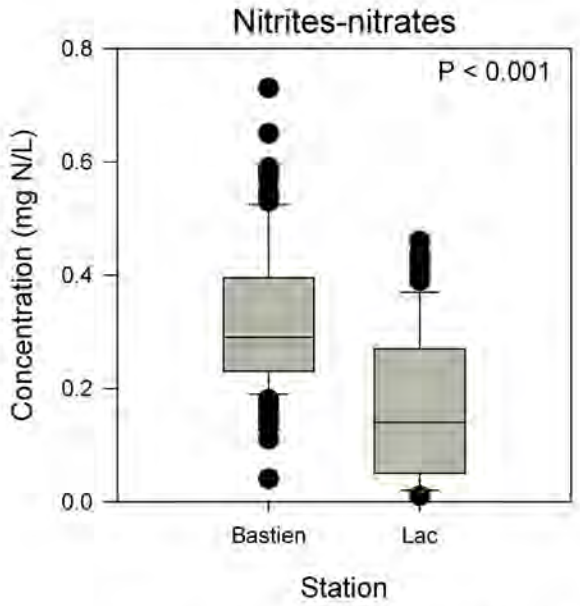


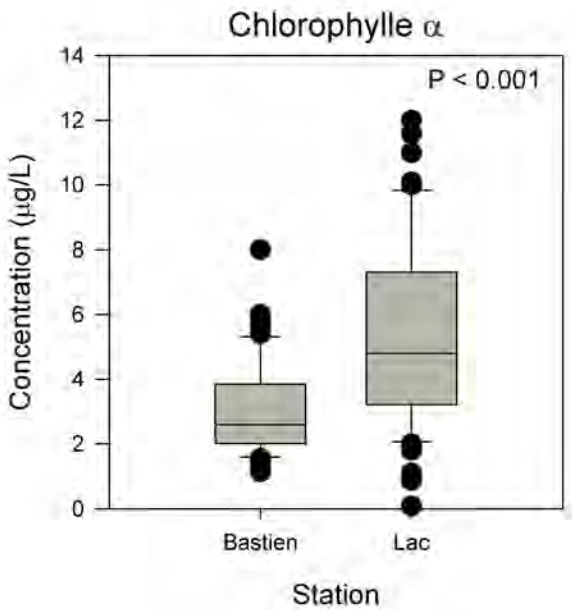
Comparaisons entre la qualité de l'eau de la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien (les valeurs P sont le résultat du test de comparaison de Mann-Whitney)

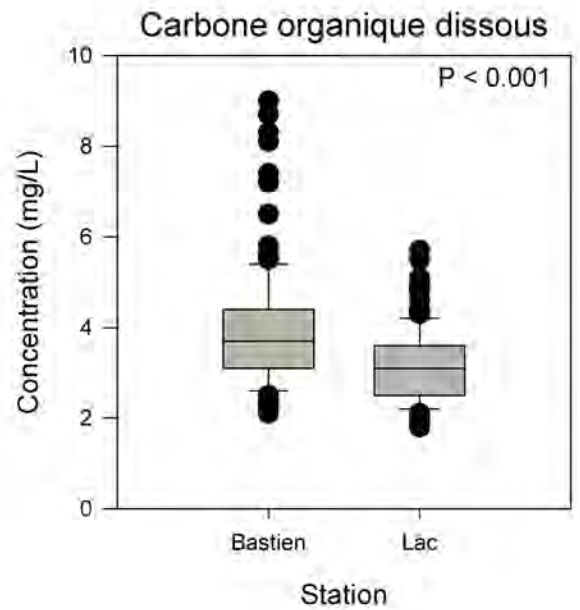




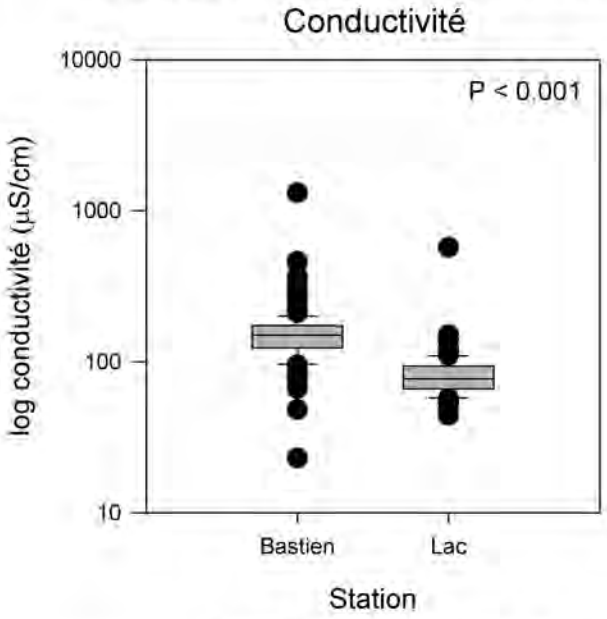


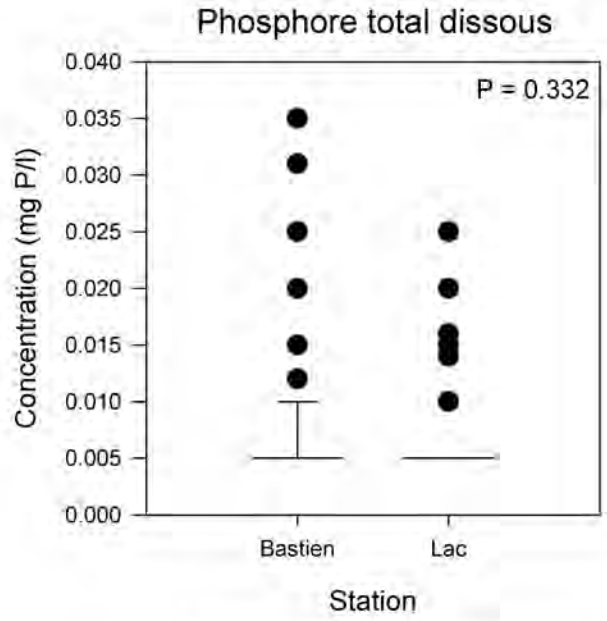


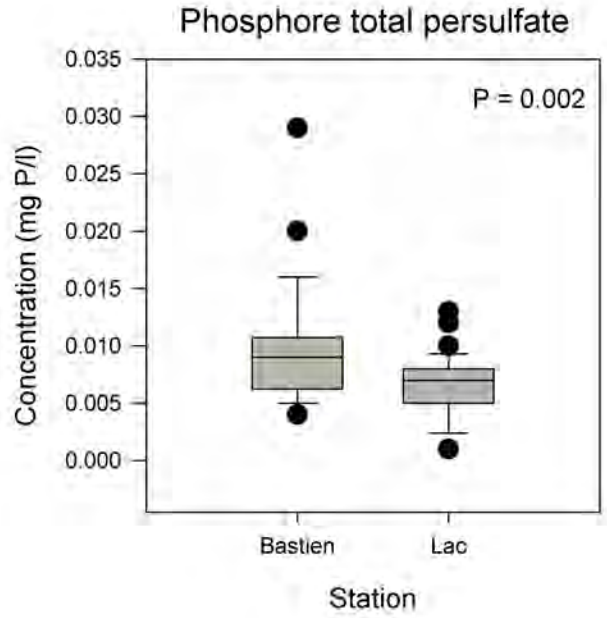


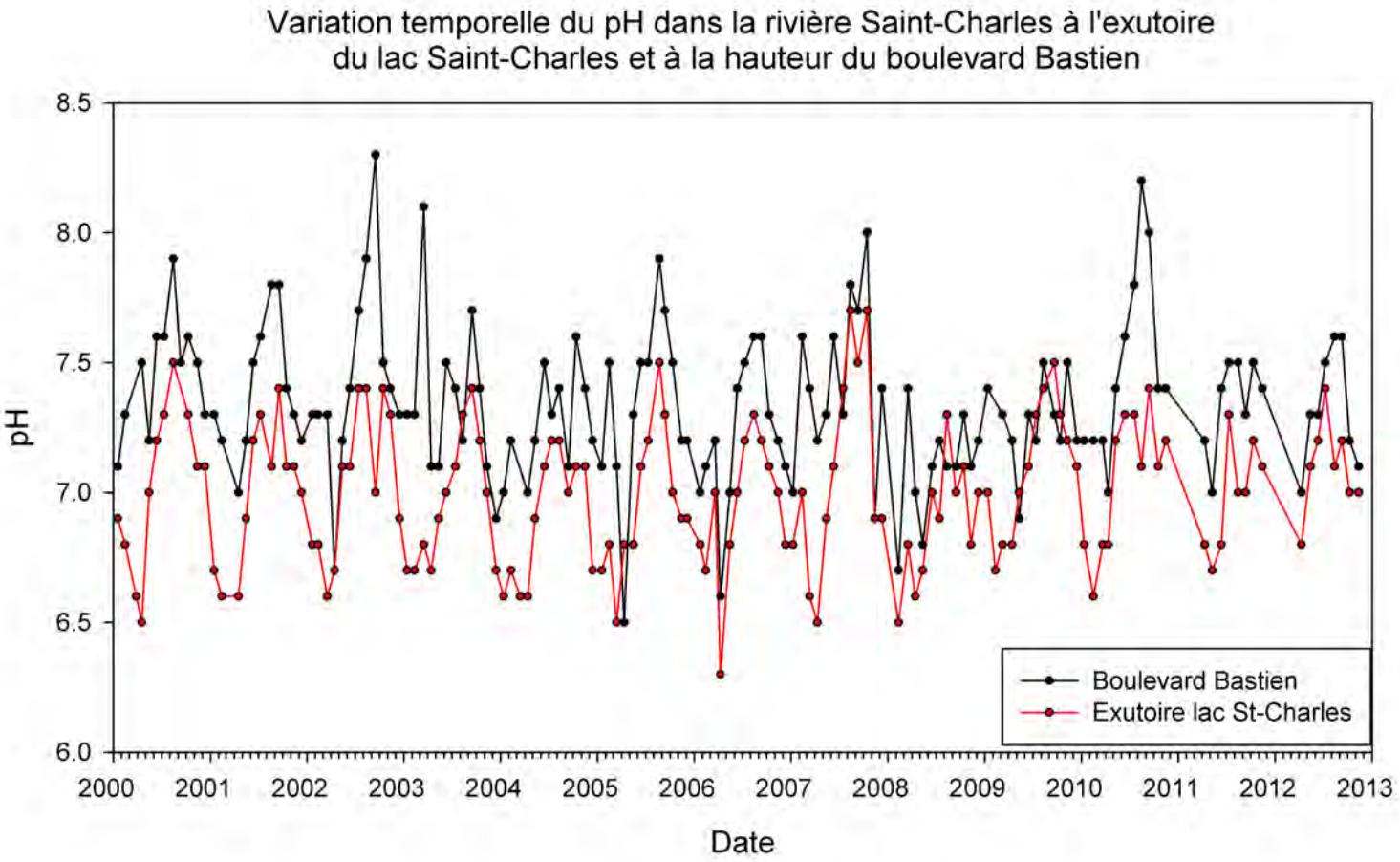


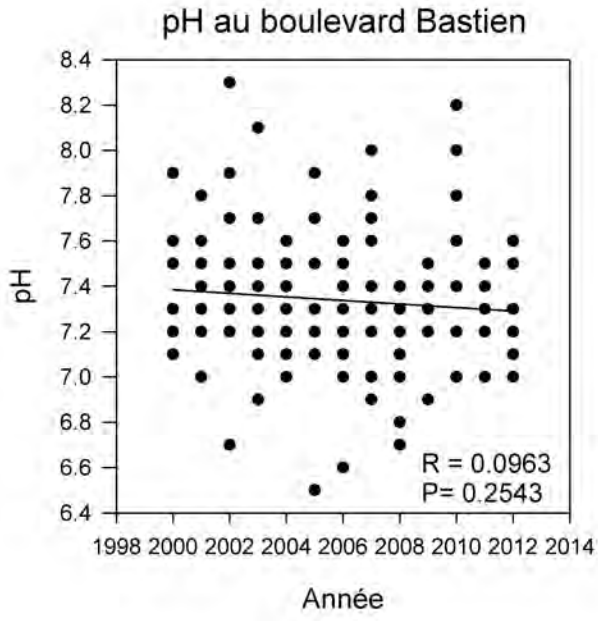
Comparaisons entre la qualité de l'eau de la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien (les valeurs P sont le résultat du test de comparaison de Mann-Whitney)

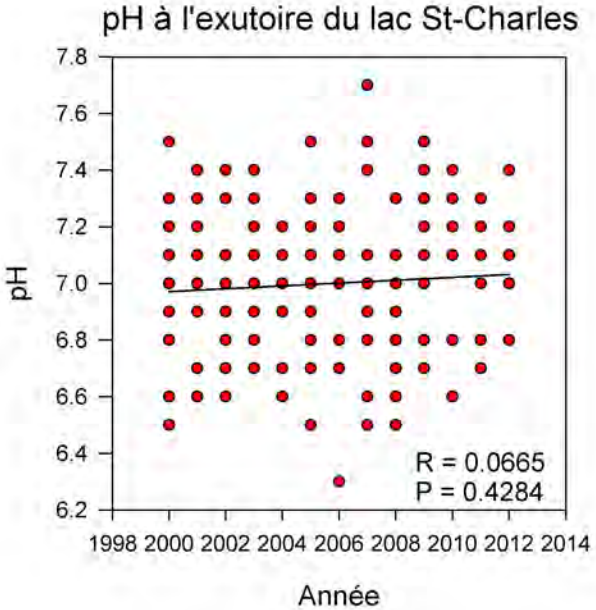




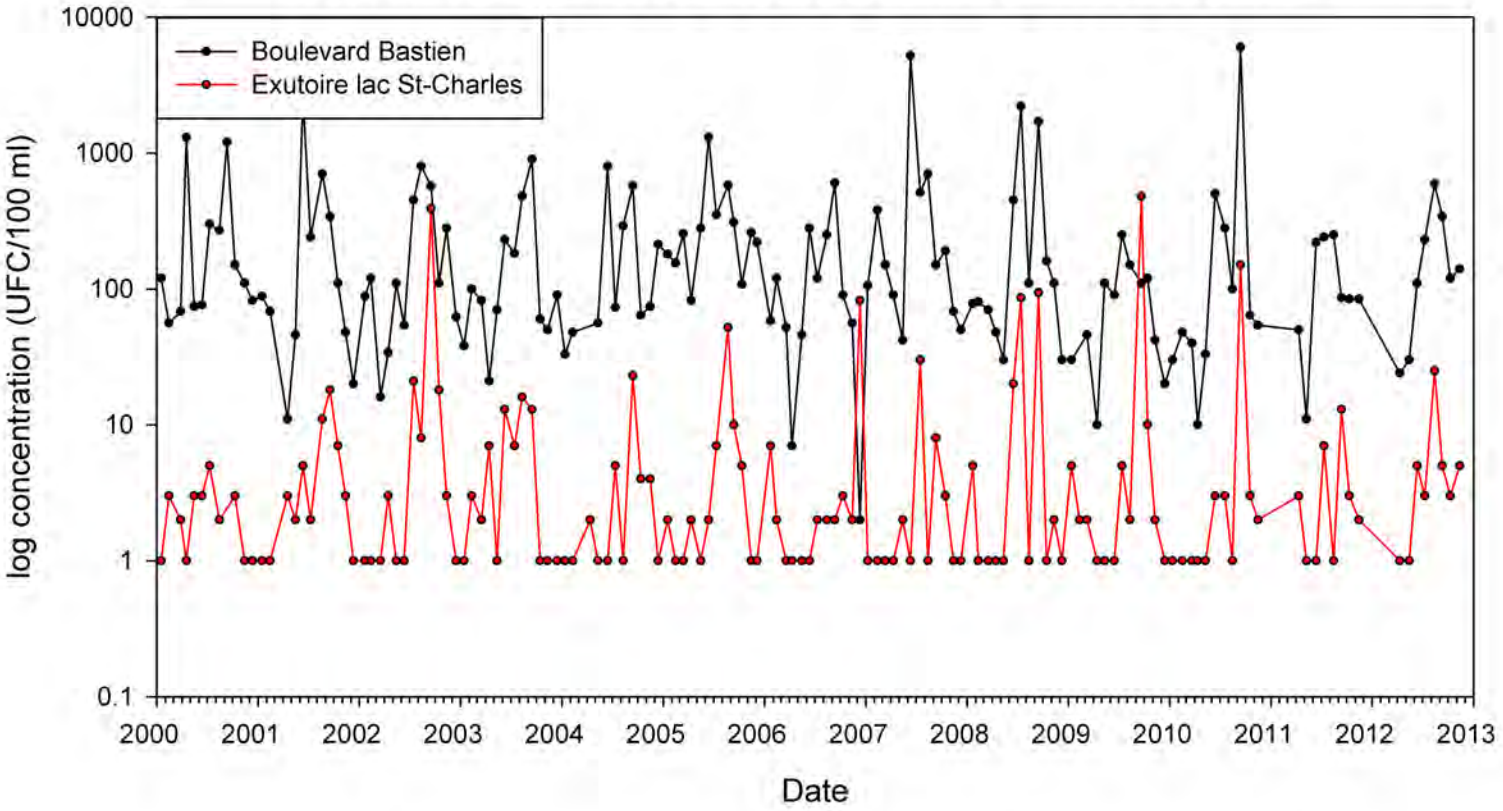



Variation temporelle du pH dans la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien
pH
Date
Boulevard Bastien
Exutoire lac St-Charles

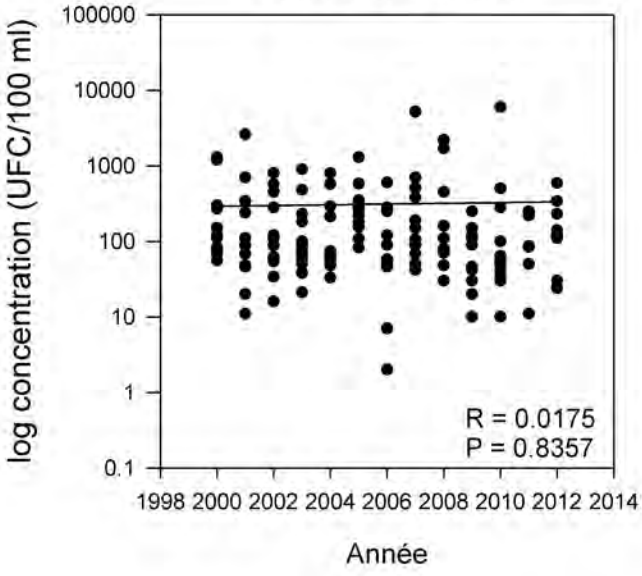

pH au boulevard Bastien
pH
Année
R = 0.0963
P= 0.2543


pH à l'exutoire du lac St-Charles
pH
Année
R = 0.0665
P = 0.4284

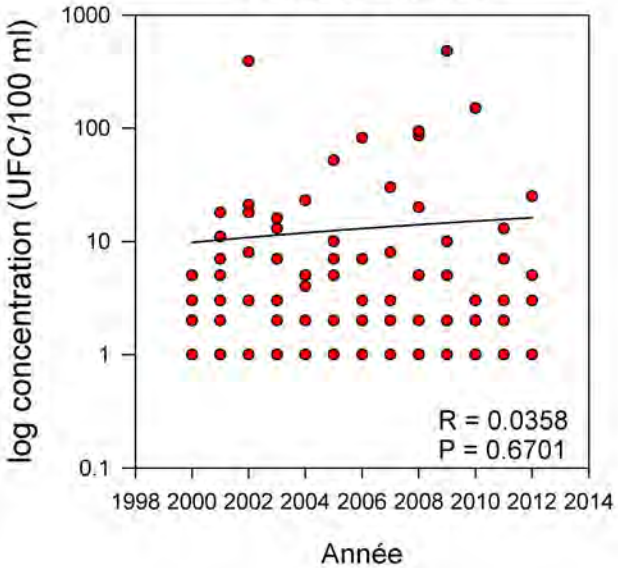
Variation temporelle des concentrations de coliformes fécaux dans la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien



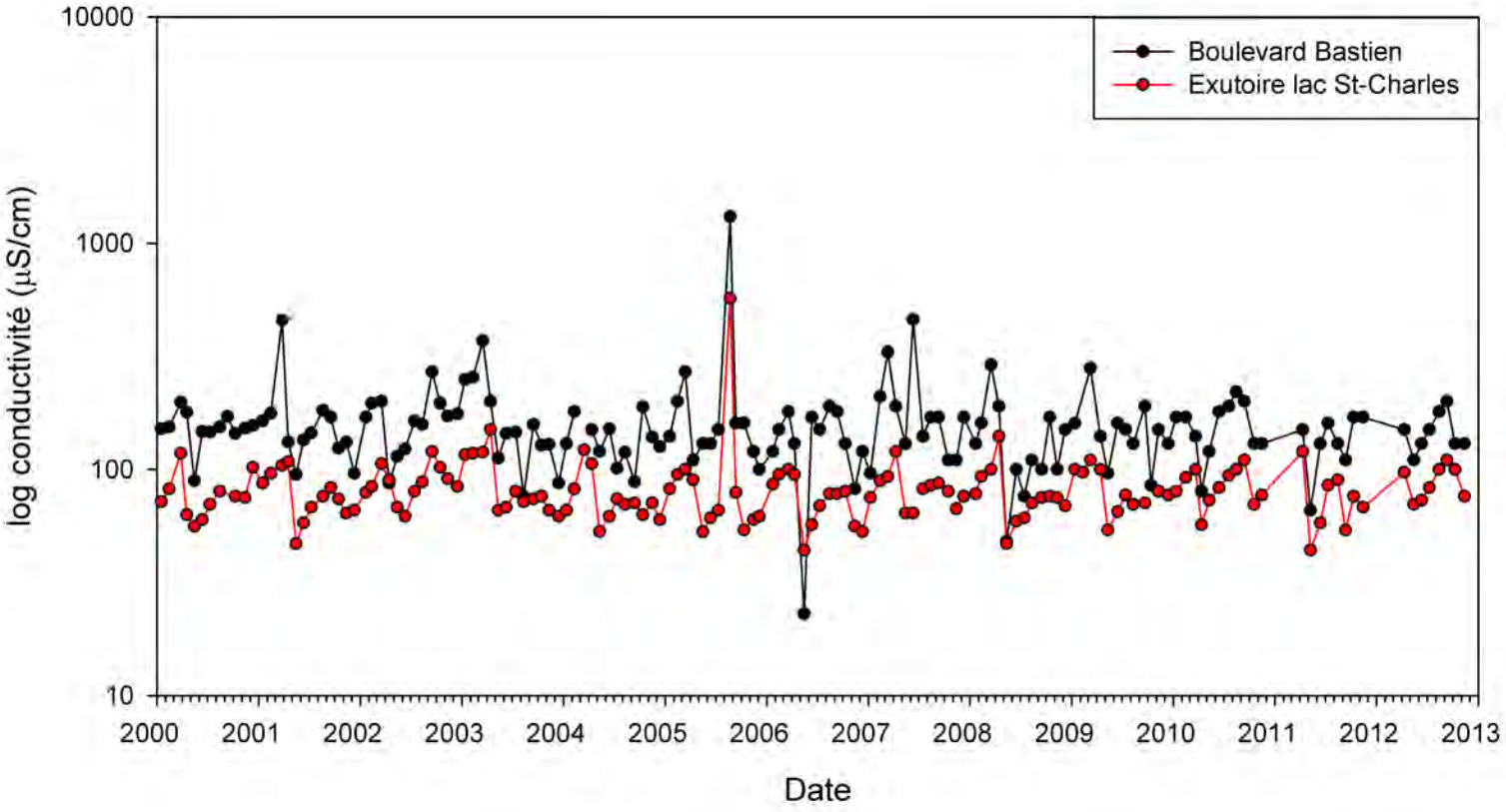
Coliformes fécaux au boulevard Bastien



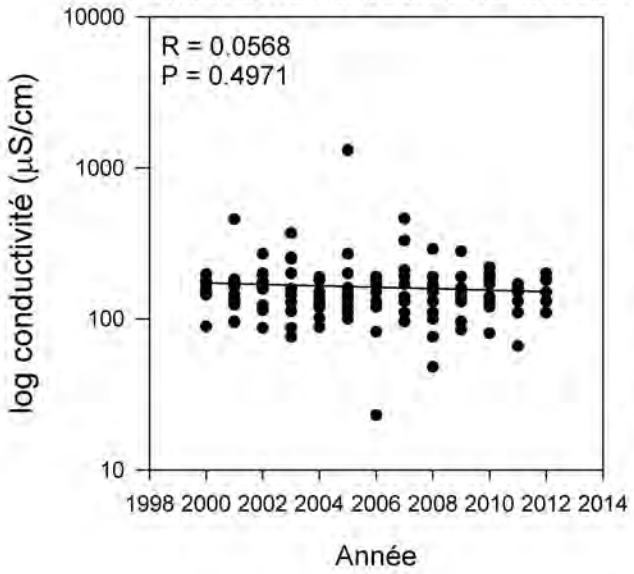
Coliformes fécaux à l'exutoire du lac St-Charles



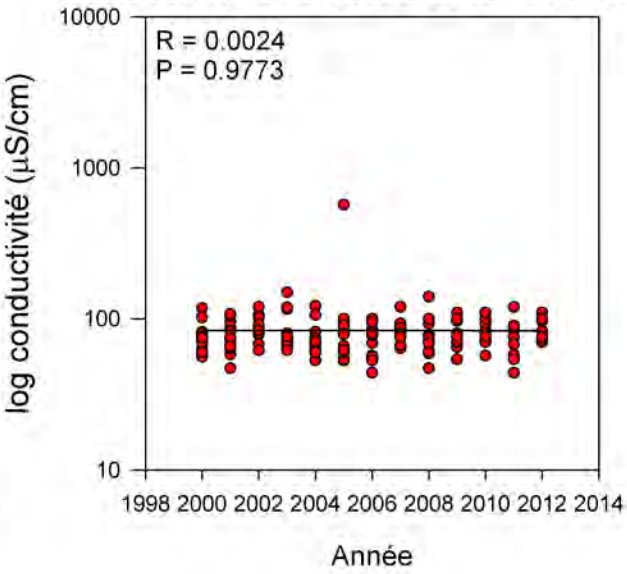
Variation temporelle de la conductivité dans la rivière
Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien



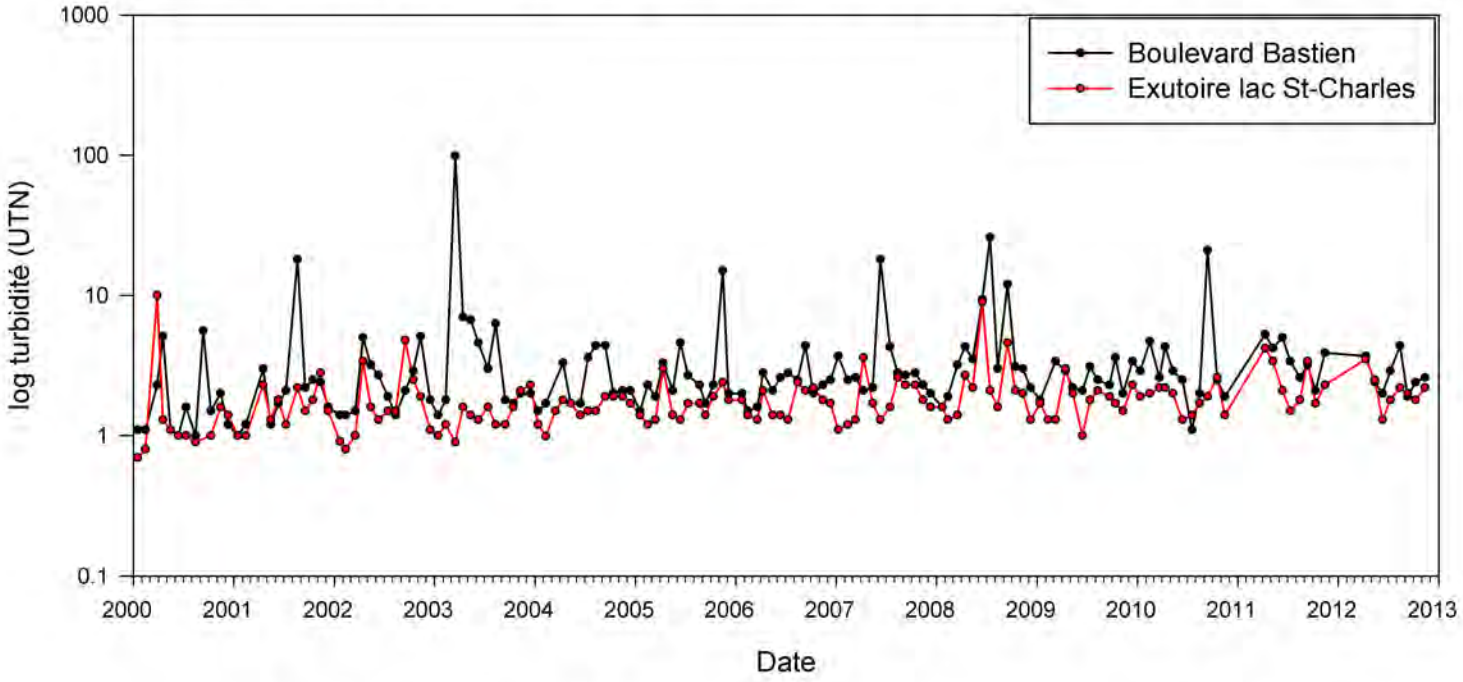
Conductivité au boulevard Bastien



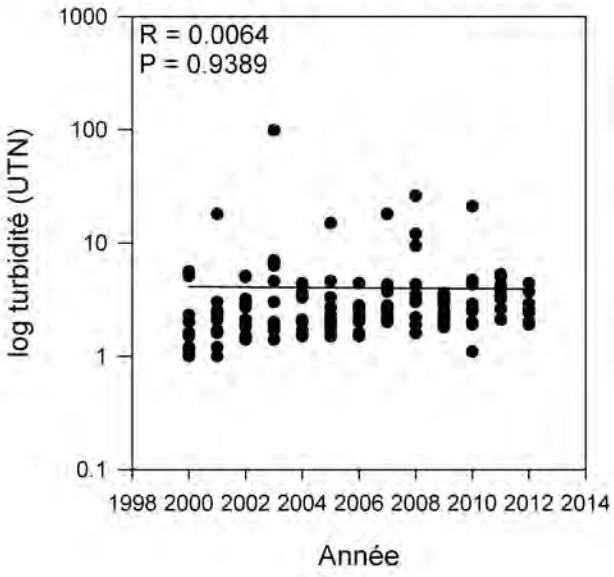
Conductivité à l'exutoire du lac St-Charles



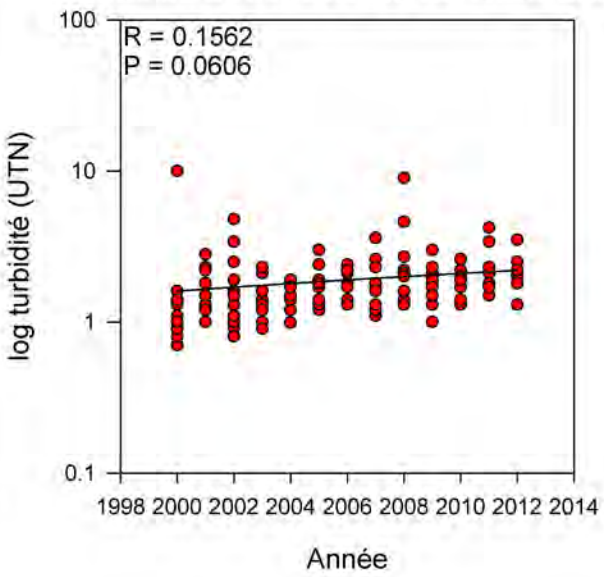
Variation temporelle des valeurs de turbidité dans la rivière
Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien



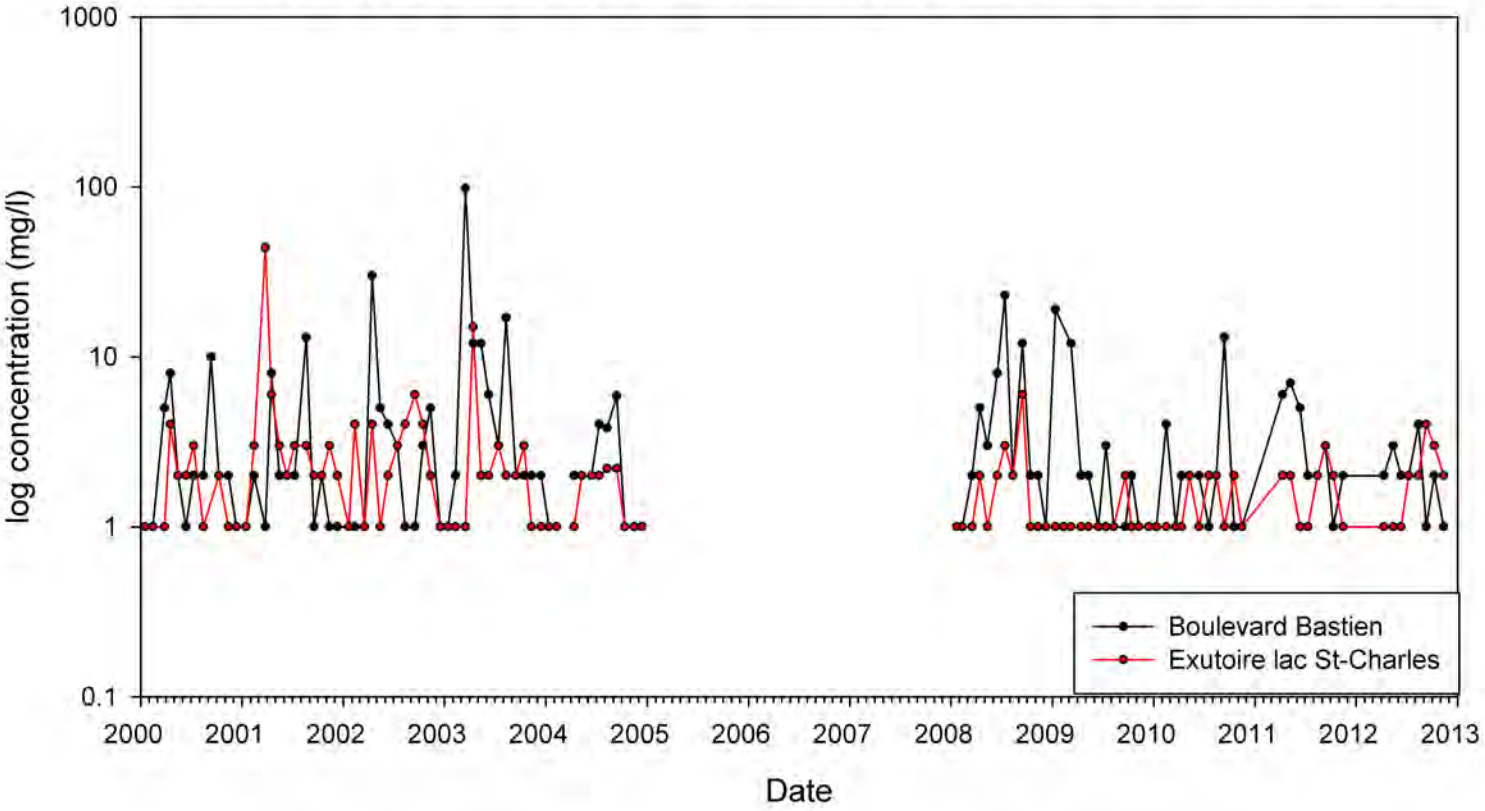
Turbidité au boulevard Bastien

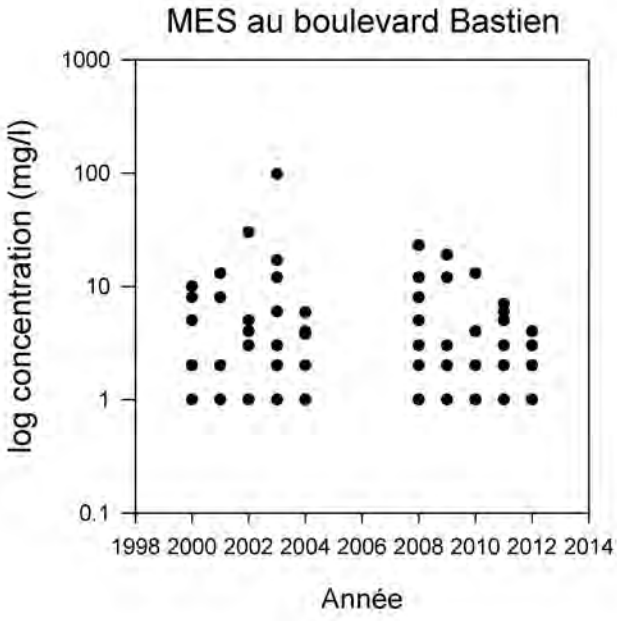


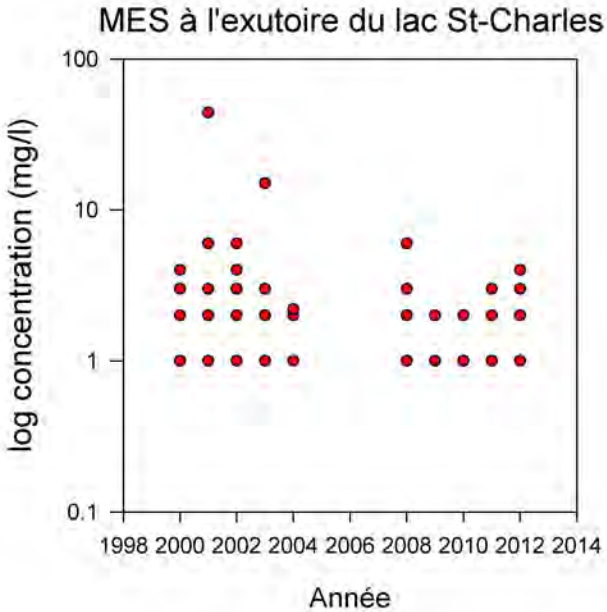
Turbidité à l'exutoire du lac St-Charles



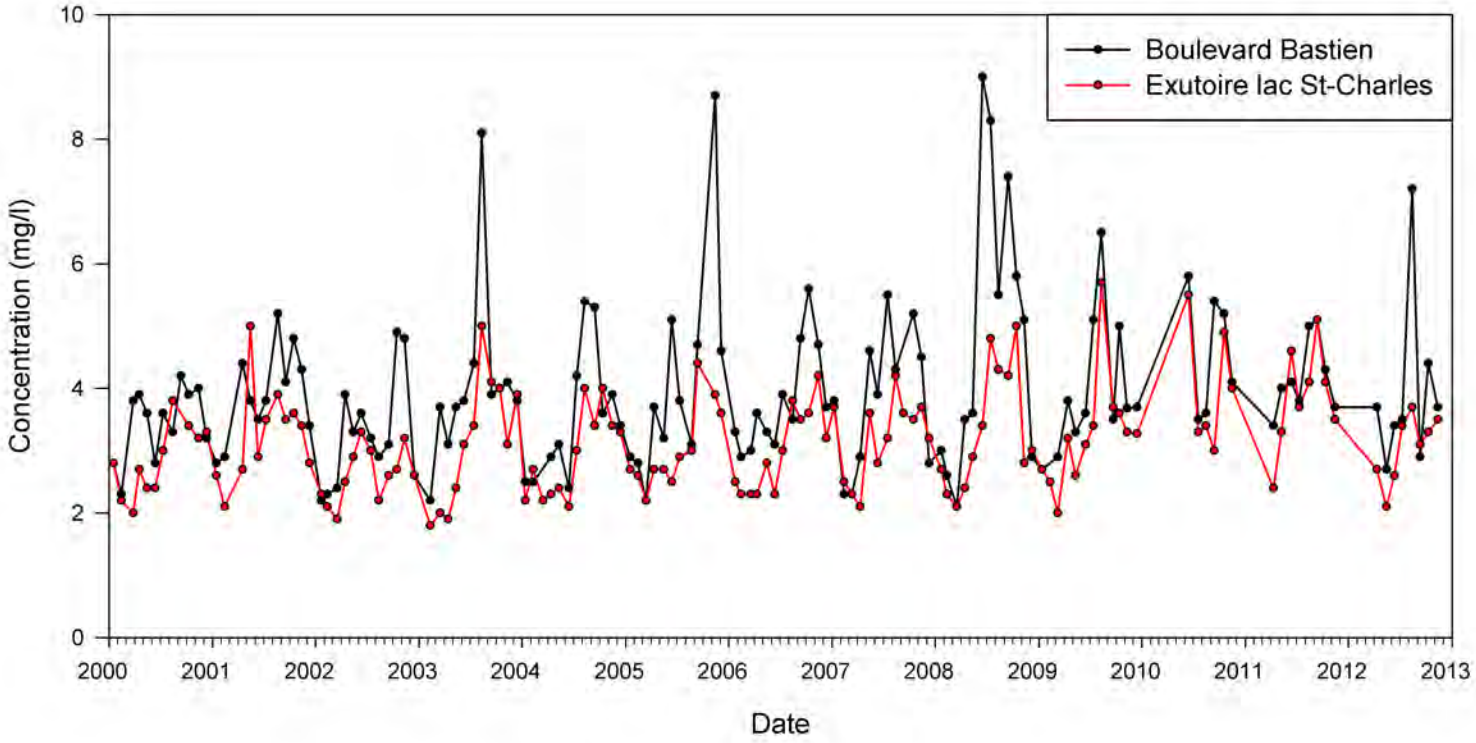
Variation temporelle des concentrations de matières en suspension (MES) dans la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien



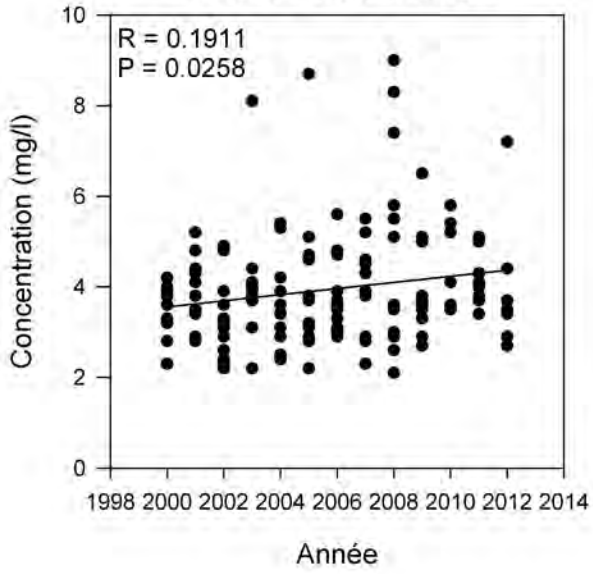




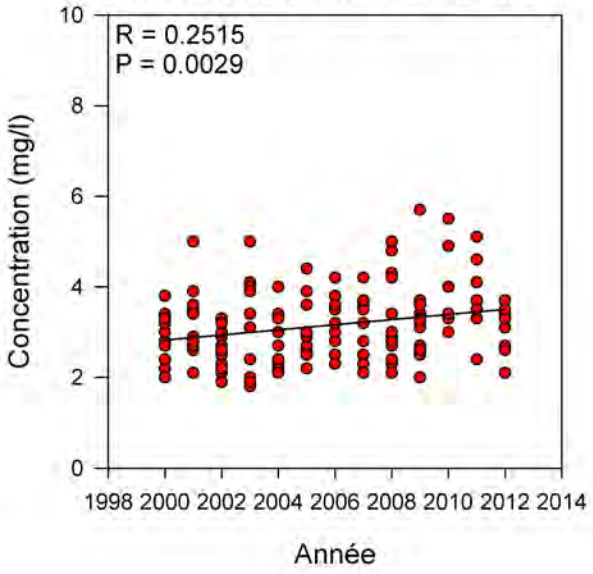
Variation temporelle des concentrations de carbone organique dissous (COD) dans la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien



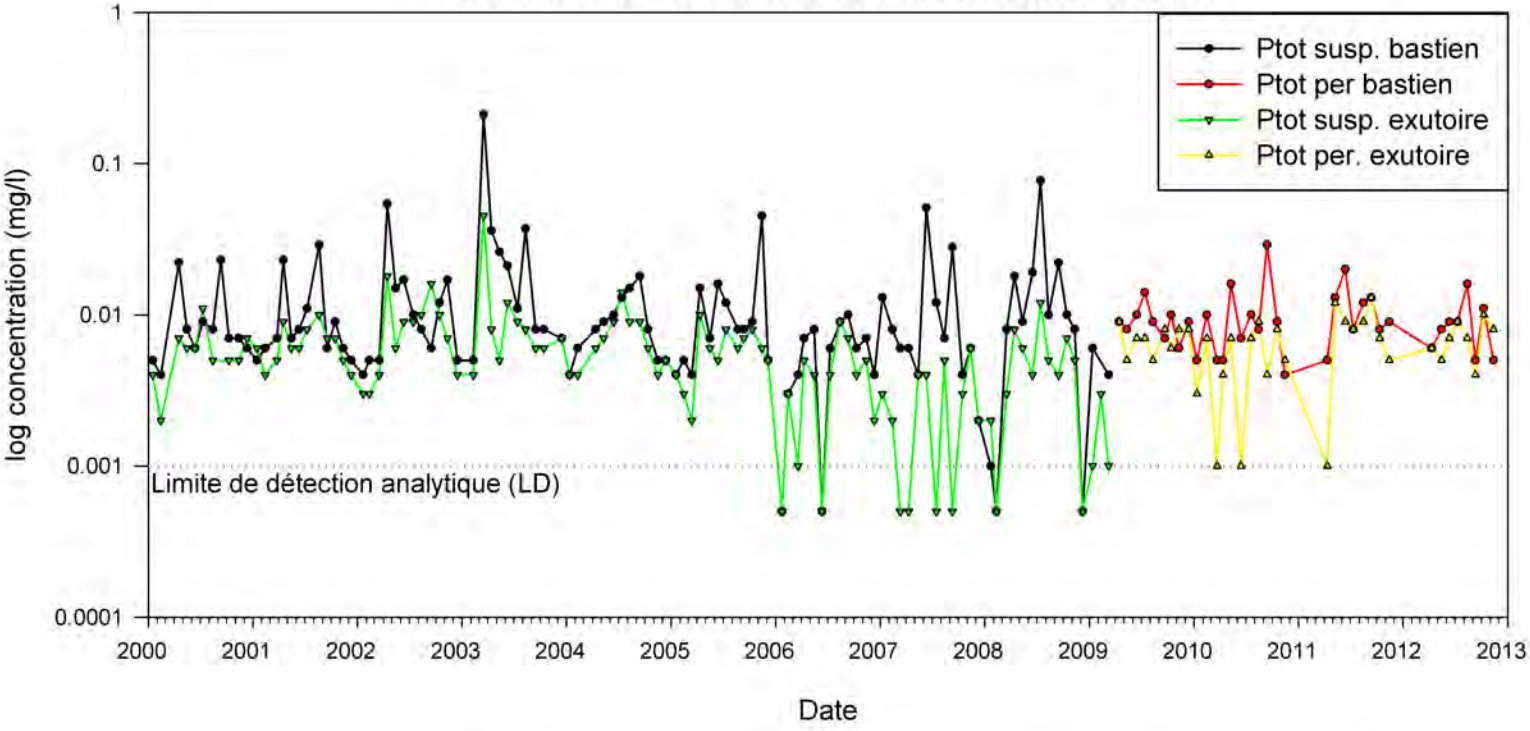
Concentration de COD au boulevard Bastien



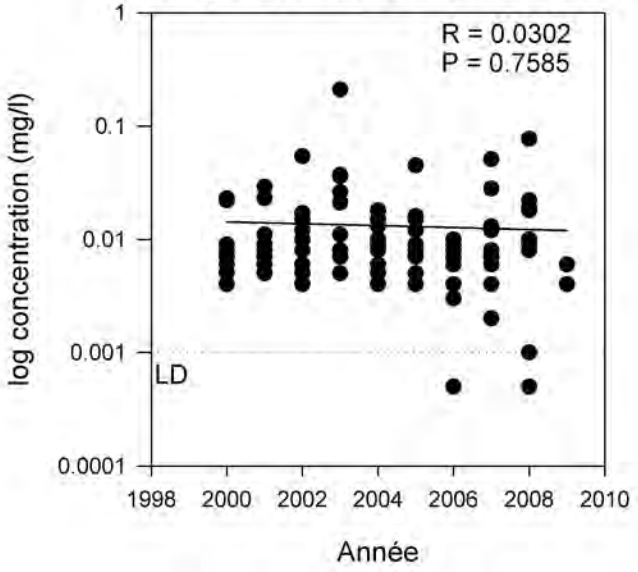
Concentration de COD à l'exutoire du lac St-Charles



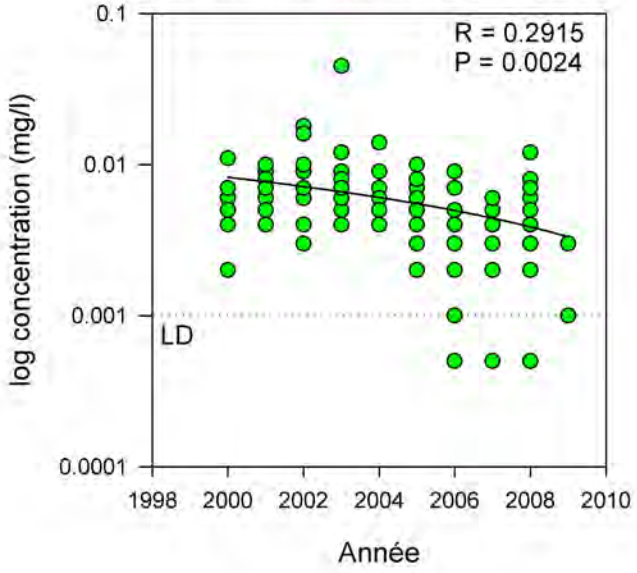
Variation temporelle des concentrations de phosphore total en suspension et de phosphore total persulfate dans la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien



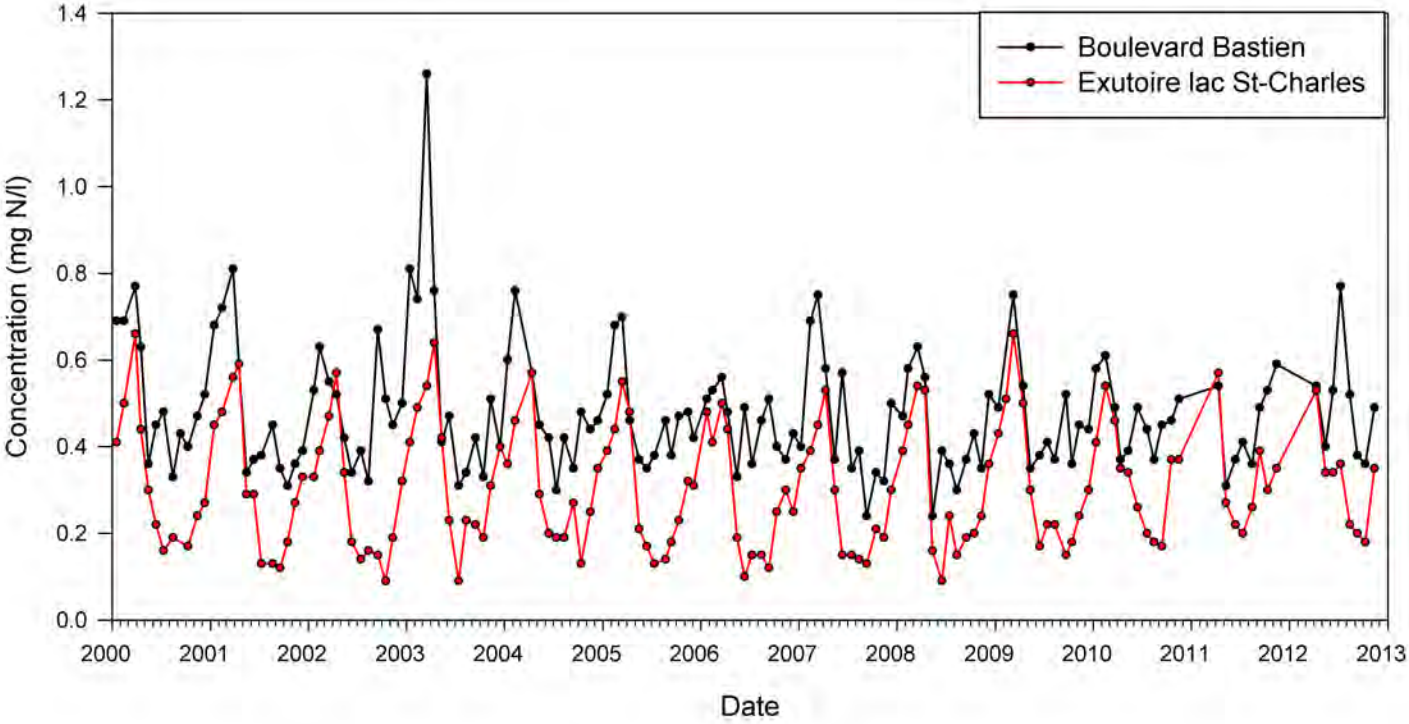
Concentration de phosphore total en suspension au boulevard Bastien



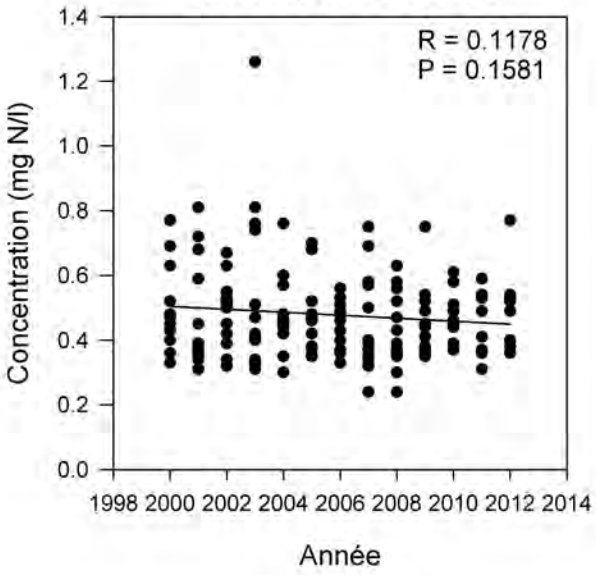
Concentration de phosphore total en suspension à l'exutoire du lac St-Charles



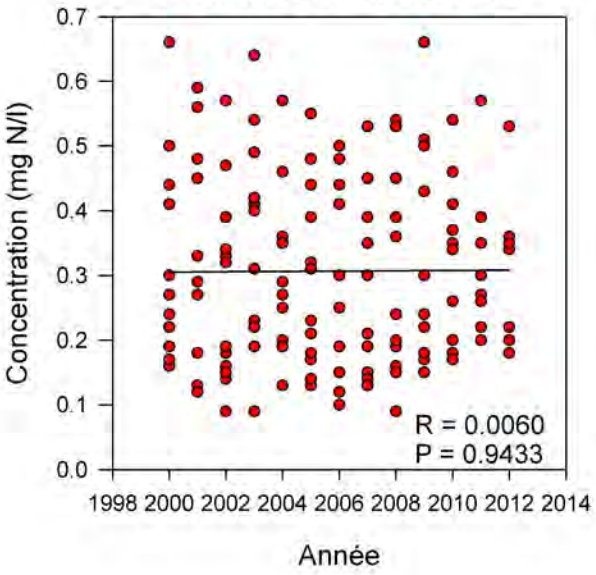
Variation temporelle des concentrations d'azote total dans la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien



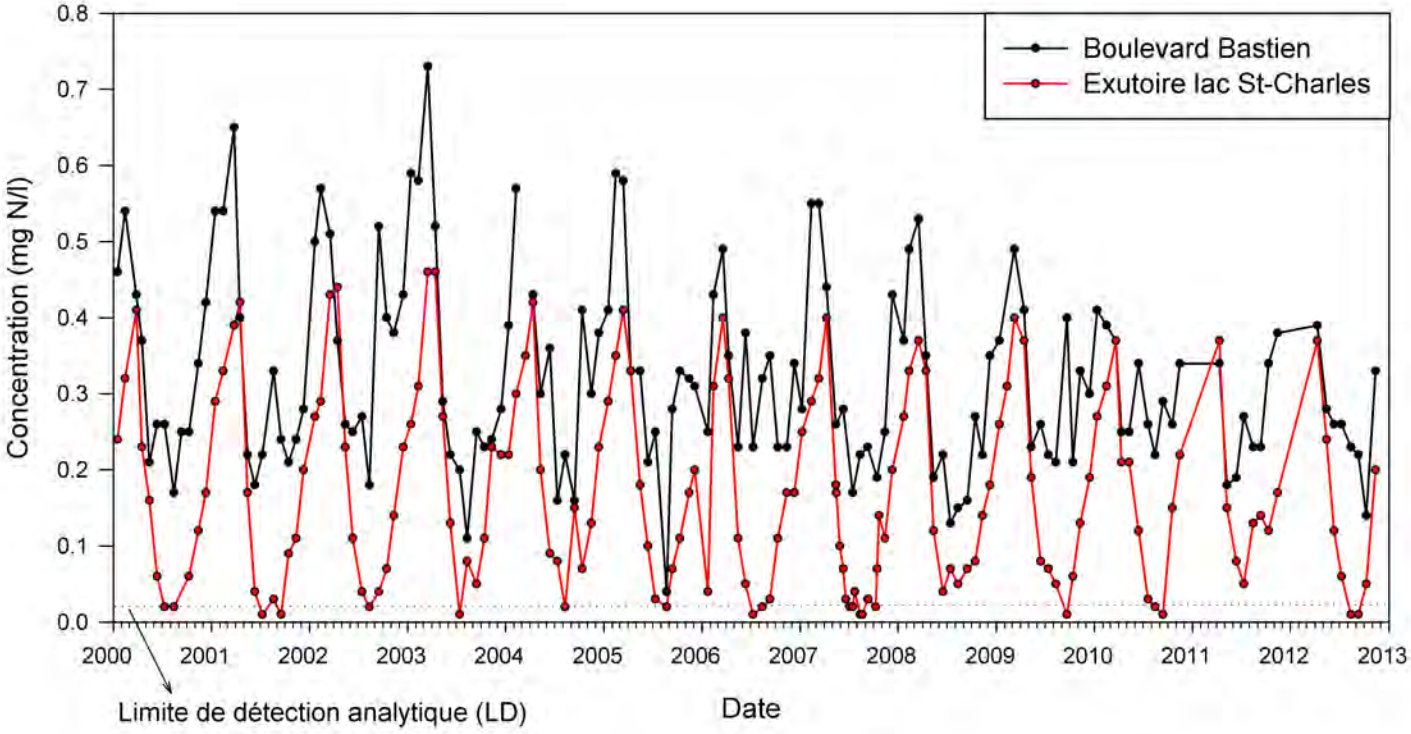
Concentration d'azote total au boulevard Bastien



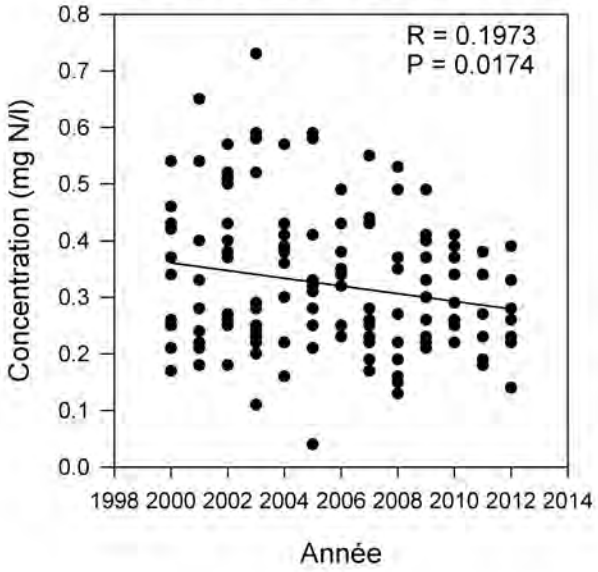
Concentration d'azote total à l'exutoire lac St-Charles



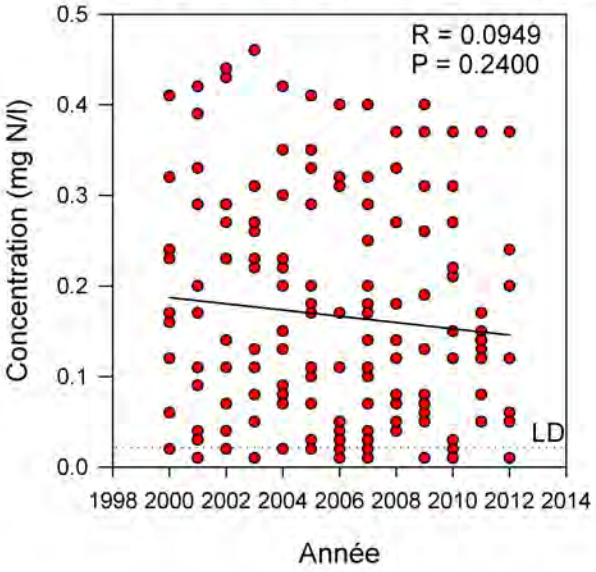
Variation temporelle des concentrations de nitrites et de nitrates dans la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien



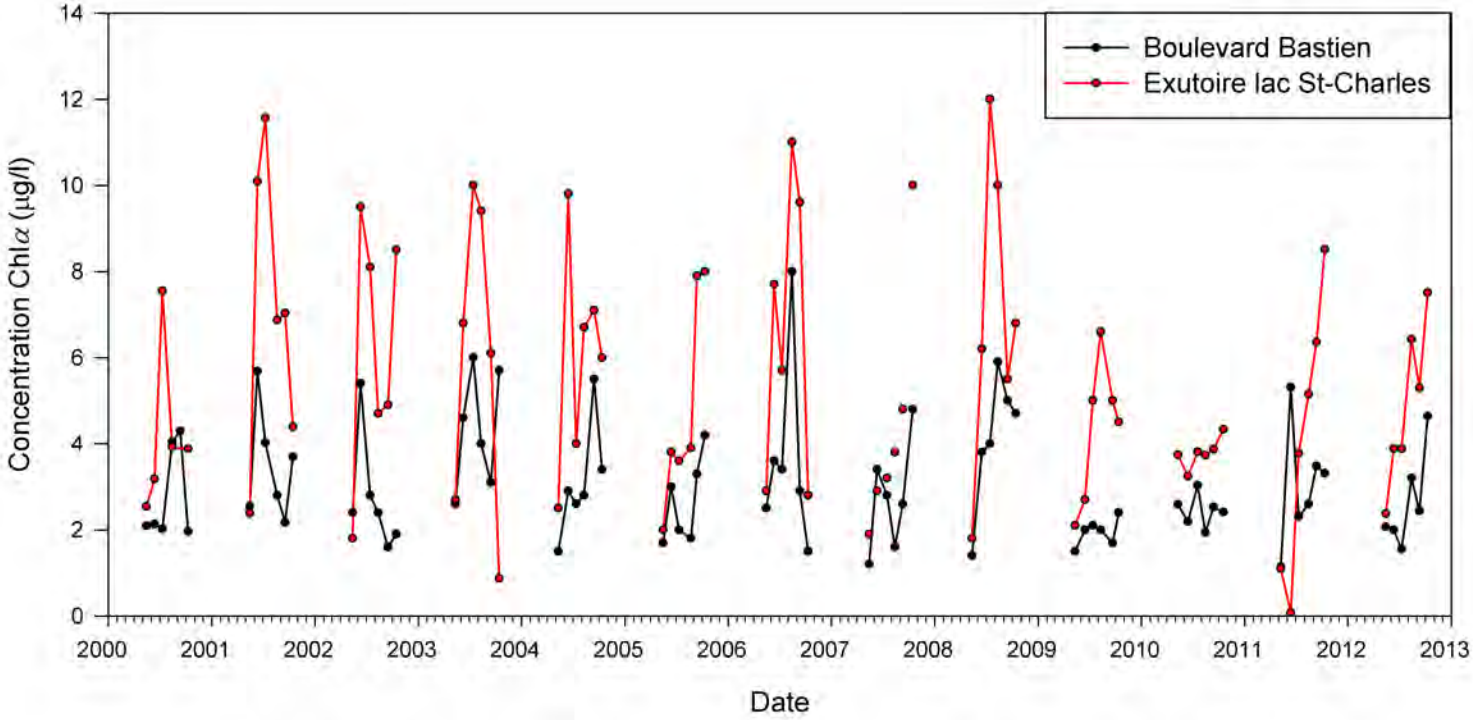
Concentration de nitrites et de nitrates au boulevard Bastien



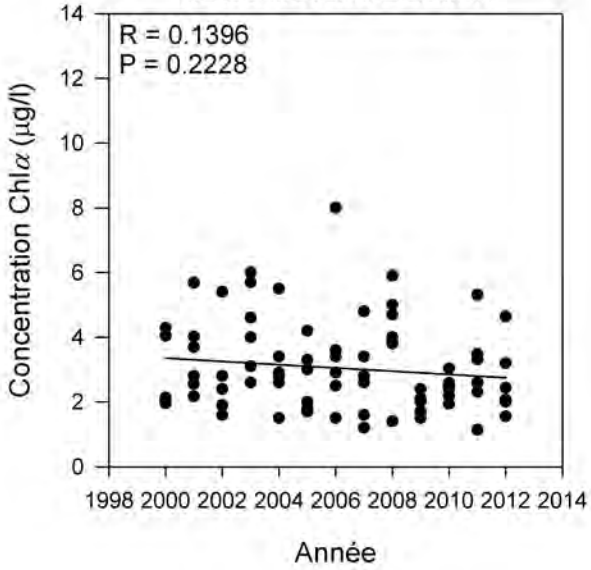
Concentration de nitrites et de nitrates à l'exutoire du lac St-Charles



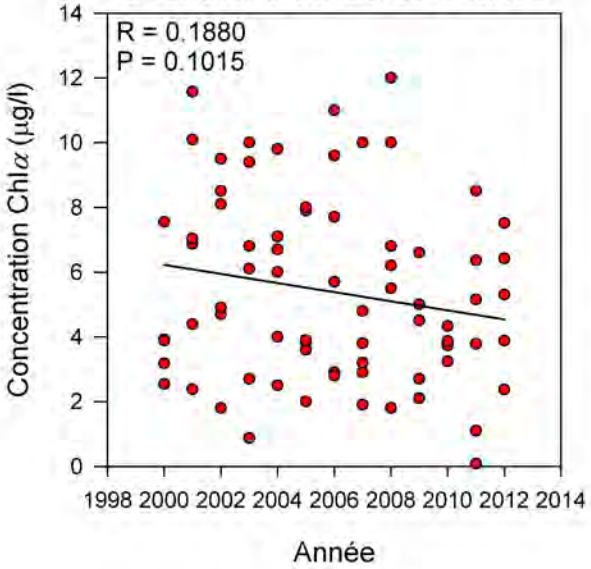
Variation temporelle des concentrations de chlorophylle α dans la rivière Saint-Charles à l'exutoire du lac Saint-Charles et à la hauteur du boulevard Bastien



Concentration de chl α au boulevard Bastien



Concentration de chl α à l'exutoire du lac St-Charles



État de la situation du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles

Plan d'action 2014 pour la mise en œuvre des recommandations

Zone proximale d'intervention pour le contrôle des sources de contaminants

Communauté métropolitaine de Québec

Sources de contaminants

- Surverse d'égoût sanitaire (PBOI)
- Poste de pompage du réseau sanitaire vers le pluvial
- Étang aéré (PBI)
- Fosse septique
- Terrain de golf (PIB)
- Unité de production de volaille (PB)
- Unité de production autres (bovins, ovins, chevaux, aquiculture) (PB)
- Base de plein air, colonie de vacances (PB)
- Ski (I)
- Entreprise d'excavation (I)
- Site contaminé (OI)
- Site d'enfouissement sanitaire fermé (IOB)
- Site d'enfouissement sanitaire (IOB)
- Déchetterie (OIB)
- Dépôt de matériaux sec (I)
- Site d'enfouissement non défini (IOB)

Sources de contaminants (suite)

- Cimetière d'autos (I)
- Atelier mécanique (OI)
- Station-service (OI)
- Détaillant de produits phyto-sanitaires ou d'aménagement paysager (O)

Type de contaminant
P : phosphore
B : bactériologique
O : organique
I : Inorganique

Zone prioritaire d'intervention

- Zone inondable 0 - 20 ans
- Aquifères (en aval du lac Saint-Charles)
- Secteur avec drainage imparfait, mauvais ou très mauvais

- Golf
- Site d'enfouissement
- Débris de métaux

- Bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles
- Bassin versant
- Sous-bassin versant
- Limite municipale
- Réseau hydrographique

Sources :
Surverses : Ville de Québec (2014)
Postes de pompage : Ville de Québec (2014)
Occupation du sol : APEL (2008)
Zones inondables : CMQ (2009)
Fosses septiques : CMQ (2014)
Limites municipales : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (2008)
Bassin versant : CMQ (2014)
Aquifères : Gérardin et Lachance (1997)
Éléments ponctuels : Roche (2010)

Base cartographique : CMQ (2008)
Système de coordonnées : MTM NAD83 zone 7
Échelle : 1 :30 000
No. de projet : 56892-200
Date : Juin 2014
Fichier :56892_C-1-zone-proximale_140602.wor

0 1 2 km

ROCHE

Carte 1.0

215000 m.E
220000 m.E
225000 m.E
230000 m.E
235000 m.E

5215000 m.N
5210000 m.N
5205000 m.N
5200000 m.N
5195000 m.N
5190000 m.N

Lac Dublin
Lac à la Loutre
Lac Démers
Lac Turgeon
Lac Drouin
Lac Lagon
Les Trois Petits Lacs
Lac Durand
Lac Delage
Lac de la Savane
Lac Saint-Charles
Lac du Sud-Ouest
Lac Blanc
Lac de l'Aqueduc
Lac Riley
Lac des Graviers
Lac Richardson
Lac du Pied de la Montagne
Lac Manick
Lac des Eaux Fraîches
Lac Bonnet
Lac Bleu
Lac Bastien
Lac Morin
Lac Cité-Jole
Lac de la Vermine
Lac Villeneuve
Lac Paisible
Lac Savard
Lac des Deux Truites
Lac McKenzie
Lac Echo
Lac Lagueux
Lac Beauport
Lac Neigette
Lac Fortier
Lac Jaune
Lac Clément
Lac des Iris
Etang du Brûlé
Lacs à Giguère
Etang Bellevue
Lac Fripon

STONEHAM-ET-TEWESBURY
QUÉBEC
SAINTE-BRIGITTE-DE-LAVAL
LAC-BEAUPORT
SAINT-GABRIEL-DE-VALCARTIER
LAC-DELAGE
SHANNON
WENDAKE
Prise d'eau
Rivière Saint-Charles
Rivière Jaune
Rivière Nelson
Ruisseau Savard
Ruisseau Tiblo
Ruisseau Blanc
Ruisseau des Hurons
Ruisseau des Eaux Fraîches
Ruisseau des Pistes d'Eau
Ruisseau de Gaspé
Ruisseau Clément
Rue Dupuis
Rue Marcel
Rue de Stoneham
Rue de la Source
Rue des Sables
Rue des Sablières
Rue de la Savane
Rue de la Rivière
Rue de la Station
Rue de la Montagne
Rue des Hurons
Rue des Eaux Fraîches
Rue des Pistes d'Eau
Rue de Gaspé
Rue Clément
Rue des Iris
Rue Jaune
Rue Bellevue
Rue Fripon
Rue Richardson
Rue des Graviers
Rue Manick
Rue Villeneuve
Rue Bonnet
Rue Bleu
Rue Bastien
Rue Morin
Rue Cité-Jole
Rue Lagueux
Rue Beauport
Rue Neigette
Rue Fortier
Rue Jaune
Rue Clément
Rue des Iris
Rue Etang du Brûlé
Rue Lacs à Giguère
Rue Lagueux
Rue Paisible
Rue McKenzie
Rue Echo
Rue Savard
Rue Nelson
Rue Blanc
Rue Sud-Ouest
Rue Delage
Rue Savane
Rue Durand
Rue Drouin
Rue Lagon
Rue Dublin
Rue Turgeon
Rue Démers
Rue Loutre
Rue Dupuis
Rue Marcel
Rue de Stoneham
Rue de la Source
Rue des Sables
Rue des Sablières
Rue de la Savane
Rue de la Rivière
Rue de la Station
Rue de la Montagne
Rue des Hurons
Rue des Eaux Fraîches
Rue des Pistes d'Eau
Rue de Gaspé
Rue Clément
Rue des Iris
Rue Jaune
Rue Bellevue
Rue Fripon
Rue Richardson
Rue des Graviers
Rue Manick
Rue Villeneuve
Rue Bonnet
Rue Bleu
Rue Bastien
Rue Morin
Rue Cité-Jole
Rue Lagueux
Rue Beauport
Rue Neigette
Rue Fortier
Rue Jaune
Rue Clément
Rue des Iris
Rue Etang du Brûlé
Rue Lacs à Giguère
Rue Paisible
Rue McKenzie
Rue Echo
Rue Savard
Rue Nelson
Rue Blanc
Rue Sud-Ouest
Rue Delage
Rue Savane
Rue Durand
Rue Drouin
Rue Lagon
Rue Dublin
Rue Turgeon
Rue Démers
Rue Loutre

Susceptibilité à l'érosion

Classification établie sur la base des classes de pente, de la couverture végétale et des dépôts de surface*

- Très forte susceptibilité à l'érosion (9 à 12)
- Forte susceptibilité à l'érosion (7 à 9)
- Moyenne susceptibilité à l'érosion (4 à 7)
- Faible susceptibilité à l'érosion (0 à 4)

Cote de classe de pente + cote dépôts de surface + cote couverture végétale = Classe de susceptibilité à l'érosion

Classe de pente en %	Cote
Faible (0 à 10%)	1
Moyenne (10 à 25%)	3
Forte (25% et +)	5

Érodibilité des dépôts de surface	Cote
Substrat rocheux , sédiment glaciaire	1
Zone de remblai, sédiment fluvioglaciaire	2
Carrière et sablière, sédiment, alluvial, sédiment marin	3
Sédiment organique	4

Couverture végétale	Cote
Eau	0
Forêt	1
Agricole	2
Urbain	3
Dénudé†	4

†Comprend les sols à nu, coupes et brûlis, pistes de ski, carrières et sablières, lignes de transport d'énergie

*Classification inspirée de la méthode de cartographie de la sensibilté des sols à l'érosion appliquée à la région de Dumbéa (Dumas P., octobre 2013) http://com/revues.org/6123

Communauté métropolitaine de Québec

État de la situation du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles

Plan d'action 2014 pour la mise en œuvre des recommandations

Zones de susceptibilité à l'érosion et au transport sédimentaire

- Bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles
- Bassin versant
- Sous-bassin versant
- Limite municipale
- Réseau hydrographique

Sources :
Occupation du sol : APEL (2009)
Zones inondables : CMQ (2009)
Limites municipales : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (2009)
Bassin versant : CMQ (2014)
Dépôts de surface : MRNF (2004)
Couverture végétale (CMQ, 2014)
Éléments ponctuels : Roche (2010)

Base cartographique : CMQ (2008)
Système de coordonnées : MTM NAD83 zone 7
Échelle : 1 :30 000
No. de projet : 56892-200
Date : Mai 2014
Fichier :56892_C_2-erosion_140501.wor

0 1 2 km

ROCHE

Carte 2.0

État de la situation du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles

Plan d'action 2014 pour la mise en œuvre des recommandations

Zones propices à la mobilité du phosphore

Communauté métropolitaine de Québec

Carte 3.0

Sources d'émission de phosphore

- Surverse d'égoût sanitaire (PBOI)
- Poste de pompage du réseau sanitaire vers le pluvial
- Étang aéré
- Fosse septique
- Terrain de golf
- Unité de production de volaille
- Unité de production autres (bovins, ovins, chevaux, aquiculture)
- Base de plein air, colonie de vacances

Zone propice à la mobilité du phosphore

- Zone de bas de talus
- Zone en position basse dans le relief
- Secteur avec drainage mauvais à très mauvais

Zone inondable 0 - 20 ans

Aquifères (Comprenant la grande terrasse sablo-argileuse, la nappe d'accompagnement de la riv. des Hurons et de la Jaune (sable et gravier)

Indice de vulnérabilité des eaux souterraines (DRASTIC)

Élevé (I > 150)

- Bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles
- Bassin versant
- Sous-bassin versant
- Limite municipale
- Réseau hydrographique

Sources :
Surverses : Ville de Québec (2014)
Postes de pompage : Ville de Québec (2014)
Zones inondables : CMQ (2009)
Fosses septiques : CMQ (2014)
Limites municipales : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (2009)
Bassin versant : CMQ (2014)
Aquifères : Gérardin et Lachance (1997)
Éléments ponctuels : Roche (2010)

Base cartographique : CMQ (2008)
Système de coordonnées : MTM NAD83 zone 7
Échelle : 1:20 000
No. de projet : 56892.200
Date : Juin 2014
Fichier : 56892_C_3_phosphore_140602.wor

0 1 2 km

ROCHE

Prise d'eau

Rivière Saint-Charles