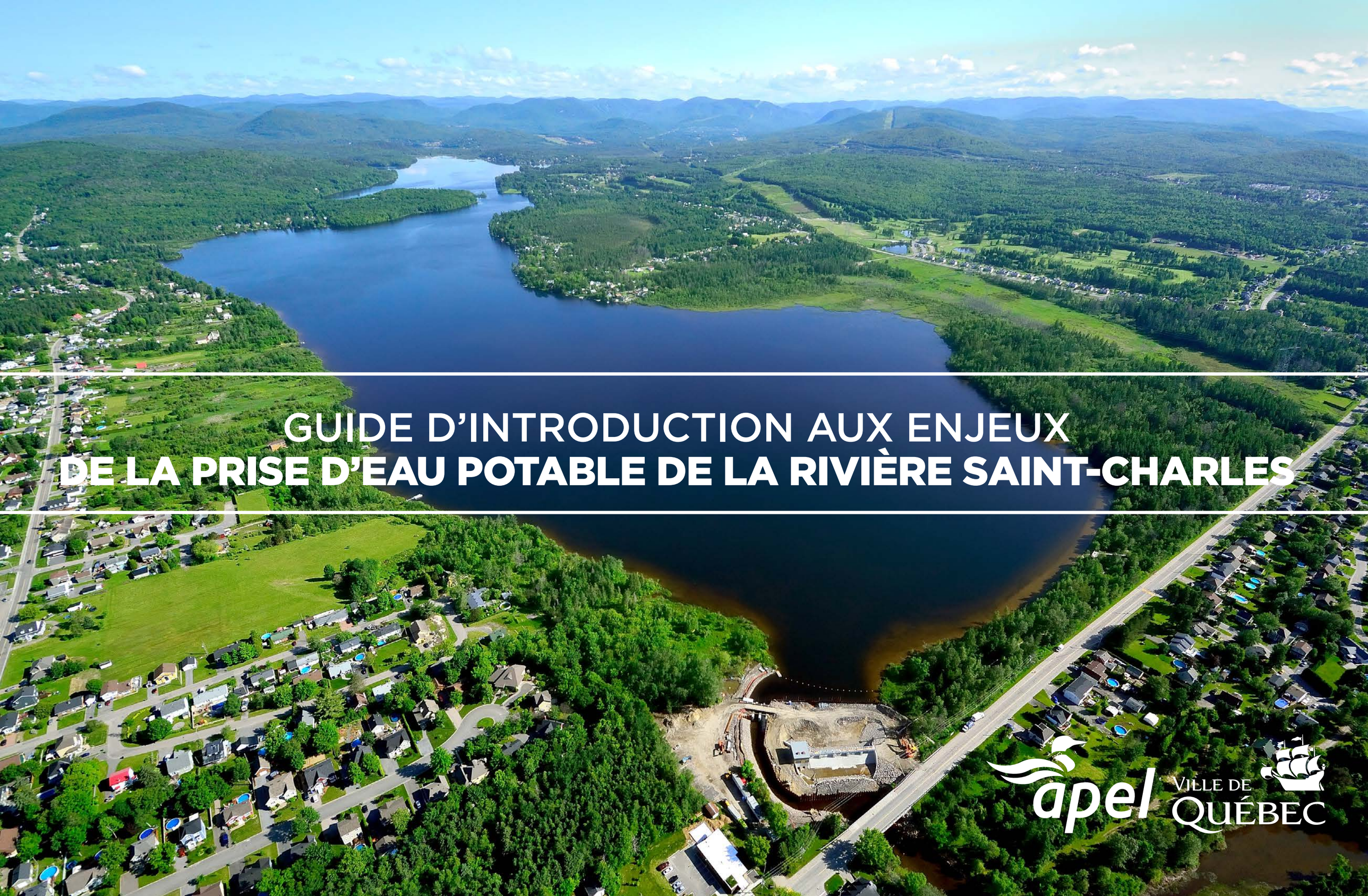
GUIDE D'INTRODUCTION AUX ENJEUX
DE LA PRISE D'EAU POTABLE DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES



apel

Ville de Québec

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Coordination du projet
William Verge, ing. jr
Chargé de projets en drainage urbain et environnement

Conception et rédaction
William Verge, ing. jr
Sonja Behmel, Géographe, M.Sc.
Chargée de projets en limnologie
François Côté, Biologiste, M.Sc.

Cartographie
Vincent Vandaele, Géomaticien, M.Sc.
Anne Beaudoin, Géographe, M.Sc.
William Verge, ing. jr

Révision
François Côté, Biologiste, M.Sc.
Marc Laganière, Agronome, M.Sc.

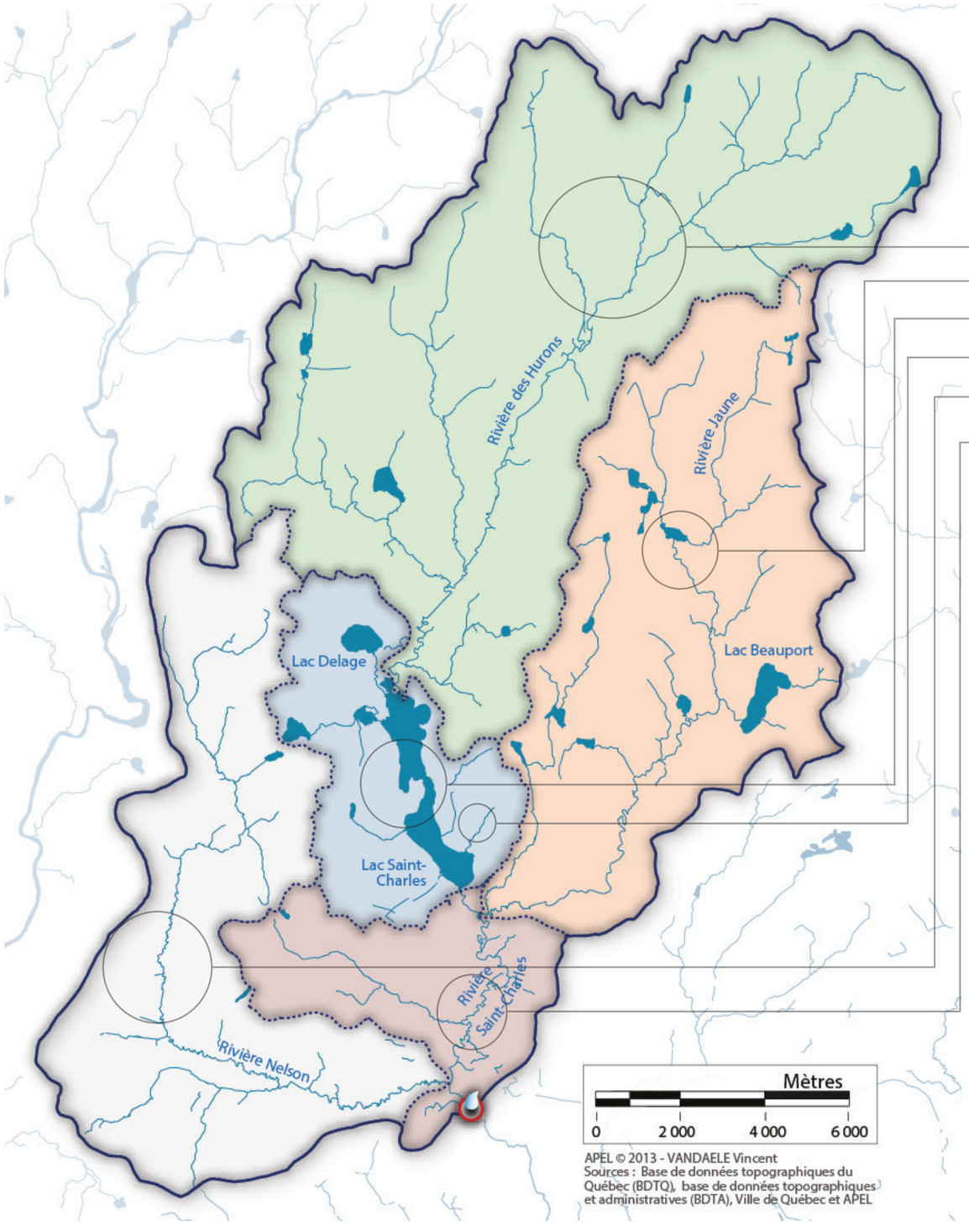


TABLE DES MATIÈRES

Introduction....p.01
L'eau : Santé et récréation....p.02
Impacts de l'urbanisation sur l'eau....p.02
Principaux paramètres de qualité de l'eau des rivières et des lacs....p.03
Le bassin versant de la rivière des Hurons....p.06
Le bassin versant de la rivière Jaune....p.08
L'état du lac Saint-Charles....p.04
L'état des petits affluents du lac Saint-Charles....p.05
Le bassin versant de la rivière Nelson....p.07
Le bassin versant de la rivière Saint-Charles, l'amont immédiat de la prise d'eau....p.09
Projets innovateurs en amont d'une prise d'eau....p.10
Références utiles....p.11
Bibliographie....p.12

Référence à citer:

APEL. 2014. *Guide d'introduction aux enjeux de la prise d'eau potable de la rivière Saint-Charles*, Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL), Québec, 12 pages.

Photo en page couverture :

Vue aérienne du lac Saint-Charles en 2013 (crédit : Francis Audet)

INTRODUCTION

MISE EN CONTEXTE

Le haut-bassin de la rivière Saint-Charles, aussi appelé bassin versant de la prise d'eau potable, est un territoire d'une superficie de 348 km². Il s'étend de Wendake à Stoneham-et-Tewkesbury, en passant par la partie nord de la ville de Québec et par plusieurs autres municipalités de la MRC de La Jacques-Cartier. Le haut-bassin est parsemé de nombreux cours et plans d'eau, dont le lac Saint-Charles, principal réservoir d'eau potable de la Ville de Québec. En effet, l'effluent du lac, la rivière Saint-Charles, sert à alimenter le système d'aqueduc de la Ville de Québec depuis 1854. Le lac Saint-Charles est, quant à lui, principalement alimenté par la rivière des Hurons, dont l'embouchure est localisée dans sa partie nord-est. Les rivières Nelson et Jaune sont également des cours d'eau importants du haut-bassin, car elles se jettent dans la rivière Saint-Charles en amont de la prise d'eau.

Cette prise d'eau, située à 11 km en aval du lac Saint-Charles, approvisionne l'usine de traitement d'eau potable de Québec (UTE Québec) (figure 1). L'UTE Québec fournit d'ailleurs 53 % des quelque 100 milliards de litres d'eau traités annuellement par la Ville. Environ 300 000 citoyens profitent ainsi d'une eau potable de qualité au quotidien.

Même si les zones boisées occupent encore la majeure partie du territoire du haut-bassin de la rivière Saint-Charles, les pressions anthropiques y sont en constante progression, et ce, depuis plusieurs années. Or, comme **toutes les actions humaines dans un bassin versant y affectent la qualité de l'eau**, la Ville de Québec a dû mettre en œuvre une série d'initiatives pour mieux protéger les sources d'eau potable de son territoire. C'est dans cette optique que la Ville s'est jointe à l'Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) pour sensibiliser l'ensemble des parties prenantes du haut-bassin de la rivière Saint-Charles. Le présent document, qui s'adresse aux différents Services de la Ville de Québec actifs sur le territoire, a été réalisé dans le cadre de ces efforts de sensibilisation.

OBJECTIF

Le but du document est de sensibiliser les intervenants des services municipaux aux problématiques de qualité de l'eau liées aux activités humaines dans le haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles. Il montre également, par des exemples concrets et références, que des solutions peuvent atténuer l'impact de l'urbanisation sur la qualité de l'eau.

Figure 1 : Usine de traitement d'eau de Québec (UTE Québec) (crédit : Francis Audet, 2013)

PRINCIPALES SOURCES D'EAU POTABLE DE LA VILLE DE QUÉBEC (550 000 PERSONNES)

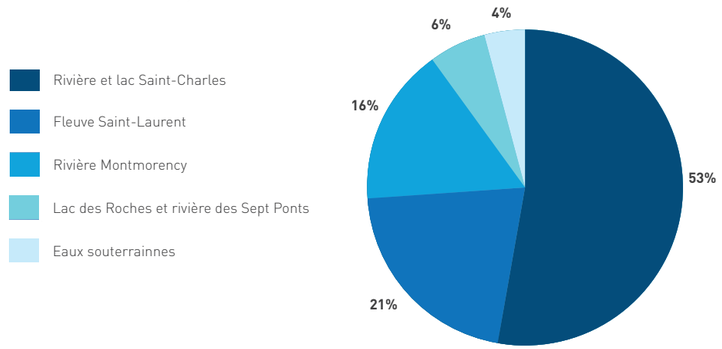
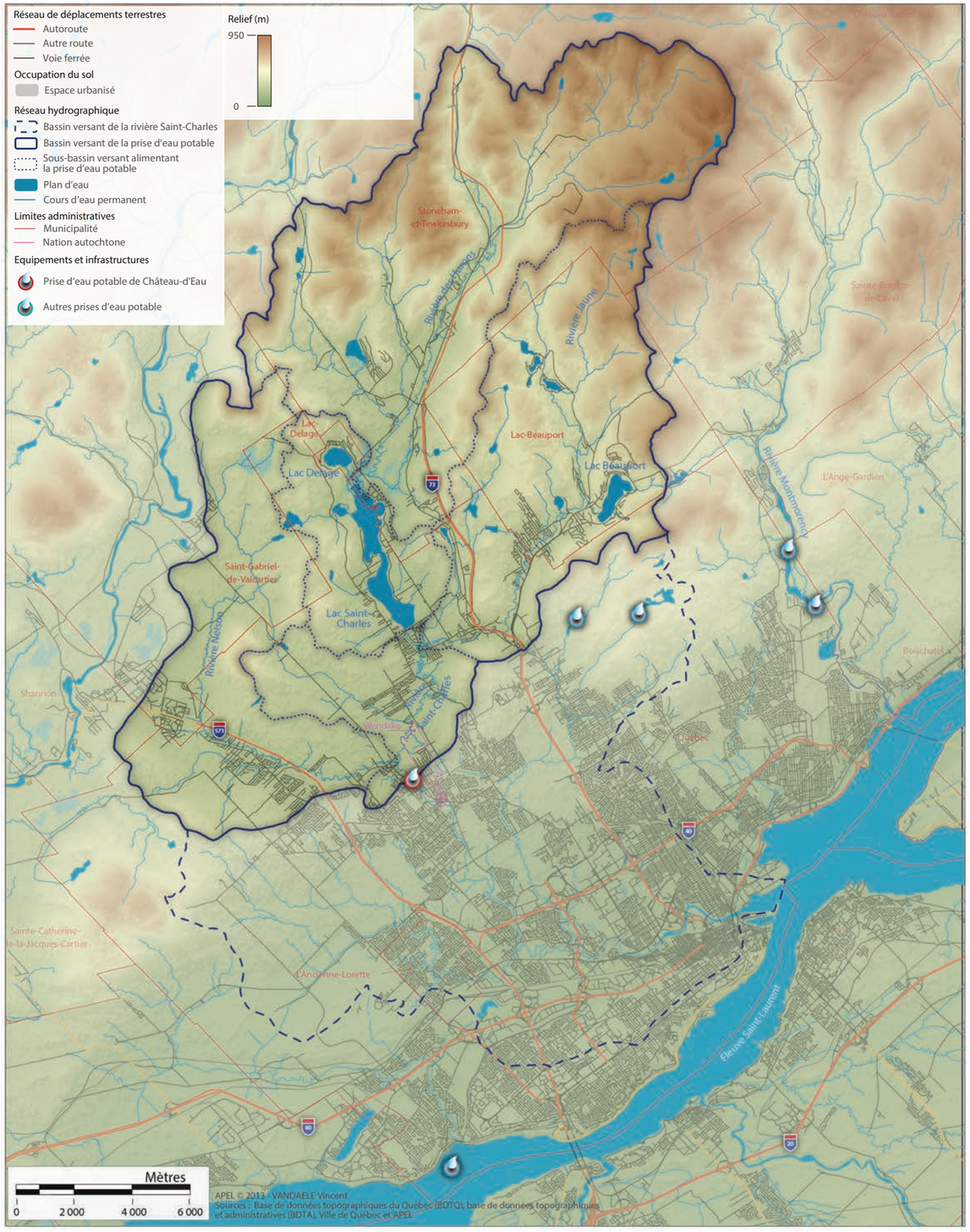


Figure 2 : Principales sources d'eau potable de la ville de Québec (source: Ville de Québec)

Les préoccupations concernant la qualité de l'eau brute prélevée dans la rivière Saint-Charles ne datent pas d'hier :

« ...les développements de l'exploitation forestière et des défrichements agricoles dans les environs de Québec ont eu, pendant quelques années, une influence délétère sur notre approvisionnement d'eau »

– Rapport du maire Drouin de 1912



L'EAU : SANTÉ ET RÉCRÉATION

L'EAU POTABLE

Le corps humain est constitué d'environ 60 % d'eau. Puisqu'un minimum de 1,2 L par jour est nécessaire au maintien de la vie, **il est essentiel que l'humain ait accès à cette quantité d'eau, tout en s'assurant qu'elle puisse être « consommée pendant toute une vie sans risque à la santé »** (OMS, 1997).

Or, l'ingestion n'est pas la seule voie d'exposition à l'eau; il en existe en fait trois (Comm. Patrick Levallois, 2010) :

- l'ingestion (breuvages, nourriture);
- l'inhalation (douches, salles de lavage, cuisine);
- l'absorption cutanée (douches, bains).

Il faut donc que la quantité et la qualité de l'eau destinée à la consommation domestique soit non seulement suffisante pour l'alimentation, mais aussi pour toutes les autres activités de la vie quotidienne.

Par conséquent, l'eau potable doit être exempte de microbes pathogènes (virus et bactéries) tels que les coliformes fécaux. De plus, certaines substances chimiques spécifiques ne doivent être présentes qu'en quantité limitée, à des concentrations maximales admissibles établies par règlementation. C'est notamment le cas des nitrates et des phosphates, des métaux lourds ou encore des hydrocarbures et des pesticides.

L'EAU RÉCRÉATIVE

La pratique d'activités aquatiques comme la baignade ou les sports de contact secondaire (p. ex. le canotage) peuvent représenter un risque pour la santé. Ces risques et leurs origines sont présentés au tableau 1.

Les normes de qualité pour les usages récréatifs de l'eau visent principalement à prévenir les dangers pour la santé des baigneurs et autres plaisanciers. Elles sont fixées par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et la Lutte contre les changements climatiques (MDELCC) et concernent principalement les micro-organismes pouvant causer des maladies (tableau 2).

Tableau 2 : Classification de la qualité de l'eau utilisée pour les usages récréatifs (MDDEFP, 2002)

Qualité de l'eau	Coliformes fécaux (UFC) par 100 ml	Usages récréatifs
Excellente	0 - 20	Tous les usages récréatifs sont permis
Bonne	21-100	
Médiocre	101-200	
Mauvaise	Plus de 200	Baignage et autres contacts directs avec l'eau compromis
Très mauvaise	Plus de 1000	Tous les usages récréatifs compromis

La qualité microbiologique s'exprime en concentration de coliformes fécaux, dont la présence dans l'eau est indicatrice de contamination par les matières fécales et par les microbes pathogènes associés.

En ce qui concerne les normes pour les cyanobactéries, il faut éviter la baignade dès que la concentration atteint 20 000 cellules/ml ou aussitôt qu'une éclosion est visible (MDDEFP, 2013).

Tableau 1 : Risques associés aux usages récréatifs de l'eau (sources: APEL, 2012, 2011a; Levallois, 2010; Wetzel, 2001)

Risques associés à :	Voie d'exposition			Effets	Origines
	Ingestion	Inhalation	Contact cutané		
La qualité microbiologique des eaux (indicateur : coliformes fécaux)	✓			• Gastro-entérites (dont les complications peuvent mener au décès) • Maladies respiratoires • Hépatites, myocardites, méningites, etc.	• Fèces animales • Installations septiques défectueuses, inadéquates, mal entretenues ou surchargées • Bris de conduites d'égout • Branchements croisés • Évènements de surverse
La présence de cyanobactéries (algues bleu-vert)	✓	✓	✓	• Réactions cutanées • Gastro-entérites • Effets sur le foie et le système nerveux • Effets cancérigènes	• Les cyanotoxines sont produites par certaines cyanobactéries. La prolifération de ces micro-organismes aquatiques est un phénomène naturel, mais accentué par l'activité humaine (notamment par l'enrichissement des lacs en éléments nutritifs tels que le phosphore et l'azote).
La contamination chimique	✓	✓	✓	• Cancers • Troubles de la reproduction, de l'oxygénation, neurologiques, immunitaires, etc.	• Présence de substances toxiques (métaux lourds, hydrocarbures) • Substances émergentes (résidus de médicaments, etc.)

IMPACTS DE L'URBANISATION SUR L'EAU

AUGMENTATION DU RUISSELLEMENT

La déforestation et la transformation de l'occupation du sol (figure 3) par l'homme, notamment via la construction d'infrastructures telles que bâtiments, routes, stationnements et autres surfaces imperméables, se traduisent par la perte des capacités naturelles des sols d'emmagasiner l'eau et transforment rapidement les précipitations en ruissellement de surface (CWP, 2000). En milieux urbains et périurbains, la fermeture des fossés et leur remplacement par des systèmes de conduites pluviales, qui ne permettent aucune infiltration dans les sols, ont également un impact indéniable sur les quantités d'eaux pluviales à gérer. Cette augmentation du ruissellement ainsi que la diminution de la capacité d'infiltration et de rétention modifient le régime hydrique des cours d'eau.

En effet, l'urbanisation cause la réduction des débits de base et augmente le débit de pointe, qui est atteint plus rapidement. Autrement dit, les crues sont plus fortes et plus rapides, tel qu'illustré à la figure 4.

DÉTÉRIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

Le ruissellement, généré par l'imperméabilisation, est un élément déclencheur des problèmes de qualité de l'eau puisqu'il contribue à amplifier les phénomènes d'érosion et de transport des nutriments et des contaminants. Ces phénomènes provoquent l'entraînement de matériaux solubles et insolubles par l'eau de ruissellement, ce qui se traduit par une hausse des concentrations en bactéries, en sédiments, en nutriments, en huiles et graisses, en métaux lourds et en polluants divers.

Puisque les eaux de ruissellement sont habituellement dirigées le plus vite possible vers les cours d'eau naturels, les précipitations affectent ultimement la qualité de l'eau brute à l'entrée des usines de traitement de l'eau potable. De fait, la majorité des maladies causées par l'eau potable au Canada sont associées au transport des contaminants lors d'évènements de pluie importante. Dans de telles situations, les polluants ayant un effet sur la santé se retrouvent en plus grande concentration dans une eau qui ne peut plus être traitée adéquatement (Schuster et al., 2005).

Les conséquences de l'urbanisation du bassin versant d'une prise d'eau sont résumées à la figure 5. Les paramètres qui servent d'indicateurs de la qualité de l'eau sont expliqués à la page suivante.

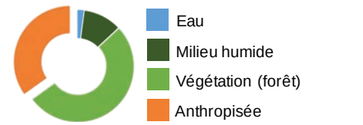


Figure 3 : Classes d'occupation du sol utilisées

Qu'est-ce que l'occupation du sol ?

L'occupation du sol peut être définie comme la cartographie de l'usage (et de non-usage) des terres par l'Homme. Elle permet notamment de mesurer le niveau de développement humain sur un territoire donné (Davis & Masten, 2004). Dans le présent document, l'occupation du sol a été décrite en 4 classes (ci-contre). La superficie anthropisée, incluant notamment les surfaces imperméables, influence la quantité et la qualité de l'eau de ruissellement.

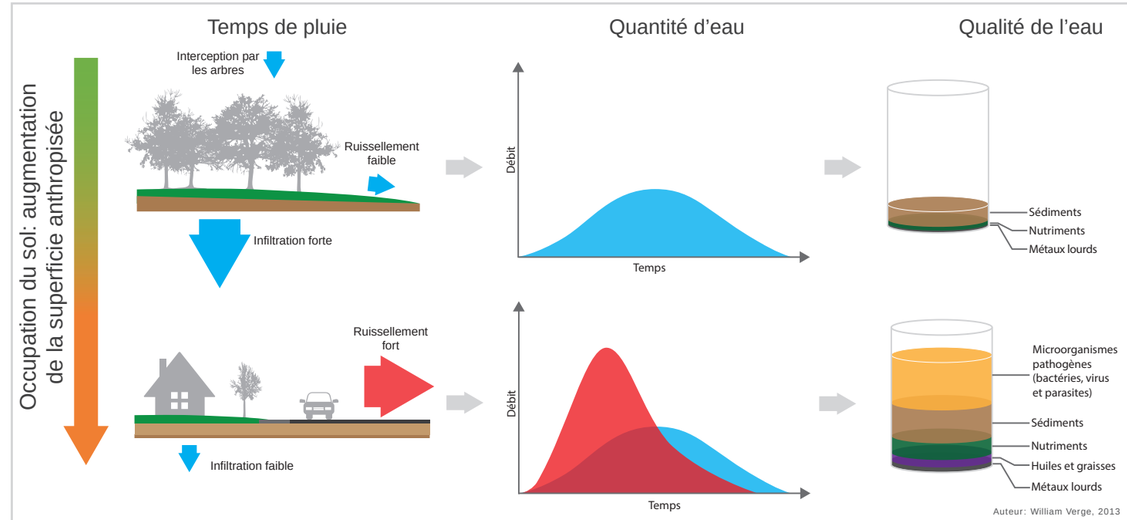


Figure 4 : Impacts de l'urbanisation sur l'eau (source : APEL)

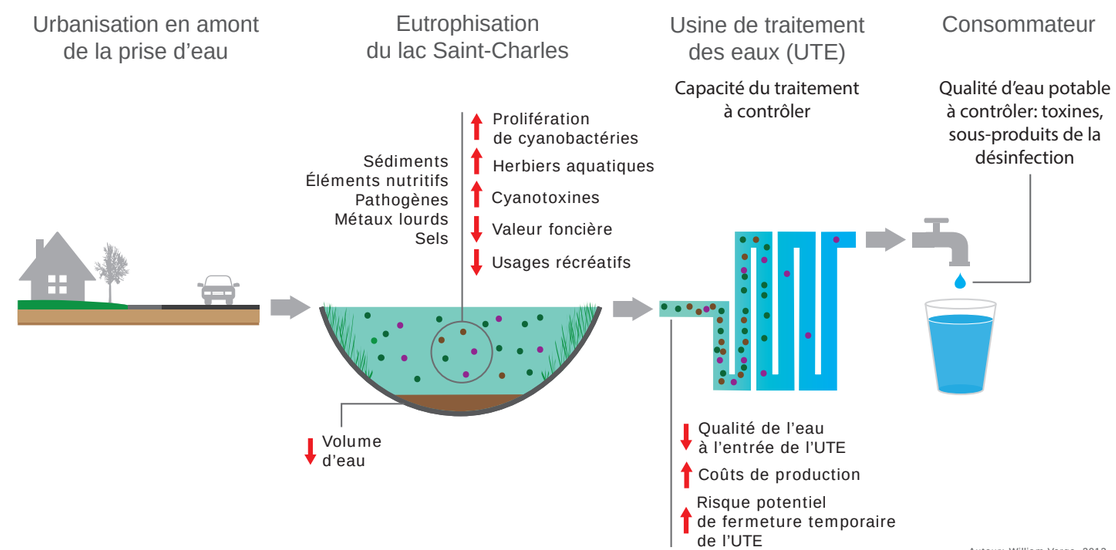


Figure 5: Menaces sur la qualité de l'eau dues à l'urbanisation en amont de la prise d'eau (source : APEL)

PRINCIPAUX PARAMÈTRES DE QUALITÉ DE L'EAU DES RIVIÈRES ET DES LACS

NOTIONS ESSENTIELLES

Les paramètres qui servent d'indicateurs de la qualité de l'eau sont principalement le phosphore, les composés azotés, la turbidité, les matières en suspension, le pH, les coliformes fécaux, l'oxygène dissous et la chlorophylle a. Ces indicateurs sont intégrés dans l'indice de qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau (IQBP) pour les rivières, qui est détaillé au tableau 3. Ces paramètres sont également décrits ci-contre.

Tableau 3 : Classes de qualité de l'eau de l'indice de qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP) (source: Hébert S., 1997)

Classes de qualité	Coliformes fécaux	Phosphore total	Matière en suspension	Oxygène dissous	pH	Chlorophylle α	Turbidité	Nitrites et nitrates	Azote ammoniacal
IQBP	(UFC/100 ml)	(ug/l)	(mg/l)	(%)		(µg/l)	(NTU)	(mg/l)	(mg/l)
Bonne	≤ 200	≤ 30	≤ 6	88-124	6,9-8,6	≤ 5,7	≤ 2,3	≤ 0,5	≤ 0,23
Satisfaisante	201-1000	31 - 50	7 - 13	80-87 ou 125-130	6,5 - 6,8 ou 8,7 - 9,0	5,71 - 8,6	2,4 - 5,2	0,51 - 1,0	0,24 - 0,5
Douteuse	1001-2000	51 - 100	14 - 24	70-79 ou 131-140	6,2-6,4 ou 9,1-9,3	8,61 - 11,1	5,3 à 9,6	1,01 - 2,0	0,51 - 0,9
Mauvaise	2001-3500	101 - 200	25 - 41	55 - 69 ou 141 - 150	5,8 - 6,1 ou 9,4 - 9,6	11,1 - 13,9	9,7 - 18,4	2,01 - 5,0	0,91 - 1,5
Très mauvaise	> 2500	> 200	> 41	< 55 ou > 150	< 5,8 ou > 9,6	> 13,9	> 18,4	> 5,0	> 1,5

En plus des critères de qualité de l'eau mentionnés plus haut, on utilise souvent la conductivité électrique comme paramètre intégrateur afin de déceler des variations et des perturbations dans la qualité de l'eau. Comme ce paramètre est lié à la quantité de substances dissoutes dans l'eau, il représente un bon indicateur de la contamination issue du lessivage dans le bassin versant (sels de voirie, abat-poussières, éléments nutritifs comme le phosphore et l'azote, p. ex.).

En outre, la présence d'hydrocarbures dans le réseau hydrographique témoigne invariablement d'une pollution d'origine humaine. Ces composés organiques peuvent notamment occasionner l'arrêt des activités des usines de traitement de l'eau potable. De même, la présence importante de métaux lourds, souvent associée aux activités humaines, affecte négativement la qualité de l'eau brute destinée à la production d'eau potable. La vie aquatique est également très affectée par les hydrocarbures et les métaux lourds.

Qu'est-ce que l'eutrophisation?

L'eutrophisation est la dégradation d'un milieu aquatique, lié en général à un apport exagéré de substances nutritives, qui augmentent la production d'algues et de plantes aquatiques.

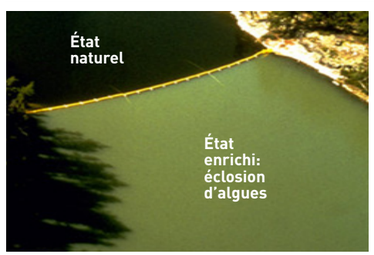


Figure 6 : Mise en évidence de l'effet d'enrichissement par le phosphore sur un lac (Schindler, 1977)

Figure 7 : Apport de matières en suspension à un cours d'eau par un chantier de construction (Crédit : APEL, 2013)

PHOSPHORE

DESCRIPTION Le phosphore est un élément chimique et un nutriment essentiel au développement des organismes vivants. Dans les milieux aquatiques, il est normalement présent en faible concentration, limitant ainsi la croissance végétale. Les apports excédentaires de phosphore dans un plan d'eau sont attribuables à l'érosion, à la pluviométrie et à l'activité humaine sur le territoire.

SOURCES **Naturelles** : Roches, excréments d'animaux, matières organiques en décomposition, etc.

Anthropiques : Fosses septiques, érosion, utilisation de détergents et d'engrais, etc.

IMPACTS Une teneur trop élevée peut favoriser l'eutrophisation des plans d'eau.

AZOTE

DESCRIPTION L'azote est un nutriment important très peu disponible naturellement, ce qui en fait un bon indicateur d'apports liés aux activités humaines. Comme cet élément peut prendre différentes formes chimiques en solution, il est souvent dosé sous forme de nitrites/nitrates (indicateur de fertilisation) et d'azote ammoniacal (indicateur de rejets d'origine humaine ou industrielle).

SOURCES **Naturelles** : Fixation de l'azote atmosphérique (par certains genres de cyanobactéries comme *Anabaena*, notamment), excréments d'animaux, matières organiques en décomposition, etc.

Anthropiques : Agriculture, terrains de golf, stations d'épuration des eaux usées, installations septiques, etc.

IMPACTS Une teneur trop élevée peut favoriser l'eutrophisation des plans d'eau. Sous forme de nitrite, l'azote peut être toxique pour les organismes vivants (Weiner, 2008).

COLIFORMES FÉCAUX

DESCRIPTION Bactéries associées à la contamination des eaux par des fèces humaines ou animales. Les coliformes fécaux sont des organismes indicateurs de la présence de pathogènes d'origine fécale.

SOURCES **Naturelles** : Animaux sauvages.

Anthropiques : Installations septiques, branchements d'égouts inversés, évènements de surverse, bris d'égouts, animaux domestiques et d'élevage, etc.

IMPACTS La contamination par des coliformes fécaux rend les eaux impropres à la baignade (> 200 UFC/100 ml) et aux sports de contact secondaire comme le canot ou le kayak (> 1000 UFC/100 ml). De plus, elle augmente le risque de retrouver des pathogènes dans l'eau destinée à la consommation humaine.

CHLOROPHYLLE *A*

DESCRIPTION Pigment végétal responsable de la photosynthèse. La chlorophylle a est un indicateur de la quantité de plancton végétal présente dans le milieu aquatique. Des valeurs élevées sont révélatrices d'un problème d'eutrophisation, car elles témoignent d'une activité photosynthétique importante.

SOURCES La chlorophylle a se retrouve dans tous les végétaux, aquatiques ou terrestres.

IMPACTS Une concentration élevée de chlorophylle a dans un plan d'eau témoigne d'une grande quantité de plancton végétal dont l'activité métabolique produit une accumulation importante de matière organique. Lors de la décomposition de cette matière organique, l'oxygène est consommé, provoquant une pollution par désoxygénation. Ce phénomène se produit particulièrement dans les eaux profondes d'un lac.

MATIÈRES EN SUSPENSION ET TURBIDITÉ

DESCRIPTION Les matières en suspension sont des particules fines, minérales ou organiques, insolubles et visibles à l'œil nu, qui contribuent à rendre l'eau trouble. La turbidité est la mesure de ce caractère trouble de l'eau (coloration ou opacité). Dans le cadre de suivis de la qualité de l'eau, on observe souvent une corrélation entre les mesures de turbidité et les concentrations en matières en suspension. En milieu naturel, la turbidité augmente normalement de l'amont vers l'aval du bassin versant.

SOURCES **Naturelle** : Érosion des rives.

Anthropique : Rejets urbains, industriels ou agricoles, phénomènes érosifs (liés notamment aux précipitations et aux travaux impliquant la mise à nu des sols), dénaturation de rives, etc.

IMPACTS Les matières en suspension transportent des éléments nutritifs, nuisent à l'habitat du poisson, réduisent la transparence de l'eau et augmentent les coûts de production de l'eau potable.

pH (POTENTIEL HYDROGÈNE)

DESCRIPTION Le potentiel hydrogène (ou pH) mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Le pH influence presque toutes les réactions chimiques et les activités biologiques en milieu aquatique.

SOURCES **Naturelle** : Le pH est influencé par la pluie (naturellement légèrement acide) et la géologie du sol. Par exemple, les eaux sur le Bouclier canadien sont souvent plus acides que celles dans les Appalaches, puisqu'il y a peu de dépôts calcaires sur le Bouclier canadien.

Anthropique : Les eaux de ruissellement urbain sont généralement plus basiques que les eaux naturelles. Les pluies sont plus acides en raison des émissions de polluants dans l'atmosphère.

IMPACTS Les eaux trop basiques peuvent favoriser la prolifération de cyanobactéries. Les eaux trop acides peuvent provoquer la mortalité des poissons et ralentir la croissance des plantes. Le pH a également une influence sur la disponibilité des métaux.

OXYGÈNE DISSOUS

DESCRIPTION L'oxygène dissous, indispensable à la vie aquatique, est un indicateur de la qualité des lacs. En effet, le taux d'oxygène dissous est intimement lié au processus d'eutrophisation, caractérisé par un épuisement en oxygène dû à une croissance excessive des plantes, des algues et des microorganismes. La mesure de l'oxygène dissous permet donc d'évaluer l'état d'oxygénation d'un plan d'eau, et de façon indirecte, son état de santé.

SOURCES **Naturelle** : Photosynthèse, interface eau-atmosphère (particulièrement dans les eaux fraîches et agitées).

Anthropique : L'apport d'éléments nutritifs augmente la production d'algues, donc la photosynthèse. Les apports anthropiques en eaux usées et de ruissellement augmentent la demande biologique et chimique en oxygène. Le résultat est une baisse importante en oxygène.

IMPACTS Un faible niveau d'oxygène (< 4 mg/l) peut entraîner une mortalité excessive de poissons. Également, de faibles concentrations en oxygène dissous entraînent la libération des nutriments et des métaux emprisonnés dans les sédiments. Ces contaminants deviennent donc disponibles pour les organismes aquatiques. Ils peuvent aussi se retrouver à l'entrée des usines de traitement de l'eau potable.

L'ÉTAT DU LAC SAINT-CHARLES

L'ÉTAT DU LAC SAINT-CHARLES

Le lac Saint-Charles est le principal réservoir d'eau potable de la Ville de Québec. Son bassin versant draine un territoire d'une superficie de 170 km², dont 16 % fortement anthropisés. De plus, la majeure partie des activités humaines des quelque 8 750 résidents est située dans un rayon de 500 m des plans d'eau.

VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

Le lac Saint-Charles est en voie d'eutrophisation, et ce, à une vitesse inquiétante. C'est-à-dire que le processus d'enrichissement naturel du lac en matières nutritives, notamment l'azote, se fait de façon accélérée à cause des activités humaines prenant place sur les rives et dans son bassin versant. Le suivi temporel de ses caractéristiques a démontré qu'il est passé de l'état mésotrophe en 2008 à l'état méso-eutrophe en 2012.

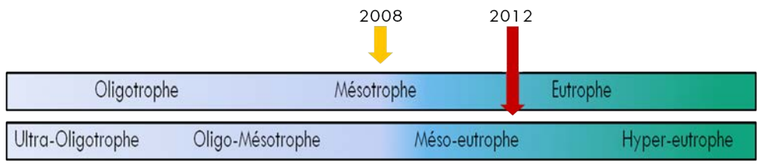


Figure 6 : Évolution de l'état trophique du lac Saint-Charles entre 2008 et 2012

Figure 9 : Éclosion de cyanobactérie au lac Saint-Charles en 2011 (crédit : William Verge)

On note également une absence d'oxygène (anoxie) prolongée dans les zones profondes du lac en été, tel qu'illustré à la figure 7. En fait, 11 % du volume du lac Saint-Charles était en anoxie (0 mg/l d'oxygène) durant l'été 2012. L'absence d'oxygène influence la disponibilité des métaux (voir page 3).

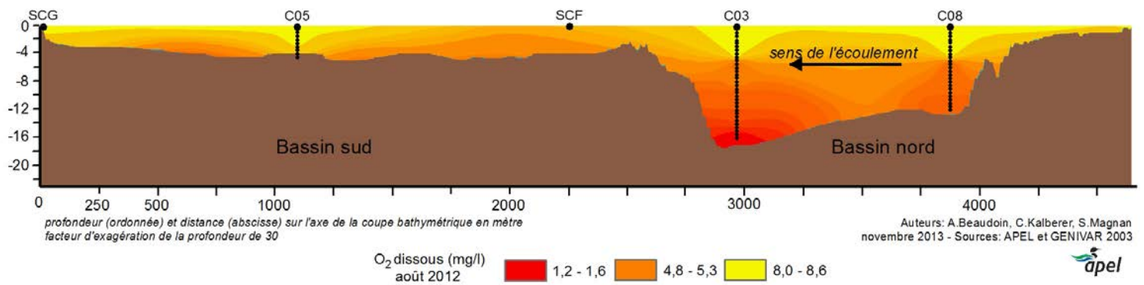


Figure 7 : Profil bathymétrique du lac Saint-Charles illustrant la déplétion importante de l'oxygène dissous dans la fosse profonde du bassin nord en août 2012 (source : APEL)

La figure 8 montre le réchauffement important des eaux de surface du lac Saint-Charles, attribuable, entre autres, à une durée écourtée du couvert de glace, à des températures externes élevées, mais aussi à l'insuffisance de bandes riveraines végétalisées (qui créent de l'ombrage). En effet, des ouvrages de stabilisation comme des murs de soutènement ou des enrochements remplacent souvent la végétation en rive, ce qui favorise aussi le réchauffement des eaux de surface. À cela s'ajoute aussi le ruissellement des eaux pluviales réchauffées par les surfaces imperméabilisées (toitures et asphalte, p. ex.) et par l'absence d'ombrage par couvert végétal.

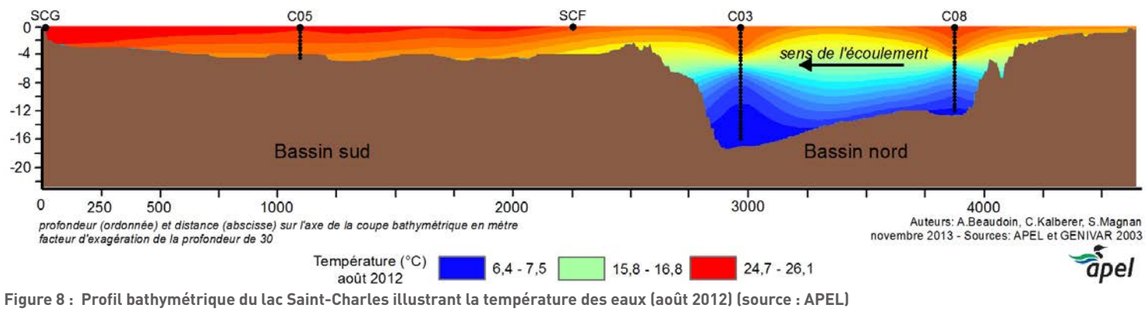


Figure 8 : Profil bathymétrique du lac Saint-Charles illustrant la température des eaux (août 2012) (source : APEL)

ÉCLOSIONS DE CYANOBACTÉRIES

Depuis 2006, jusqu'à 17 éclosions de cyanobactéries sont observées chaque année au lac Saint-Charles. Souvent toxiques, elles sont un signe important de la dégradation de la qualité de l'eau et représentent un risque pour la santé publique. En effet, les cyanobactéries peuvent produire des toxines qui ont des effets importants sur la santé des usagers d'un lac. La figure 9 montre l'une de ces éclosions en 2011.

43% DES BANDES RIVERAINES INADÉQUATES

La caractérisation des bandes riveraines du lac Saint-Charles réalisée en 2012 a montré que 43 % des bandes riveraines ne remplissent pas une fonction écologique adéquate (filtration, habitat et ombrage, notamment). La figure 10 présente la qualité des bandes riveraines, catégorisées selon l'indice de qualité de la bande riveraine (IQBR). On peut aisément constater que la rive *est* est dans un état moyen à faible. Plus exposée au soleil, elle contribue davantage au réchauffement de l'eau.

PROLIFÉRATION DES PLANTES AQUATIQUES

La prolifération de plantes aquatiques au lac Saint-Charles depuis 2007 est un signe certain d'une eutrophisation accélérée. L'étendue de ces plantes laisse aussi craindre, pour le futur, une auto-eutrophisation du lac Saint-Charles en raison de la quantité de matières végétales en décomposition. La figure 11 présente l'évolution des herbiers entre 2007 et 2012. On note également une prolifération fulgurante de deux plantes aquatiques envahissantes, le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*) et l'élodée du Canada (*Elodea canadensis*).

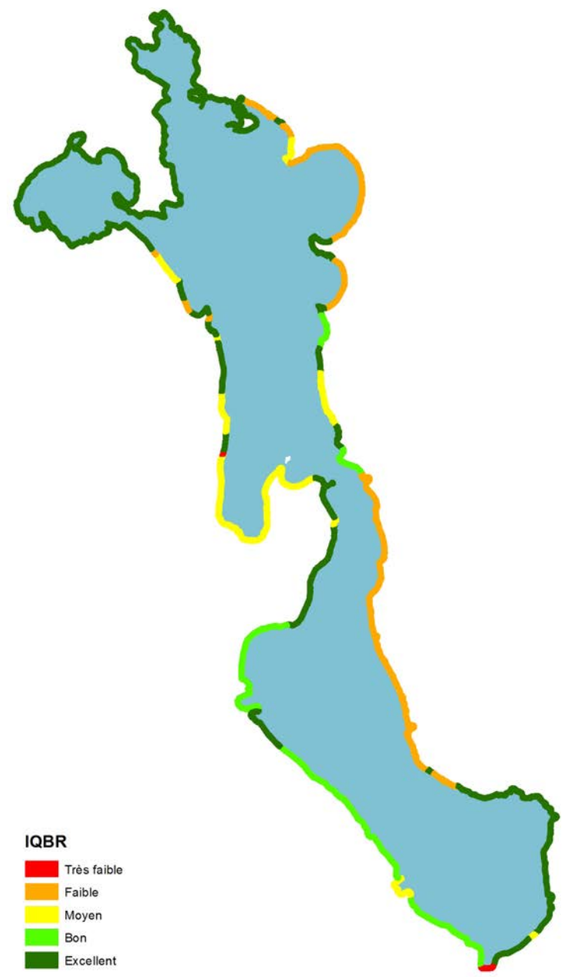


Figure 10 : Qualité des bandes riveraines au lac Saint-Charles (selon l'IQBR) en 2012 (source : APEL)

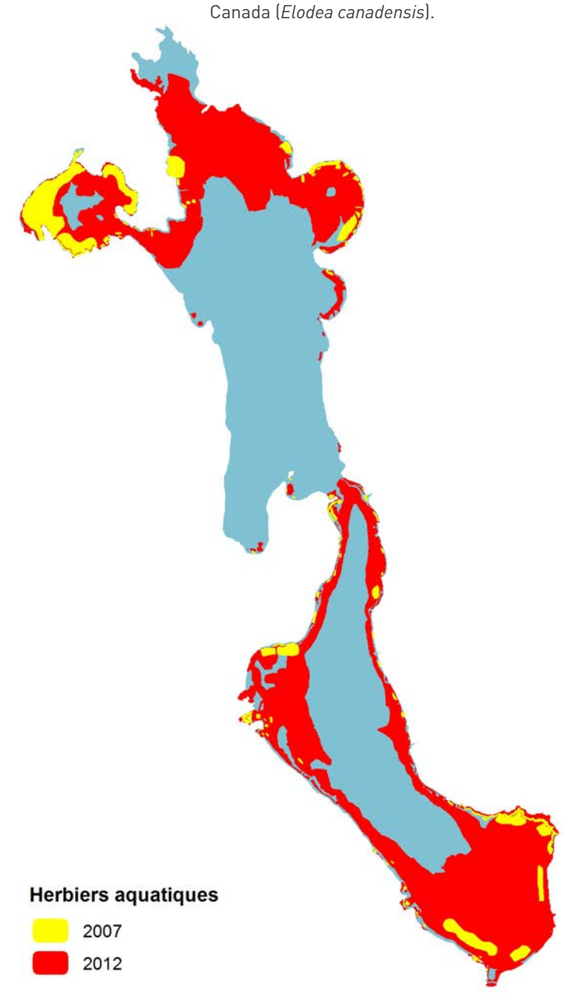


Figure 11 : Carte de distribution géographique des herbiers aquatiques au lac Saint-Charles en 2007 et en 2012 (source : APEL)

L'ÉTAT DES PETITS AFFLUENTS DU LAC SAINT-CHARLES

37 PETITS AFFLUENTS ET UNE STATION D'ÉPURATION

Le lac Saint-Charles est alimenté par la rivière des Hurons à 81,6 %, par le lac Delage à 3,7 % et par 37 petits affluents (à 11 %). Le reste de l'alimentation en eau du lac provient de l'écoulement diffus issu de petites portions de territoire entourant le lac qui ne sont pas drainées par un cours d'eau. Enfin, il est à noter que la station d'épuration des eaux usées de la Ville de Lac-Delage rejette ses effluents dans le lac Saint-Charles juste en aval du lac Delage.

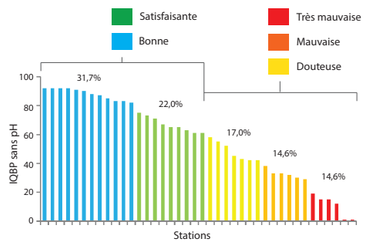


Figure 12 : Pourcentage des affluents selon l'indice de qualité bactériologique et physico-chimique (sans pH) à leur exutoire (stations) (source : APEL)

EFFETS DE PROXIMITÉ

Bien que la quantité d'eau apportée par les petits affluents puisse paraître négligeable, leur impact sur la qualité de l'eau du lac reste appréciable, d'autant plus que ces tributaires montrent des signes variés et inquiétants de dégradation. En fait, près de 50 % des petits affluents présentent une qualité d'eau douteuse à très mauvaise (figure 12), en raison de contaminations diverses provenant notamment :

- des installations septiques;
- de la station d'épuration des eaux usées;
- de fèces d'origine animale (animaux domestiques, entre autres);
- de déversements (huiles, peinture et autres résidus domestiques dangereux);
- d'engrais et de pesticides;
- de l'érosion;
- de l'épandage d'abat-poussières;
- et de l'épandage de sels de voirie.

À cela s'ajoute le pourcentage élevé de superficies anthropisées autour du lac, qui ont pour effet de :

- diminuer l'infiltration;
- diminuer la filtration naturelle;
- affecter le pH;
- augmenter la température de l'eau.

Ainsi, la proximité des zones urbanisées a une réelle influence sur le plan d'eau, sur l'équilibre de son écosystème, et ultimement, sur l'accélération du phénomène d'eutrophisation.

Par exemple, les eaux de ruissellement des zones urbanisées, qui se retrouvent éventuellement dans les petits affluents, contiennent des éléments chimiques (ex: azote) (Monchamp et al, 2014) qui peuvent provoquer la production de toxines chez les cyanobactéries. De plus, le pH des eaux de ruissellement urbain est généralement basique, ce qui a un effet direct sur le pH des eaux du lac. À titre de rappel, les cyanobactéries préfèrent les eaux basiques.

Il faut également savoir que les eaux de ruissellement sont plus chaudes, ce qui contribue au réchauffement du lac déjà accentué par la dégradation et l'empierrement des rives. Les eaux plus chaudes favorisent la désoxygénation des eaux profondes. L'absence d'oxygène crée des réactions chimiques qui ont pour effet de rendre disponibles les éléments nutritifs et les métaux lourds qui sont emmagasinés dans les sédiments. La libération des éléments nutritifs aide la croissance des cyanobactéries.

La figure 13 montre la relation entre les paramètres de qualité de l'eau mesurés et la superficie anthropisée des bassins versants des petits affluents, dans le but de mettre en évidence l'impact des activités humaines sur l'environnement.

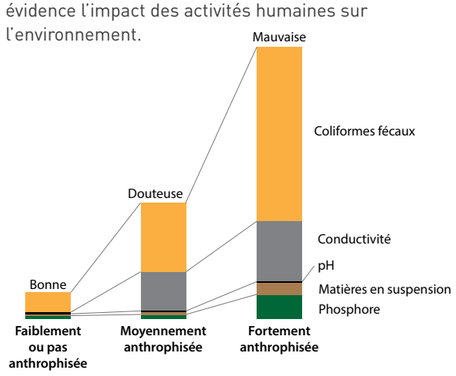
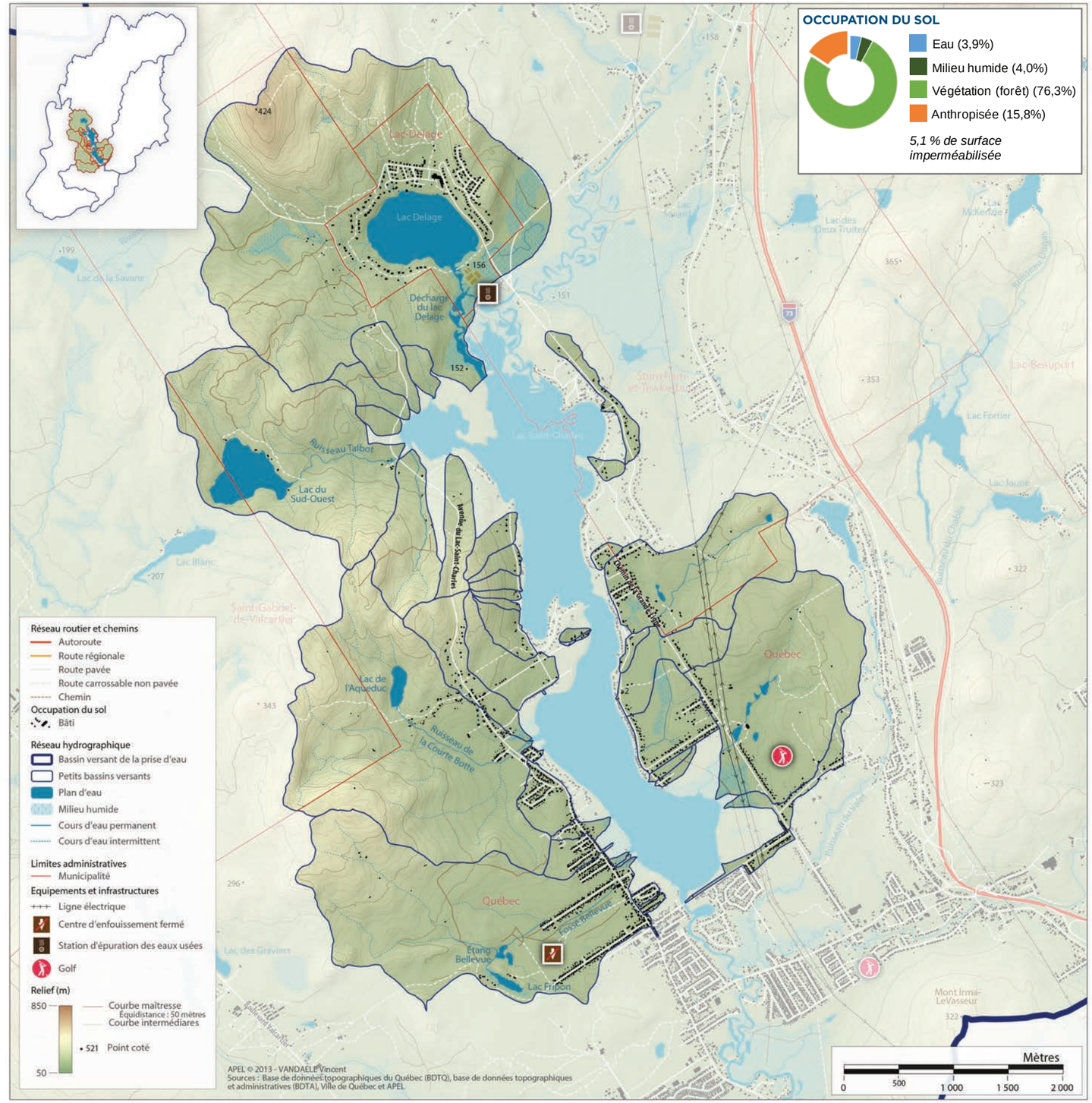


Figure 13 : Visualisation des concentrations de polluants en fonction de la superficie anthropisée du bassin versant, basée sur les données réelles de 2012 (source : APEL)



LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE DES HURONS, PRINCIPAL AFFLUENT DU LAC SAINT-CHARLES

Figure 14 : Le développement résidentiel exerce de fortes pressions sur les cours d'eau (crédit : APEL)

La rivière des Hurons est l'affluent principal du lac Saint-Charles. En effet, son bassin versant, d'une superficie de 138,2 km², fournit 81,6 % des eaux du lac. Les principaux plans d'eau du bassin sont les lacs Durand, Trois Petits Lacs, Demers, Turgeon, à la Loutre et Dubrin. Les principaux tributaires de la rivière des Hurons sont les rivières Noire, Hibou, Turgeon, Trois Petits Lacs et les ruisseaux Plamondon et Leclerc.

CHARGE IMPORTANTE EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

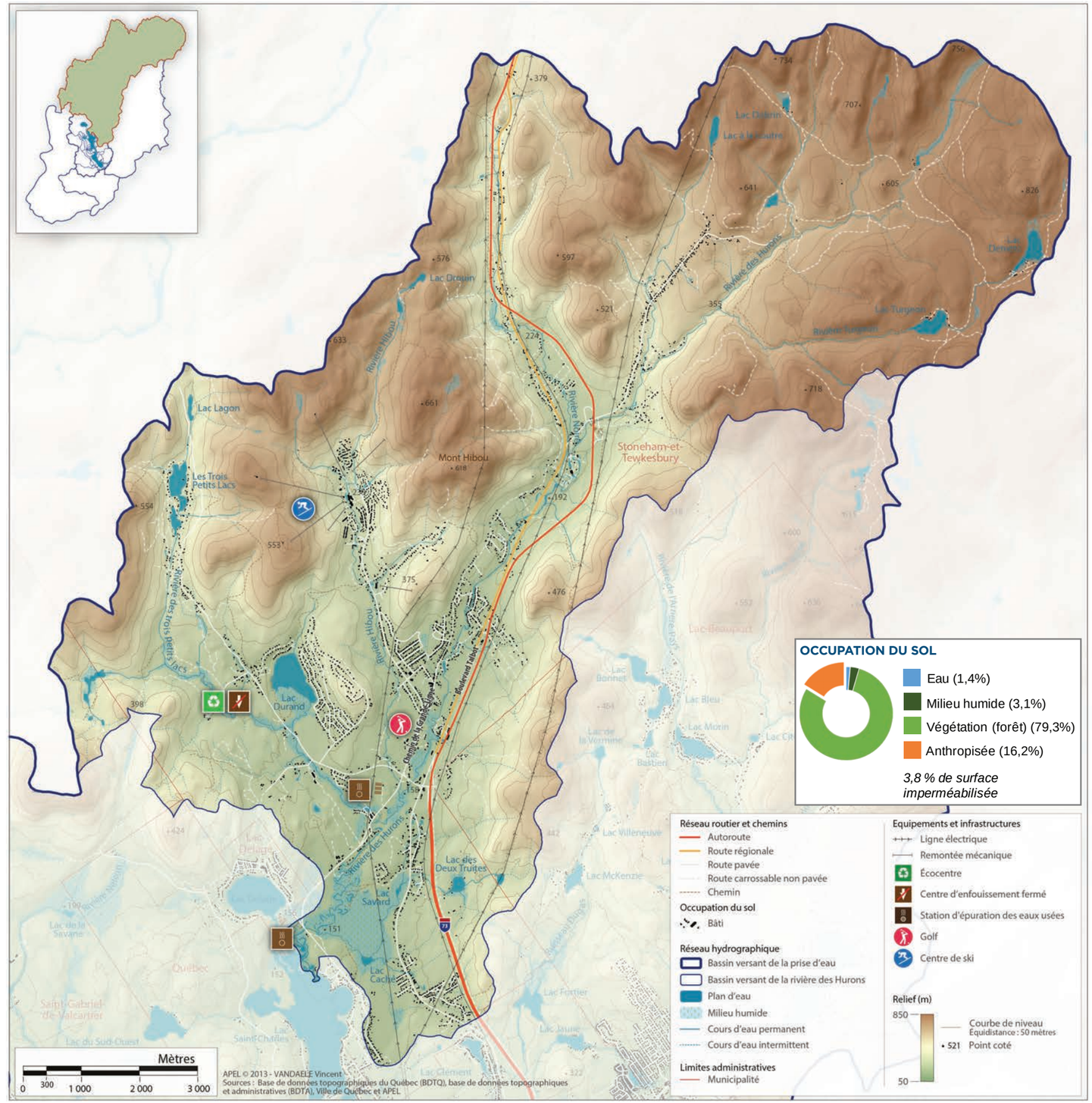
Bien que la qualité de la rivière des Hurons soit globalement satisfaisante en termes de concentration de polluants, ses eaux apportent néanmoins au lac Saint-Charles une charge annuelle importante en éléments nutritifs. Un calcul basé sur les données réelles de concentration (2012) permet d'estimer la charge d'azote et de phosphore à 140 et 2,9 tonnes, respectivement.

DÉVELOPPEMENTS DOMICILIAIRES ET TRAVAUX ROUTIERS

De manière générale, les activités humaines qui impactent le plus le bassin versant de la rivière des Hurons sont le développement domiciliaire et les travaux routiers. La qualité de l'eau est affectée par l'érosion provenant de ces chantiers et éventuellement par les sels de voirie et les hydrocarbures (en provenance de l'autoroute 73 et du boulevard Talbot, notamment). À cela s'ajoutent l'érosion causée par un centre de ski, ainsi que les apports de nutriments (phosphore et azote) en provenance des installations septiques, d'un terrain de golf et de la station d'épuration des eaux usées de Stoneham-et-Tewkesbury.

Les lacs Durand et Trois Petits Lacs subissent également une pression importante due au développement domiciliaire. La rivière Noire, quant à elle, déplacée sur une longueur de 1 km lors de la construction de l'autoroute 73 en 2011, risque de recevoir une importante charge en sels de voirie suite à la mise en service de l'autoroute. En effet, environ 40 tonnes de sels sont épandues par kilomètre d'autoroute. Les sels de voirie ne se dégradent pas et se retrouvent éventuellement dans les eaux souterraines et de surface (APEL, 2011b).

Figure 16 : L'autoroute 73, un axe routier majeur, traverse le bassin versant de la rivière des Hurons (crédit : William Verge)



LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE NELSON, AFFLUENT DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES

Le bassin versant de la rivière Nelson couvre une superficie de 68,3 km². De l'amont vers l'aval, le territoire est occupé par la municipalité de Saint-Gabriel-de-Valcartier, la base militaire des Forces canadiennes de Valcartier et le secteur Val-Bélair de la Ville de Québec. Le bassin versant de la rivière Nelson représente 20 % de la superficie totale du bassin versant de la prise d'eau.

Le territoire comprend quelques petits lacs, dont le lac de la Savane et le lac Riley. Le principal affluent de la rivière Nelson est le ruisseau Savard.

Figure 17 : Neige contaminée entreposée en rive (crédit : Sonja Behmel)

URBANISATION CROISSANTE À VAL-BÉLAIR

Le secteur Val-Bélair subit une forte intensification des activités humaines et une densification résidentielle importante qui impactent forcément la qualité des cours d'eau. Les terrains riverains sont de plus en plus développés, souvent sans souci de préserver la qualité des bandes riveraines. L'impact est mesurable pendant les travaux de construction : les apports importants de sédiments font alors significativement augmenter la turbidité des cours d'eau. Également, on trouve sur le territoire de la neige usée (sables et sels de voirie) entreposée en rive ou directement poussée dans les cours d'eau.

Figure 18 : Entreposage de matériaux érodables sur un chantier de construction en bordure de cours d'eau (crédit : Sonja Behmel)

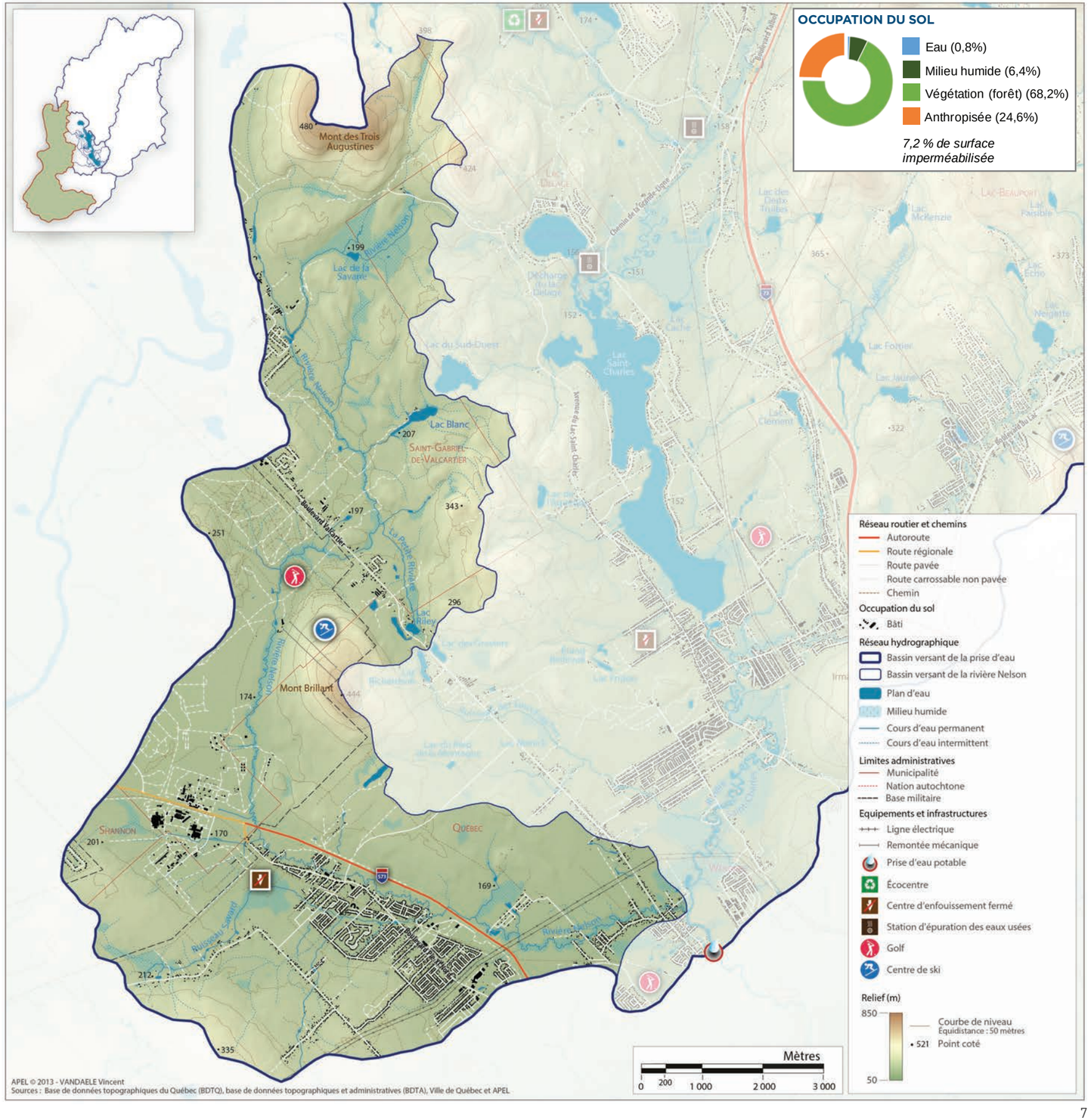
SOURCES DE CONTAMINATION DIVERSES

Les sources de contamination dans le secteur de la municipalité de Saint-Gabriel-de-Valcartier sont notamment une carrière/sablière en amont du lac Riley, des installations septiques, des élevages de chiens, ainsi que certaines infrastructures présentes sur la base militaire (un terrain de golf et un centre de ski désaffecté, p. ex.).

En amont du ruisseau Savard, principal affluent de la rivière Nelson, on note la présence de fermettes, d'étangs à canards et de nombreuses installations septiques. Une enquête approfondie réalisée en 2011 a également révélé la présence de branchements croisés dans le réseau d'égouts pluviaux.

Globalement, toutes ces sources de contamination ont des effets négatifs sur la qualité de l'eau.

Figure 19 : Indices de la présence de branchements croisés (crédit : APEL)



LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE JAUNE, AFFLUENT DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES

Le bassin versant de la rivière Jaune couvre 84,1 km². Sa partie amont chevauche les municipalités de Lac-Beauport, des cantons unis de Stoneham-et-Tewkesbury et de Sainte-Brigitte-de-Laval. La partie sud du bassin versant est située sur le territoire de la Ville de Québec. Le bassin versant de la rivière Jaune représente 24 % de la superficie totale du bassin versant de la prise d'eau.

Plusieurs lacs se trouvent dans ce bassin versant, dont les lacs Beauport, Clément, Morin, Fortier et Bleu. Le principal affluent de la rivière Jaune est le ruisseau du Valet.

PRESSION DU DÉVELOPPEMENT DOMICILIAIRE

Les sources de contamination dans le haut-bassin de la rivière Jaune ne sont pas bien connues en raison de l'absence d'études scientifiques.

Par contre, le secteur environnant le lac Beauport subit une forte pression liée au développement domiciliaire, tant au niveau de l'augmentation des surfaces urbanisées que de l'augmentation du nombre de fosses septiques. Le développement dans les pentes fortes rend également le ruissellement plus difficile à gérer. Par exemple, lors de fortes pluies en 2013, des glissements de terrain ont été recensés (figure 21).

Plus au sud, en aval de l'autoroute 73, la rivière Jaune est contaminée par des coliformes fécaux en raison de branchements croisés et d'évènement de surverse, notamment.

Figure 21 : Glissement de terrain autour d'une installation septique résidentielle, dans le secteur de Lac-Beauport en 2013 lors d'une pluie importante (crédit : Erick Labbé)

SELS DE VOIRIE

Le lac Clément, qui alimente le ruisseau du Valet, est fortement contaminé par les sels de voirie en provenance de l'autoroute 73, du boulevard Talbot et de l'avenue de la Rivière-Jaune. (figure 22) La quantité de sels dans les cours d'eau du haut-bassin versant est en constante progression. La figure 23 montre d'ailleurs l'évolution de la concentration de sels à l'entrée de l'UTE Québec entre 1977 et 2012.

Figure 22 : Autoroute 73, boulevard Talbot et avenue de la Rivière-Jaune, en bordure du lac Clément (crédit : William Verge)

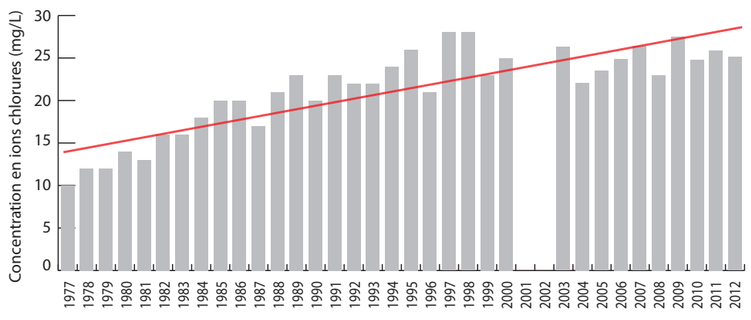
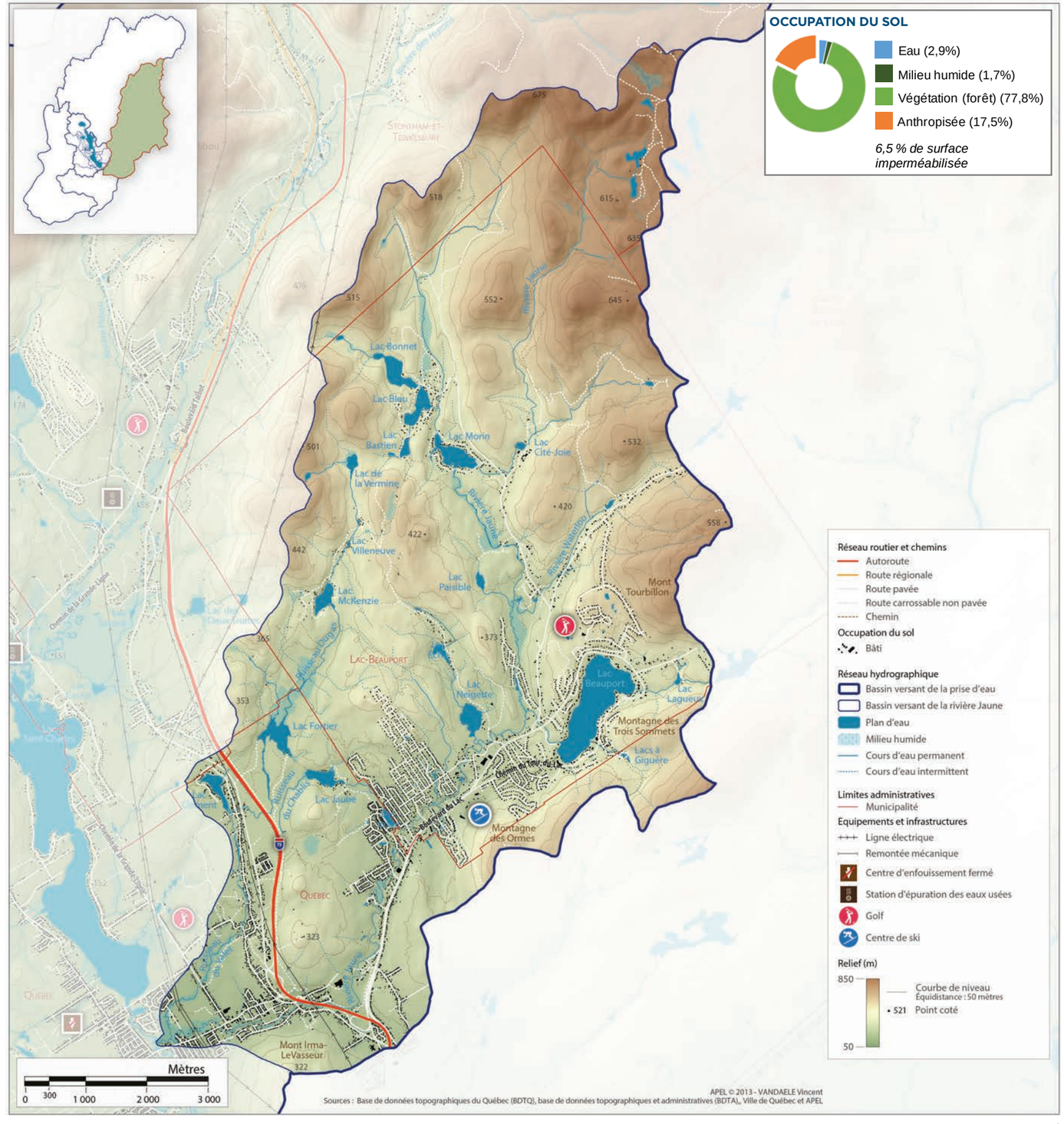


Figure 23 : Évolution de la concentration en chlorures (mg/L) à l'entrée de l'UTE Québec entre 1977 et 2012 (source : Ville de Québec)



LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES : L'AMONT IMMÉDIAT DE LA PRISE D'EAU

UN SEGMENT TRÈS INFLUENT

Le bassin versant de la rivière Saint-Charles, en amont immédiat de la prise d'eau de l'UTE Québec, couvre une superficie de 50,5 km². Ce territoire peut être subdivisé en deux sous-bassins : celui du ruisseau des Eaux Fraîches et celui de la rivière Saint-Charles.

Sur la rivière Saint-Charles, 11 km séparent le barrage Cyrille-Delage et la prise d'eau. Malgré que la longueur de ce segment soit relativement courte, les apports des tributaires et de plusieurs sources de contamination (p.ex. : rue Roussin, figure 24) influencent beaucoup la qualité de l'eau à son arrivée à la prise d'eau.

PRESSION ANTHROPIQUE

Bien qu'il se retrouve majoritairement en zone périurbaine, le bassin versant du ruisseau des Eaux Fraîches subit des pressions anthropiques très variées. On y trouve notamment des sablières de petite et de grande envergure, des fermes et fermettes, des bâtiments sur installations septiques et des développements résidentiels en aval du ruisseau. Le boulevard Valcartier (route 371) traverse ce territoire.

Figure 23 : Érosion des fossés du boulevard Valcartier (route 371) (crédit : APEL)

La portion restante du bassin versant de la rivière Saint-Charles est fortement urbanisée. Les sources de contamination y sont diverses : commerces, agriculture, cimetières de voitures, carrières et sablières, développement résidentiel, terrain de golf, etc.

Figure 24 : Cimetière de voitures et activités commerciales et industrielles en bordure de la rivière Saint-Charles en amont de la prise d'eau (crédit : Francis Audet)

UN EXEMPLE POSITIF

Le suivi de la qualité de l'eau des cours d'eau permet d'émettre des recommandations menant à des actions concrètes qui contribuent à la diminution des sources de contamination des cours d'eau. Par exemple, la qualité de l'eau de la rivière Saint-Charles en amont de Château-d'Eau s'est considérablement améliorée depuis 2008. Ce sont les diverses interventions, comme la réparation de branchements croisés, qui ont permis de diminuer, entre autres, la concentration en coliformes fécaux. La figure 25 montre l'évolution de ce paramètre entre 2008 et 2012.

La page suivante montre d'autres exemples qui contribuent à l'amélioration de la qualité de l'eau du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles.

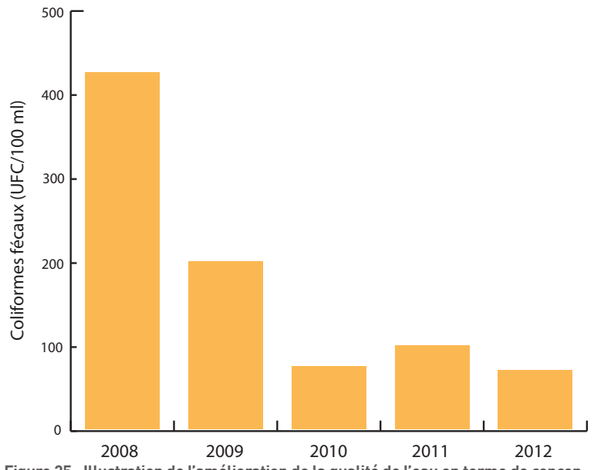
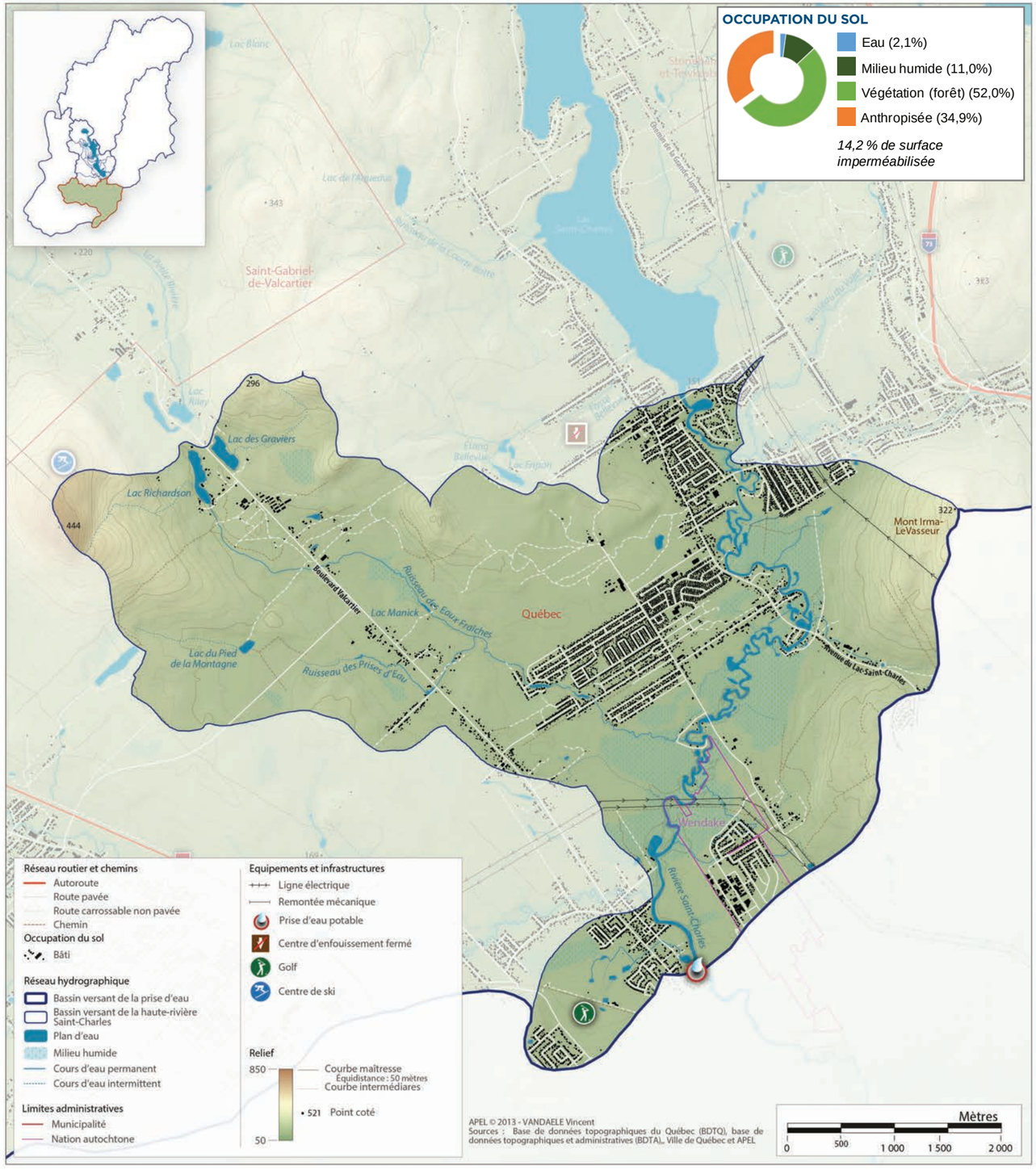


Figure 25 : Illustration de l'amélioration de la qualité de l'eau en terme de concentration de coliformes fécaux sur la rivière Saint-Charles, en amont de Château-d'Eau, basée sur l'écart interquartile des données réelles (source: APEL).



EXEMPLES DE PROJETS INNOVATEURS EN AMONT D'UNE PRISE D'EAU

DES PROJETS CONCRETS

La particularité du bassin versant de la prise d'eau potable de Château-d'Eau est que l'urbanisation de son bassin versant est bien entamée et continue. Dans cette optique, il est primordial que toutes les actions posées dans le cadre des projets de développement et d'infrastructure soient réalisées en connaissance de cause. Il est important que tous les travaux de réfection et de développement incluent des objectifs de protection ou d'amélioration de la qualité de l'eau. Deux principes devraient s'appliquer: **Rétablir** ou **Prévenir**.

- **Rétablir** : Les projets d'entretien (p. ex. : réfection de rues, de stationnements, d'égouts) devraient à l'avenir favoriser l'infiltration et la filtration de l'eau afin de diminuer le volume de ruissellement et d'en améliorer la qualité.
- **Prévenir** : Les nouveaux projets (p. ex : développement résidentiel, prolongement de rues, densification) devraient être réalisés de sorte que l'impact sur la qualité et la quantité de l'eau soit minimisé en tenant compte de l'avancée des connaissances et des techniques en gestion de l'eau.

Les mécanismes de contrôle associés à ces objectifs sont montrés au tableau 4.

Également, tous les travaux devraient être effectués en appliquant rigoureusement les techniques de contrôle de l'érosion afin de prévenir l'altération temporaire de la qualité de l'eau.

Plusieurs exemples démontrent l'avancée des connaissances et des techniques par rapport à ces deux principes. Voici quelques exemples de projets qui atténuent l'altération ou qui contribuent à l'amélioration de la qualité de l'eau de ruissellement. Rappelons tout de même que toute urbanisation aura un impact sur la qualité et la quantité de l'eau, peu importe les techniques utilisées.

Tableau 4 : Mécanismes de contrôles du ruissellement en fonction de l'objectif visé (sources : APEL, adapté de MDDEFP, 2012)

		MÉCANISMES DE CONTRÔLE		
		À la source (terrains privés et publics)	**Dans le réseau de drainage**	**Aux émissaires**
Impacts de l'urbanisation sur la qualité de l'eau	**Prévenir**	• Limiter les surfaces imperméables • Utiliser des matériaux perméables • Maintenir la végétation existante • Contrôler l'érosion	• Minimiser les superficies de surfaces imperméables • Prévoir le traitement des eaux de ruissellement à même le réseau de drainage (p. ex. :fossés engazonnés/aménagés, fossés avec systèmes d'infiltration, aires de biorétention, etc.)	• Prévoir des composantes de prétraitement (p. ex. : séparateurs à vortex) • Aménager des bassins de rétention • Aménager des aires de biorétention
	Rétablir	• Reboiser et revégétaliser • Capter et infiltrer les eaux de toitures et des stationnements (infiltration sur pelouse, aire de biorétention, jardin de pluie, etc.) • Collecter et réutiliser l'eau de pluie (baril, réservoir, etc.) • Réduire les problèmes d'érosion	• Installer des séparateurs de captation dans les puisards • Optimiser les fossés existants et l'emprise des rues • Aménager des composantes de traitements, lorsque possible • Réduire la largeur des rues lorsque possible	• Installer des composantes de prétraitement (p. ex. : séparateurs à vortex, séparateurs d'huile et de sédiments), en fonction de la qualité de l'eau à l'émissaire

RÉDUIRE L'IMPACT DES STATIONNEMENTS

STATIONNEMENT DU CENTRE ÉCOLOGIQUE LÉOPOLD-E. BEAULIEU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES

Les stationnements imperméabilisent de grandes superficies. Atténuer leur impact sur le milieu hydrique est possible. Par exemple, le stationnement extérieur du Centre écologique Léopold-E.-Beaulieu est doté d'un réservoir sous-terrain où le ruissellement est entreposé avant son infiltration dans le sol.

Figure 26 : Construction du stationnement réservoir (crédit : BPR)

OPTIMISER LES FOSSÉS

EMPRISE DU CHEMIN DE LA GRANDE LIGNE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES

Dans le but de diminuer la vitesse de l'eau de ruissellement dans une section pentue du chemin de la Grande-Ligne, des seuils en pierres ont été construits à même le fossé. L'amélioration de la gestion des eaux pluviales en milieu déjà urbanisé passe d'abord par l'optimisation de l'espace disponible (p. ex : l'emprise des rues).

Figure 27 : Seuils dans un fossés pentu (crédit : APEL)

CAPTER ET INFILTRER L'EAU DES TOITURES

JARDIN PLUVIAL DU COMPLEXE MUNICIPAL DE STONEHAM-ET-TEWKESBURY BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE DES HURONS.

Les eaux de pluie provenant du toit du complexe municipal de Stoneham-et-Tewkesbury sont acheminées dans un jardin pluvial. En fait, il s'agit d'une aire de biorétention qui permet de stocker et d'infiltrer l'eau dans le sol.

Figure 28 : Jardin pluvial (crédit : William Verge)

TRAITER L'EAU DE RUISSELLEMENT

AVENUE DE LA RIVIÈRE-JAUNE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE JAUNE

En milieu déjà urbanisé, des mesures correctives peuvent être mises en place dans le cadre de démarches de modernisation de la gestion des eaux pluviales. Des systèmes structuraux de traitement des eaux de ruissellement permettent d'en améliorer la qualité avant leur rejet au milieu récepteur. Par exemple, dans ce cas-ci, un séparateur d'huile, de graisse et de sédiments, permet d'atteindre ces objectifs.

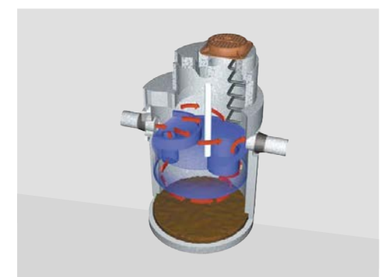


Figure 29 : Image conceptuelle d'un séparateur d'huile, de graisse et de sédiments (source : Osco Construction Group)

RÉDUIRE LES PROBLÈMES D'ÉROSION

LOCALISATION : RUE JOSÉE, VILLE DE QUÉBEC BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE JAUNE

En milieu périurbain, beaucoup de problèmes d'érosion sont répertoriés dans les fossés, spécialement aux abords des ponceaux qui traversent les entrées de cour. L'installation de buses stabilise les fossés et prévient l'érosion.

Figure 30 : Les buses préviennent l'érosion (crédit : William Verge)

RÉFÉRENCES UTILES

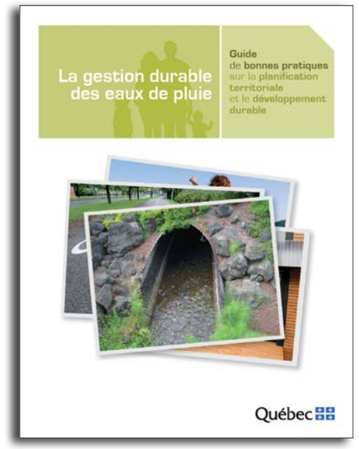
Le haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles est un territoire sensible à l'activité humaine. Les conséquences de l'urbanisation sont connues et documentées. Il est de la responsabilité de tous les acteurs du milieu de s'impliquer dans l'amélioration des pratiques et dans l'atténuation des impacts environnementaux des secteurs déjà urbanisés.

PLUSIEURS OUTILS SONT DISPONIBLES À CET EFFET. VOICI UNE SÉLECTION SOMMAIRE DES MEILLEURES RÉFÉRENCES.

GUIDE DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2012)

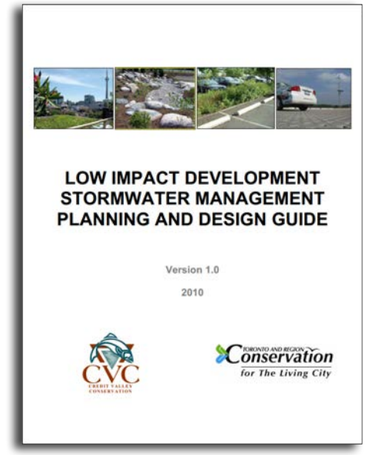
Stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain.



LA GESTION DURABLE DES EAUX DE PLUIE

MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES, DES RÉGIONS ET DE L'OCCUPATION DU TERRITOIRE (2010)

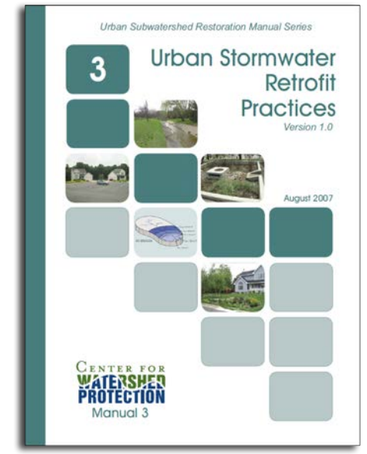
Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et de développement durable.



LOW IMPACT DEVELOPMENT STORMWATER MANAGEMENT PLANNING AND DESIGN GUIDE

TORONTO AND REGION, CREDIT VALLEY CONSERVATION (2010)

Outil créé pour les concepteurs, les consultants, les municipalités et les propriétaires pour aider la compréhension, la planification et la mise en œuvre durable d'infrastructures liées aux eaux de pluies.



URBAN STORMWATER RETROFIT PRATICES

CENTER FOR WATERSHED PROTECTION (2007)

Description des techniques, outils et méthodes pour la modernisation de la gestion des eaux pluviales.

GUIDE DU PROMOTEUR

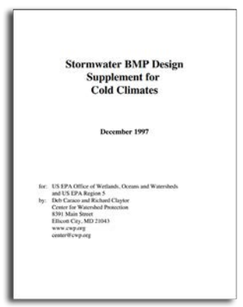
VILLE DE QUÉBEC, SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT (2012)

Document d'informations sur le développement dans les bassins versants de prises d'eau (rivière Saint-Charles et Montmorency) en lien avec le règlement de contrôle intérimaire (RCI) de la Communauté métropolitaine de Québec.

REVIEW OF THE SCIENCE AND PRATICE OF STORMWATER INFILTRATION IN COLD CLIMATES

TORONTO AND REGION CONSERVATION (2009)

Synthèse concernant la gestion des eaux pluviales en climat et conditions similaires à l'Ontario.



STORMWATER BMP DESIGN SUPPLEMENT FOR COLD CLIMATES

CENTER FOR WATERSHED PROTECTION (1997)

Ouvrage présentant les enjeux et recommandations de gestion des eaux pluviales spécifiques aux régions nordiques.

GUIDE D'AMÉNAGEMENT DES BASSINS DE RÉTENTION DES EAUX PLUVIALES

VILLE DE QUÉBEC, SERVICE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE (2012)

Guide destiné aux professionnels associés à la conception des bassins de rétention des eaux pluviales.

GUIDE SUR LES SÉPARATEURS EAU-HUILE

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (2008)

Outil à l'intention des chargés de projets du ministère sur les connaissances de base des séparateurs gravitaires eau-huile et des principaux critères qui s'appliquent à leur conception.

GUIDE TECHNIQUE; GESTION ENVIRONNEMENTALE DES FOSSÉS

DIRECTION DE L'EST DE LA MONTÉRÉGIE DU MINISTÈRE DES TRANSPORT DU QUÉBEC, MRC BROME-MISSISQUOI, RAPPEL (2012)

Guide destiné aux employés qui œuvrent aux travaux d'entretien du réseau de drainage routier. Il décrit de façon simple les techniques de contrôle de l'érosion et des sédiments pour minimiser l'impact des travaux sur l'environnement.

GUIDE DES BONNES PRATIQUES POUR L'ENTRETIEN ET LA CONCEPTION DES FOSSÉS MUNICIPAUX

ASSOCIATION DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT DU LAC SAINT-CHARLES ET DES MARAIS DU NORD (APEL) (2008)

Guide présentant les méthodes d'entretien et la conception des fossés municipaux afin d'optimiser leurs rôles (ralentissement de ruissellement et purification des eaux).

BIBLIOGRAPHIE

APEL (2011a) Rapport d'étape sur le suivi des cyanobactéries au lac Saint-Charles en 2010, Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 31 pages, 2 annexes.

APEL (2011b) Suivi du lac Clément, Évaluation de la contamination par les sels de voirie, Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 103 pages.

APEL (2012) Rapport d'étape sur le suivi des cyanobactéries et de l'état trophique du lac Saint-Charles en 2011. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec 143 p.

CENTER FOR WATERSHED PROTECTION (CWP) (2000) The Practice of Wathershed Protection : Why Stormwater Matters. Article 63. Maryland, U.S., 25-30.

DAVIS, L. M & MASTEN S. J. (2004) Principles of Environmental Engineering and Science. McGrawHill, New York.

HÉBERT S. (1997) Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques. Envirodoq n° EN/970102, 20 pages, 4 annexes.

LEVALLOIS, P. (2010) Université Laval, Département de médecine sociale et préventive, communication dans le cadre du cours Introduction à la Santé environnementale.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2002). La qualité de l'eau et les usages récréatifs. L'eau au Québec : une ressource à protéger. En ligne. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/recreative/qualite.htm.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2013). Les plans d'eau touchés par une fleur d'eau d'algues bleu-vert – Bilan final de la gestion des épisodes en 2012, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-66983-8 (PDF), 17 p.

MONCHAMP, M-E, PICK, FR, BEISNER, BE, MARANGER, R. (2014) Nitrogen Forms Influence Microcystin Concentration and Composition via Changes in Cyanobacterial Community Structure. PLoS ONE 9(1): e85573. doi: 10.1371/journal.pone.0085573.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS) (1997) Guidelines for drinking water quality. En ligne. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwqvol32ed.pdf.

SCHINDLER, D. W. (1977) Evolution of phosphorus limitation in lakes: Natural mechanisms compensate for deficiencies of nitrogen and carbon in eutrophied lakes. Science 195: 260–262.

SCHUSTER, C. J., A. G. ELLIS, W. J. ROBERTSON, D. F. CHARRON, J. J. ARAMINI, B. J. MARSHALL ET D. T. MEDEIROS (2005). Infectious Disease Outbreaks Related To Drinking Water in Canada, 1974-2001, Revue canadienne de santé publique, 96(4): 254-258.

WEINER, Eugene R. (2008) Applications of Environmental Aquatic Chemistry: A practical Guide. CRC Press. Taylor & Francis Group, Boca Raton. 436 p.

WETZEL, Robert G. (2001) Limnology: Lake and River Ecosystems. Academic Press: San Diego, California, 1006 p.

Ce document a été réalisé par l'APEL en collaboration avec le Service de l'environnement de la Ville de Québec et grâce à son support financier. L'objectif est de faire connaître les problématiques environnementales du bassin versant de la prise d'eau potable de Château-d'Eau et de consolider l'expertise environnementale des employés de la Ville.

L'APEL

L'Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) protège et met en valeur le patrimoine écologique du bassin versant de la rivière Saint-Charles à Québec.

NOUS JOINDRE

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL)

433, rue Delage

Québec (Québec) G3G 1H4

Téléphone : (418) 849-9844

Site internet : apel-maraisdunord.org/apel

Courriel : information@apel-maraisdunord.org

100%

PERMANENT

Imprimé en 2014 à Québec.
Caractéristiques environnementales:
- Contient 100 % de fibres postconsommation certifiées FSC®
- Certifié ÉcoLogo, Procédé sans chlore et FSC® Recyclé
- Fabriqué à partir d'énergie biogaz