Document généré le 5 juil. 2025 13:18

Le Naturaliste canadien

Biosuivi du marais Léon-Provancher depuis sa mise en eau (1996-2016) : implications pour la conservation d'un milieu humide aménagé

Julie Robitaille, Émilie Saulnier-Talbot et Isabelle Lavoie

Volume 144, numéro 2, automne 2020

URI : https://id.erudit.org/iderudit/1073991ar
DOI : https://doi.org/10.7202/1073991ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

1929-3208 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Robitaille, J., Saulnier-Talbot, É. & Lavoie, I. (2020). Biosuivi du marais Léon-Provancher depuis sa mise en eau (1996-2016) : implications pour la conservation d'un milieu humide aménagé. *Le Naturaliste canadien*, *144*(2), 77–93. https://doi.org/10.7202/1073991ar

Résumé de l'article

La création de milieux humides « artificiels » joue un rôle important pour le maintien de la biodiversité et contribue à fournir des services écosystémiques variés. En 1996, des terres en friche ont été ennoyées dans ce qui allait devenir le marais Léon-Provancher à Neuville (Québec). Afin d'évaluer l'état de l'environnement aquatique de ce marais artificiel, nous avons analysé la qualité de l'eau en 2016, et utilisé l'approche de biosuivi basé sur les assemblages de diatomées. Une analyse paléolimnologique des assemblages diatomifères provenant d'une carotte sédimentaire prélevée dans le marais a révélé une dominance de taxons benthiques préférant les eaux douces à saumâtres à pH neutre-alcalin, tolérants aux fluctuations de température de l'eau, de conductivité et d'état trophique, au cours des 20 premières années d'existence du marais. L'application de l'Indice Diatomées de l'Est du Canada (IDEC) indique que la qualité de l'eau du marais peut être qualifiée de bonne à excellente durant la période étudiée. Les changements mineurs observés dans les assemblages de diatomées depuis 1996 semblent plutôt corrélés à des variations du niveau de l'eau qu'à sa qualité. Ces conditions environnementales de référence seront utiles au suivi et à la gestion de l'écosystème du marais afin d'en assurer la conservation.

Tous droits réservés © La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada, 2020

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

Biosuivi du marais Léon-Provancher depuis sa mise en eau (1996-2016) : implications pour la conservation d'un milieu humide aménagé

Julie Robitaille, Émilie Saulnier-Talbot et Isabelle Lavoie*

Résumé

La création de milieux humides « artificiels » joue un rôle important pour le maintien de la biodiversité et contribue à fournir des services écosystémiques variés. En 1996, des terres en friche ont été ennoyées dans ce qui allait devenir le marais Léon-Provancher à Neuville (Québec). Afin d'évaluer l'état de l'environnement aquatique de ce marais artificiel, nous avons analysé la qualité de l'eau en 2016, et utilisé l'approche de biosuivi basé sur les assemblages de diatomées. Une analyse paléolimnologique des assemblages diatomifères provenant d'une carotte sédimentaire prélevée dans le marais a révélé une dominance de taxons benthiques préférant les eaux douces à saumâtres à pH neutre-alcalin, tolérants aux fluctuations de température de l'eau, de conductivité et d'état trophique, au cours des 20 premières années d'existence du marais. L'application de l'Indice Diatomées de l'Est du Canada (IDEC) indique que la qualité de l'eau du marais peut être qualifiée de bonne à excellente durant la période étudiée. Les changements mineurs observés dans les assemblages de diatomées depuis 1996 semblent plutôt corrélés à des variations du niveau de l'eau qu'à sa qualité. Ces conditions environnementales de référence seront utiles au suivi et à la gestion de l'écosystème du marais afin d'en assurer la conservation.

Mots clés : biodiversité, diatomées, marais artificiel, paléolimnologie, services écosystémiques

Abstract

Human-made wetlands play an important role in maintaining biodiversity and provide a wealth of ecosystem services. In 1996, abandoned farmland near Neuville (Québec, Canada) was flooded to create what is now the marais Léon-Provancher. In 2016, the water quality of this artificially created marsh was analyzed, and a biomonitoring approach using diatoms as environmental indicators was used to assess the state of the aquatic environment. A paleolimnological study of the diatom assemblages in a sediment core taken from the wetland revealed that during its first 20 years, the wetland was characterized by a dominance of benthic taxa preferring fresh to slightly brackish water with a neutral to slightly alkaline pH, and tolerant to fluctuations in water temperature, conductivity and trophic state. Use of the Eastern Canada Diatom Index (ECDI) indicated that the water quality of the wetland was good to excellent during the period studied. The small changes observed in diatom assemblages since 1996 appear to be more correlated to variations in water level than to water quality. This baseline environmental information will be useful for future monitoring and management of the marsh ecosystem, including its catchment, to help ensure its preservation.

Keywords: biodiversity, diatoms, ecosystem services, human-made wetland, paleolimnology

Introduction

Les écosystèmes aquatiques procurent des services écosystémiques diversifiés (Mitsch et collab., 2015), cependant ces milieux humides sont parmi les écosystèmes les plus dégradés de la planète (Convention de Ramsar sur les zones humides, 2018). De tout temps, l'humanité a modifié les systèmes aquatiques pour subvenir à ses besoins (p. ex. : eau potable, nourriture, transport, énergie). L'ensemble des milieux aquatiques d'origine humaine, dont l'abondance a significativement augmenté au cours du 20e siècle, a récemment été regroupé sous le terme d'anthropohydrocosmes (Saulnier-Talbot et Lavoie, 2018). Malgré leur origine anthropique, les milieux humides artificiels peuvent jouer un rôle important dans l'atténuation des effets des variations hydrologiques dans l'environnement, la filtration de polluants et la biodiversité au même titre que les milieux naturels (Blackwell et Pilgrim, 2011).

Un exemple de l'utilité des marais artificiels pour le maintien de la biodiversité réside dans le Plan nord-américain de gestion de la sauvagine (PNAGS) de 1986. Dans le contexte du PNAGS, une multitude de terrains à travers l'Amérique du Nord ont été acquis au fil des ans afin de conserver et

Julie Robitaille (M. Sc.) est étudiante au doctorat en sciences de l'eau à l'Institut National de la Recherche Scientifique (INRS), Centre Eau Terre Environnement (ETE).

julie.robitaille@ete.inrs.ca

Émilie Saulnier-Talbot (Ph. D.) est professeure à l'Université Laval, Québec. Ses recherches portent sur les changements environnementaux dans les écosystèmes aquatiques.

emilie.saulnier-talbot@bio.ulaval.ca

Isabelle Lavoie (Ph. D.) est professeure à l'INRS-ETE. Elle se spécialise dans le biosuivi des écosystèmes d'eau douce.

isabelle.lavoie@ete.inrs.ca

d'augmenter les habitats de la sauvagine et d'en rétablir les populations. Au Canada, la superficie d'habitats protégés par l'acquisition de titres fonciers ou de conclusions d'accord juridique s'élève présentement à plus de 9,22 millions d'hectares (PNAGS, 2019). Depuis sa création, le PNAGS a permis de protéger 22 000 ha de milieux humides au Québec, ainsi que la restauration de 8 000 autres hectares (Lepage et collab., 2015). Parmi ceux-ci se trouve le territoire de la Réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher (RNMLP), situé à Neuville sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, dans la région de Québec. Lors de son acquisition en 1988 par la Fondation de la faune du Québec, il était constitué de champs en friche. En 1996, le site a été cédé à la Société Provancher d'histoire naturelle du Canada pour en assurer la gestion et la préservation. À l'automne 1994, Canards Illimités Canada (CIC) a construit une digue d'une hauteur d'environ 2 m pour réaliser la mise en eau d'un marais de 19 ha sur ces anciennes terres agricoles (Messier et Courtois, 2018).

Depuis, l'écosystème de la réserve, incluant le plan d'eau et son bassin versant, a évolué. Le marais accueille désormais diverses espèces telles que des poissons comme le crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*), des amphibiens comme le ouaouaron (*Lithobates catesbeianus*) et la rainette crucifère (*Pseudacris crucifer*), des oiseaux aquatiques comme le canard colvert (*Anas platyrhynchos*), le grèbe à bec bigarré (*Podilymbus podiceps*) et la foulque d'Amérique (*Fulica americana*) et des plantes aquatiques telles que la quenouille (*Typhaceae* sp.) et le roseau commun (*Phragmites australis)* (Ouellet, 2015). Cette diversité a facilité l'obtention, en 2005, du titre officiel de Réserve naturelle du marais-Léon-Provancher pour ce site, en vertu de la Loi sur la conservation du patrimoine naturel du Québec.

Pour assurer le maintien de la biodiversité et la préservation du site à long terme, la Société Provancher travaille à la mise en place d'un programme de suivi environnemental incluant un volet sur l'évaluation de la qualité de l'eau. En effet, à cause de la présence des terres agricoles et urbaines qui l'entourent et de sa faible profondeur d'eau, le marais présente un potentiel élevé d'eutrophisation. Il s'agit du processus par lequel des nutriments s'accumulent dans un système aquatique, ce qui peut mener à une production primaire excessive. L'augmentation de l'eutrophisation dans le milieu pourrait ainsi avoir des effets néfastes sur sa faune et sa flore. Notons également à proximité la présence de la route nationale 138 qui peut générer un apport en sels de déglaçage et autres contaminants dans le bassin versant du marais. Cette situation est d'ailleurs observable dans d'autres plans d'eau peu profonds de la région (p. ex., le lac Saint-Augustin ; Guesdon et collab., 2016 ; Roberge et collab., 2002). Toutefois, aucune mesure de la qualité de l'eau n'est disponible pour les 20 premières années de l'existence du marais. En l'absence de mesures et d'un suivi régulier de la qualité de l'eau, l'approche paléolimnologique peut pallier en partie ce manque de données. Cette approche utilise l'information contenue dans les vestiges biogéochimiques naturels conservés dans les sédiments qui s'accumulent au fil du temps au fond des systèmes aquatiques lentiques (lacs, étangs, marais, réservoirs, etc.). À ce sujet, le biosuivi basé sur les assemblages de diatomées (classe des Bacillariophycées) figure parmi les indicateurs environnementaux les plus couramment utilisés en paléolimnologie.

Les diatomées sont des algues microscopiques unicellulaires photosynthétiques à la base de la chaîne alimentaire des environnements humides et aquatiques. On estime que les diatomées sont responsables d'environ un cinquième à un quart de la production d'oxygène mondiale (Leblanc et collab., 2012). En raison de leurs préférences et tolérances spécifiques à leurs habitats (p. ex. : pH, salinité, lumière, substrat, température, concentration en nutriments, contaminants, etc.), les diatomées sont d'excellentes indicatrices environnementales. De plus, elles réagissent rapidement aux changements physiques et chimiques de leur environnement. Ainsi, les assemblages de taxons présents dans les environnements aquatiques permettent d'inférer plusieurs paramètres physicochimiques de l'eau et du milieu. De plus, les changements dans les assemblages permettent de suivre des variations environnementales dans leur milieu au fil du temps. En effet, leur coquille siliceuse ornementée, appelée frustule, se préserve bien dans les sédiments pendant des milliers d'années. Le frustule est composé de 2 valves et possède une morphologie et une ornementation propres à chaque taxon, ce qui permet leur identification au microscope. Les diatomées offrent l'avantage de fournir un portrait global de l'environnement dans lequel elles se trouvent, puisqu'elles reflètent les caractéristiques physicochimiques de celui-ci de façon spatiotemporelle, en intégrant la variabilité de plusieurs paramètres environnementaux. Par conséquent, elles représentent une option souvent moins coûteuse que l'analyse de l'ensemble des variables physicochimiques nécessaires à la caractérisation d'un milieu (Lavoie et Saulnier-Talbot, 2016). En contrepartie, l'analyse diatomifère demande une connaissance approfondie de leur taxonomie. Plusieurs outils de biosuivi basés sur les assemblages de diatomées ont été développés, notamment au Québec (Fallu et Pienitz, 1999 ; Lavoie et collab., 2006 ; 2014 ; Tremblay et Pienitz, 2016 ; Tremblay et collab., 2014). Ils sont couramment utilisés pour le suivi de l'intégrité biologique de milieux aquatiques ou pour la reconstitution des conditions environnementales du passé.

Le présent projet a comme objectifs : 1) d'établir un point de référence de l'état du milieu aquatique de la RNMLP dans le temps en analysant des échantillons provenant de l'affluent, de l'effluent, ainsi que du marais lui-même, et 2) de documenter l'évolution des conditions de l'eau du marais au cours de ses 20 premières années d'existence (1996 à 2016) sur la base des assemblages de diatomées présents dans une carotte de sédiments prélevée dans le marais. Les données ainsi récoltées serviront à établir les conditions de référence nécessaires au suivi et au maintien de bon état environnemental du marais de la RNMLP pour les années à venir.

Territoire d'étude

Le territoire de la RNMLP couvre 125 ha (figure 1). Bordant le fleuve Saint-Laurent, il est constitué de basses terres délimitées au nord par un talus d'une dizaine de mètres et d'un plateau, lui-même délimité par un autre plateau d'une vingtaine de mètres dans la municipalité de Neuville (Municipalité régionale de comté [MRC] de Portneuf). Le marais Léon-Provancher, quant à lui, couvre une superficie de 19 ha. Il est bordé par une zone de végétation humide, où domine la quenouille, au nord-ouest, et par un milieu ouvert où se trouve la digue au sud-est (Messier et Courtois, 2018). Le site comprend aussi des sentiers pédestres accessibles au public. Étant situé au pied d'un important talus traversé par la route 138, le marais reçoit des eaux de ruissellement ainsi que celles d'un affluent principal qui passe à travers des champs agricoles. Les eaux du marais se déversent par un exutoire aménagé dans la section sud-est du bassin, qui comporte un barrage permettant de contrôler le niveau d'eau.

La partie submergée du marais est peu profonde. De 1996 à 2015, le niveau de l'eau à l'exutoire aurait varié de 10 à 62 cm (tableau 1). En novembre 2016, la profondeur variait de 38 à 155 cm (tableau S1, figure S1) selon des mesures prises à différents endroits dans le plan d'eau. La présence de fleurs d'eau de cyanobactéries a été observée pendant les étés 2006 à 2009 et en 2016. Ces caractéristiques traduisent une productivité primaire élevée de l'écosystème aquatique.

Tableau 1. Niveaux d'eau mesurés dans le marais Léon-Provancher de 1996 à 2015 (Ouellet, 2015).

Date	Niveau d'eau (cm)*
Mai 1996	30
Juin 1996	10
Juil. 1996	35
Août 1996	32
Sept. 1996	35
Oct. 1996	50
Nov. 1996	60
Avril 1998	62
Mai 2001	20
Août 2002	17
Sept. 2002	12
Juil. 2003	36
Juil. 2004	35
Mai 2005	38
Juin 2006	30
Juil. 2006	34
Août 2006	10
Avril 2007	12
Juin 2007	10
Août 2008	18
Mai 2009	27
Oct. 2011	36
Mai 2015	56
Nov. 2015	50

* L'endroit exact où les mesures ont été effectuées dans le marais n'est pas connu.

Méthodes

Analyses chimiques de l'eau

Les échantillonnages d'eau ont été réalisés le 31 août 2016 dans l'affluent principal, le marais lui-même et l'effluent (en aval de l'exutoire). Les échantillons ont été conservés à 4 °C jusqu'au moment de leur analyse en laboratoire (INRS-ETE). Les échantillons n'ont pas été filtrés, ce qui implique que les différentes analyses incluent les éléments dissous, et les éléments contenus dans les particules en suspension qui ne décantent pas. Les échantillons prélevés pour mesurer le carbone organique total (COT) ont été acidifiés (H_3PO_4) pour éliminer le carbone inorganique. Le COT a été quantifié avec un analyseur de carbone organique total (TOC-500A; Shimadzu VCPH) selon la méthode standard 5310 B (American Public Health Association, 2017). Les échantillons pour la mesure de l'azote total (fraction dissoute et particules fines) ont été acidifiés (HCl à 0,01 N) et analysés par chimiluminescence (Shimadzu VCPH). Les échantillons pour le dosage des cations (incluant le phosphore total dissous et celui sous forme de particules fines) ont été conservés dans du HNO_3 à 0,2 % et quantifiés par spectrométrie d'émission atomique à plasma à couplage inductif (ICP-AES; Varian Vista AX CCD) selon la méthode nº 200.7 de l'US EPA (1994). Des contrôles certifiés (900Q30.100, SCP Science) ont été utilisés pour l'ICP-AES. Enfin, le pH a été mesuré au laboratoire de l'INRS-ETE le jour même de l'échantillonnage (Denver Instrument, Model 10).

Échantillonnage du biofilm (affluent/effluent)

Des biofilms (constitués de bactéries, de champignons, d'algues, d'une microfaune et contenant aussi des diatomées) ont été prélevés dans l'affluent et dans l'effluent du marais. Pour ce faire, les biofilms colonisant des roches immergées ont été récoltés par frottis à l'aide d'une brosse à dents. Plusieurs roches ont été ainsi grattées afin de constituer un échantillon composite. Les échantillons de biofilm ont été traités et montés sur des lames de microscope de la même façon que ceux des sédiments de la carotte (voir plus bas).

Échantillonnage des sédiments et préparation des échantillons

Une carotte de sédiments d'environ 20 cm de longueur a été prélevée à l'aide d'un carottier à gravité (de type Mini-Glew) en juillet 2016 (figure 1). Le site de prélèvement se trouve dans un continuum affluent-marais-effluent, dont le temps de résidence de l'eau est vraisemblablement relativement court (quelques jours), ce qui lui confère une sensibilité élevée aux modifications de l'environnement du marais. La carotte a été sous-échantillonnée sur place, verticalement tous les 0,5 cm. Les sous-échantillons ont été placés dans des sacs de plastique stériles et réfrigérés dans le noir jusqu'au traitement en laboratoire.

Afin d'isoler les frustules de diatomées, les sédiments ont été digérés pour dégrader la matière organique. Une fraction de chaque sous-échantillon a d'abord été digérée avec 10 ml d'acide nitrique (HNO_3) pendant au moins 24 h à

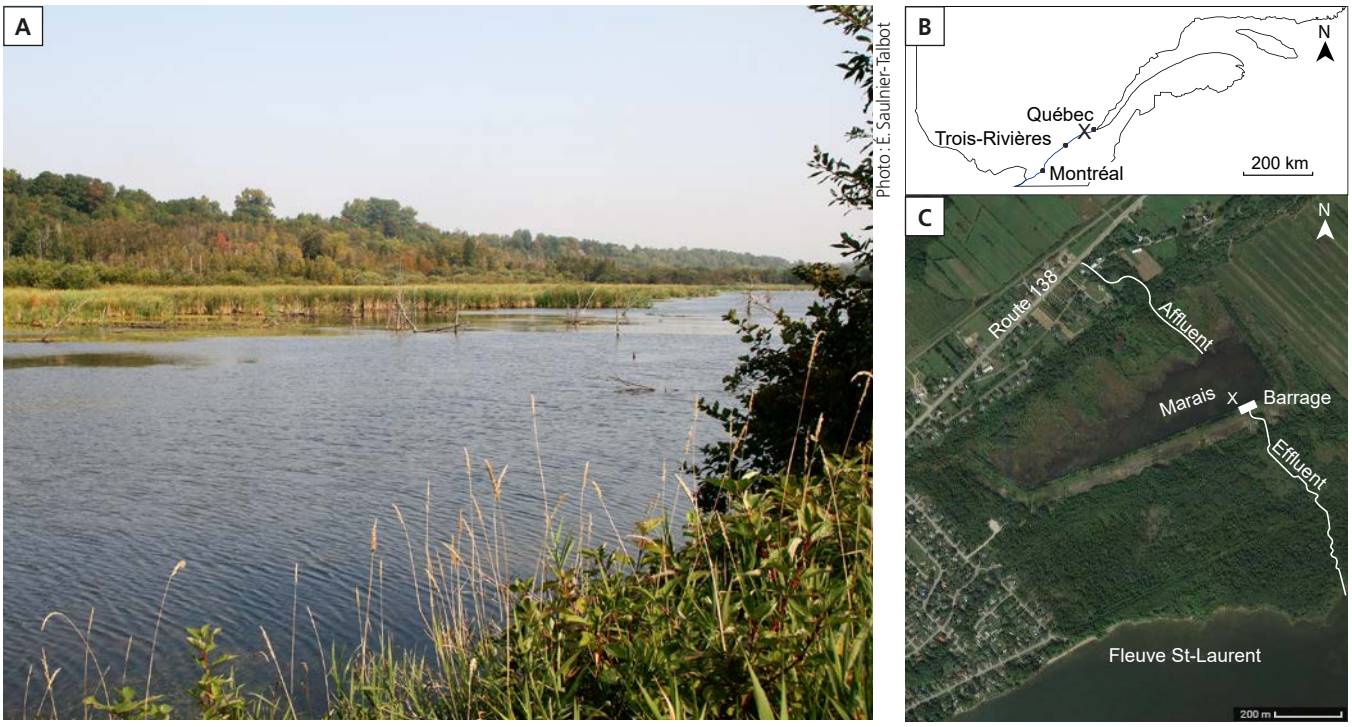

Figure 1. La Réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher (RNMLP) : A) vue générale du marais ; B) carte du sud du Québec avec l'emplacement du marais marqué par un X noir ; C) photo satellite (prise sur Google Earth) de la RNMLP montrant le marais, l'emplacement du prélèvement de la carotte de sédiments dans la section plus profonde, près de l'exutoire (indiqué par un X blanc) et un traçage approximatif de l'affluent, de l'effluent et du barrage.

température ambiante. Ensuite, 10 ml de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2 à 30 %) ont été ajoutés pour poursuivre la digestion (24 h). Après cette étape, les solutions siliceuses (culots contenant les diatomées) ont été rincées avec de l'eau distillée puis centrifugées pendant 10 minutes à 5000 tours par minute afin d'éliminer l'acide nitrique et le peroxyde. Cette opération a été répétée 5 fois. Chaque sous-échantillon a ensuite été monté entre lame et lamelle en utilisant du Naphrax (indice de réfraction de 1,74) comme résine de montage pour l'obtention de lames de microscope permanentes.

Analyse microscopique

Les diatomées provenant des biofilms et des sédiments ont été identifiées et dénombrées à un grossissement de 1250× sous immersion d'huile à l'aide d'un microscope optique (Polyvar, Reichert-Jung) muni d'un système de contraste interférentiel différentiel (CID). Les taxons présents ont été identifiés à différentes résolutions taxonomiques, allant du genre à l'espèce. Certains taxons ont été regroupés en « complexes » lorsque les différences entre les taxons étaient difficiles à distinguer au microscope. L'identification s'est basée principalement sur le *Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada* (Lavoie et collab., 2008). Pour chaque échantillon, au moins 400 valves ont été dénombrées en faisant un balayage aléatoire de la surface de la lame. Lorsqu'une lame ne permettait pas de dénombrer un minimum de 400 valves, de nouvelles lames étaient préparées afin d'atteindre ce seuil.

Traitement des données provenant des biofilms

L'outil de biosuivi des rivières IDEC (Indice Diatomées de l'Est du Canada ; Lavoie et collab., 2006 ; 2014) a été utilisé pour évaluer l'intégrité biologique de l'affluent et de l'effluent du marais. L'IDEC varie sur une échelle de 0 à 100 (0 = très mauvaise qualité et 100 = conditions de référence). Cet indice tient compte de la variabilité naturelle du pH et de la conductivité de l'eau liée à la géologie du bassin versant (Grenier et collab., 2006). Pour cette raison, 3 sous-indices sont proposés par ces auteurs afin de refléter au mieux les effets des activités humaines. Pour cette étude, le sous-indice IDEC-alcalin a été utilisé puisque la zone d'étude se trouve dans l'écorégion des basses-terres du Saint-Laurent.

Traitement des données provenant des sédiments

Afin d'évaluer la diversité des diatomées dans le temps (1996-2016), l'indice de Hill (*Hill's N2*; Hill, 1973) a été calculé à partir des abondances relatives des taxons identifiés dans chaque niveau de la carotte. Cet indice détermine l'occurrence réelle des taxons dans un échantillon et est sensible aux changements dans la proportion des taxons les plus abondants. Une analyse en correspondance détendue (*detrended correspondence analysis* ; DCA) a été réalisée à l'aide du logiciel PAST (Hammer et collab., 2001) pour déterminer les tendances dominantes dans les changements

compositionnels des assemblages de diatomées dans le temps. La position des échantillons le long du premier axe de la DCA (échelle exprimée en unités d'écart-type) indique le degré de changement dans les assemblages de diatomées entre les échantillons. Ces courbes, ainsi que l'abondance relative des taxons les plus abondants, c'est-à-dire ceux constituant au moins 5 % de l'assemblage dans au moins un niveau, ont été représentées sur un graphique stratigraphique dressé à l'aide du logiciel C2 (Juggins, 2011). Finalement, une analyse de groupements avec contrainte stratigraphique utilisant un regroupement hiérarchique agglomératif moyen non pondéré (*unweighted pair-group average clustering* ou UPGMA, Legendre et Birks, 2012) a été appliquée avec le logiciel PAST, avec l'option de la mesure de similarité Bray-Curtis afin de déterminer l'emplacement des changements les plus marqués dans les assemblages de diatomées (zones).

Dans une perspective exploratoire, l'IDEC a aussi été utilisé pour estimer l'intégrité biologique du marais de 1996 à 2016. Il est important de mentionner que l'IDEC a été développé spécifiquement pour le suivi des cours d'eau, ce qui implique que son application en milieu lentique n'est pas optimale (Lavoie et collab., 2006 ; 2014). Malgré les limites pour ce type d'environnement, il a tout de même été jugé approprié d'utiliser l'indice dans le contexte de l'étude puisque tous les taxons observés étaient inclus dans l'IDEC. De plus, la carotte de sédiments a été prélevée dans un continuum « affluent-marais-effluent », dont l'emplacement comporte certaines caractéristiques d'un milieu lotique (mouvement de l'eau, court temps de résidence).

Résultats et discussion

Analyses chimiques de l'eau

Malgré des analyses chimiques de l'eau effectuées sur un seul échantillonnage (en août 2016), les résultats obtenus (tableau 2) brossent néanmoins un portrait ponctuel de la dynamique géochimique du système. Les analyses de la composition chimique de l'eau indiquent que l'affluent principal apporte quantité d'éléments nutritifs dans le marais, ce qui reflète le contexte agricole du territoire ainsi que la présence d'une route importante dans le bassin versant du marais. À noter, les concentrations en nutriments, comme l'azote (N), le phosphore (P) et le soufre (S – qui n'est pas directement biodisponible pour les plantes, mais qui augmente l'efficacité d'absorption de N et P), sont beaucoup plus élevées dans l'affluent que dans les eaux du marais et de l'exutoire. Les concentrations des différents éléments, plus élevées dans l'affluent que dans le marais et son effluent pour la plupart, exception faite du fer (Fe) et du magnésium (Mg), indiquent que le marais retient en bonne partie les éléments qui y entrent, agissant ainsi comme filtre naturel. Les résultats démontrent que le COT produit par la biomasse dans le marais est exporté en aval jusqu'à l'exutoire qui se déverse éventuellement dans le fleuve Saint-Laurent.

Le pH du marais était de 8,4 lorsque mesuré le 31 août 2016, en mi-journée. Cette valeur, relativement élevée, pourrait s'expliquer, en partie, par la forte densité des plantes aquatiques. En effet, la photosynthèse effectuée par les macrophytes submergées et les algues augmente le pH pendant la journée (Stumm et Morgan, 1996).

Tableau 2. Analyses chimiques de l'eau de l'affluent (entrée), de l'effluent (sortie) et du marais en date du 31 août 2016. Les analyses ont été effectuées en triplicata pour chaque emplacement (*n* = 3).

Concentration	Affluent		Marais		Effluent	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
COT* (mg/l)	2,2	0,1	7,2	0,1	6,9	0,1
P† (µg/l)	27	0	11	2	14,6	1
N‡ (mg/l)	0,93	0,02	0,66	0,05	0,64	0,01
Al (µg/l)	43	2	13	1	15	0
Ca (mg/l)	81,9	0,1	23,7	0,1	25,0	0,0
Fe (µg/l)	25,3	3	220	2	231	3
K (mg/l)	2,61	0,02	0,68	0,02	0,67	0,01
Mg (mg/l)	5,35	0,01	2,27	0,01	2,23	0,02
Mn (µg/l)	4,7	0,6	26,7	0,2	19,7	0,3
Na (mg/l)	15,4	0	12,5	0	12,2	0,1
S (mg/l)	4,53	0,02	1,10	0,01	1,09	0,01
Si (mg/l)	4,38	0,01	0,32	0	0,39	0
Sr (µg/l)	590	1	253	1	258	1
Zn (µg/l)	2,3	0,7	0,9	0,2	1,0	0,2

* COT : carbone organique total
† P : phosphore total dissous, incluant les particules fines qui ne décantent pas.
‡ N : azote total dissous, incluant les particules fines qui ne décantent pas.
Limites de détection : COT = 0,05 mg/l ; P = 3 µg/l ; N = 0,02 mg/l

Assemblages de diatomées

La composition des assemblages de diatomées provenant des biofilms de l'affluent et de l'effluent était très différente (figure 2). Les assemblages ont toutefois généré des valeurs d'IDEC similaires (valeurs de 53 et 56, respectivement), indiquant une « bonne » intégrité biologique. En effet, des assemblages de diatomées complètement différents peuvent produire des valeurs d'IDEC similaires si les caractéristiques chimiques de l'eau sont comparables, mais que d'autres facteurs, non pris en compte par l'IDEC, sont différents (p. ex. : débit, température de l'eau, luminosité et substrat). Considérant les diminutions des concentrations en nutriments et de la conductivité de l'affluent vers l'effluent, il est plutôt surprenant d'observer une augmentation (c'est-à-dire reflétant une amélioration de l'intégrité biologique) de seulement 3 unités d'IDEC entre l'entrée et la sortie du marais. Ce résultat suggère que les valeurs de l'IDEC dépendent possiblement de la grande charge de carbone organique produite à l'intérieur du marais, les concentrations de COT étant plus élevées dans le marais et dans son effluent. Les diatomées sont, en effet, très sensibles à la présence de matière organique (saprobie) et certains indices basés sur les assemblages de diatomées ont spécifiquement été développés pour en faire le suivi (Rott et collab., 1997 ; Watanabe et collab., 1986). Par contre, il faut également considérer qu'une part de variabilité, estimée à ± 2 unités (Lavoie et Campeau, 2016), est associée aux valeurs d'IDEC et qu'une différence de 3 unités d'IDEC n'est possiblement pas significative.

Les taxons les plus abondants dans les échantillons de l'affluent et de l'effluent (figure 2) étaient *Achnanthidium minutissimum*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta* et *Nitzchia fonticola*, typiques des petits cours d'eau tempérés. *A. minutissimum* est l'un des taxons de diatomées les plus communs en Amérique du Nord (Potapova et Hamilton, 2007). La présence de *N. fonticola* a été observée dans des rivières nord-américaines ayant une conductivité élevée et dont le lit est constitué de sédiments fins. En Californie, ce taxon est indicatif de cours d'eau affectés par les activités humaines (Kociolek, 2011).

Dans la carotte de sédiments, des diatomées ont été trouvées jusqu'à une profondeur de 12 cm, ce qui indiquait l'horizon de la mise en eau du marais en 1996. La carotte ayant été échantillonnée en 2016, cette donnée suggère un taux de sédimentation d'environ 0,6 cm par année, si l'on suppose un taux régulier d'accumulation. Les taxons les plus communs trouvés dans les assemblages sont présentés au tableau 3.

Quatre zones ont été délimitées dans le diagramme des assemblages de diatomées (figure 3). Elles traduisent des variations dans les abondances relatives des taxons, sans toutefois montrer de changements notables dans la composition des assemblages. L'analyse montre une période initiale stable à partir du moment de la mise en eau (1996), jusqu'à environ 2010, suivie d'une période plus instable avec plus de fluctuations dans les abondances relatives des taxons. De 2010 à 2016, on remarque des changements aux 2 ans environ (zone 2 : ~2010-2012 ; zone 3 : ~2012-2014 ; zone 4 : ~2014-2016).

Dans la zone 1 (1996-~2010; 12-3,5 cm) correspondant approximativement aux 14 premières années d'existence du marais, on constate une diversité modérée des diatomées dès la mise en eau du marais, avec une médiane de 31 taxons (et une étendue de 27 à 38) dans les 17 premiers niveaux. Les 2 taxons les plus abondants des assemblages, et qui le demeurent à travers toute la séquence sédimentaire, sont les complexes *Fragilaria capucina* et *Achnanthidium minutissimum*. Ces taxons sont ubiquistes en eau douce et vivent communément dans les zones tempérées, tant en milieu lotique que lentique. *Cocconeis placentula*, un taxon qui vit attaché à divers substrats (plantes, roches, etc.), est plus abondant dans la zone 1 que

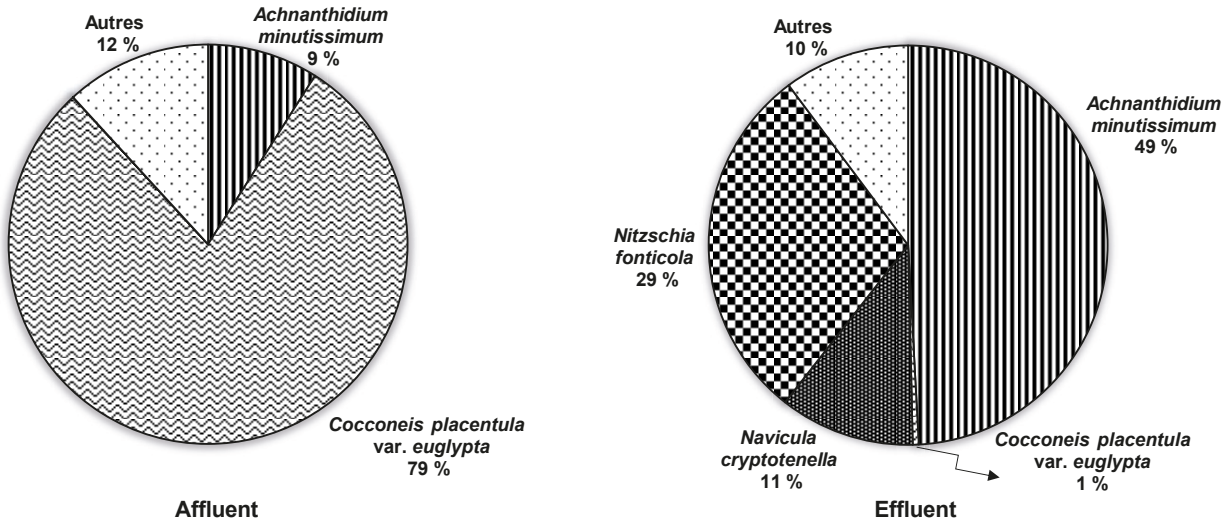

Figure 2. Distribution relative des taxons de diatomées les plus abondants dans le biofilm récolté dans l'affluent principal (à gauche) et l'effluent (à droite) du marais Léon-Provancher à la fin août 2016.

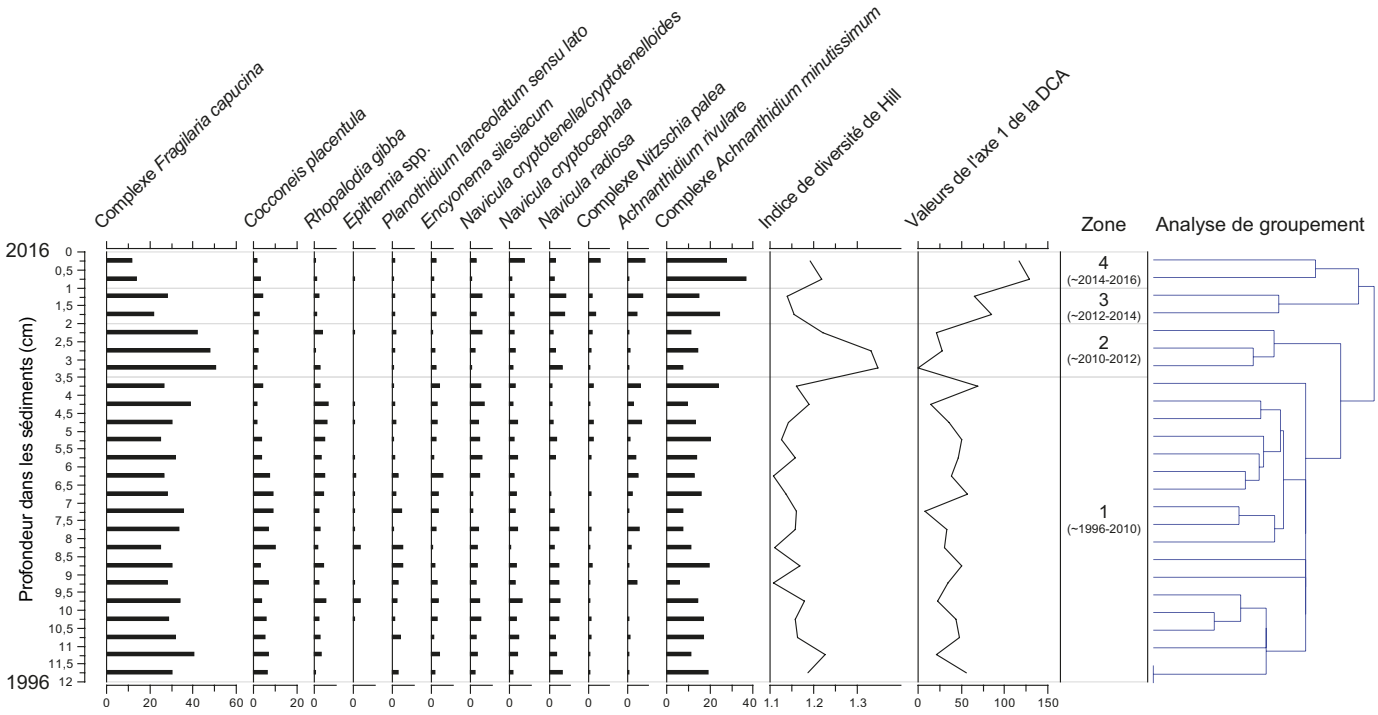

Figure 3. Composition des assemblages diatomifères contenus dans les sédiments accumulés dans le plan d'eau de la Réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher depuis sa mise en eau (1996). Seuls les taxons les plus abondants (abondance relative plus grande ou égale à 2 %) sont présents. L'indice de diversité de Hill montre les changements temporels dans la diversité des assemblages. Les pointages de l'axe 1 de l'analyse en correspondance détendue (*detrended correspondence analysis*; DCA) montrent le renouvellement des assemblages le long de la séquence. L'analyse de groupement indique les profondeurs où des changements dans la structure des assemblages surviennent. Les lignes plus longues (dans le haut de la carotte) indiquent des valeurs plus élevées et donc des changements plus marqués.

dans les suivantes, tout comme *Rhopalodia gibba*, dont le genre possède la caractéristique de pouvoir fixer l'azote atmosphérique. D'autres taxons benthiques communs dans les assemblages incluent *Encyonema silesiacum*, *Navicula cryptonella/cryptotenelloides*, *Navicula cryptocephala*, *Navicula radiosa* et *Achnanthidium rivulare*.

La zone 2 (~2010-2012; 3,5-2 cm) possède l'indice de diversité le plus élevé de la séquence. C'est aussi la zone où *Fragilaria capucina* est la plus abondante. Cette période est suivie d'une diminution de l'indice de diversité de ~2012 à ~2014 (zone 3; 2-1 cm). L'indice remonte ensuite légèrement dans la zone 4 (~2014-2016; 1-0 cm), où *Achnanthidium minutissimum* devient le taxon le plus abondant, dépassant l'abondance relative de *F. capucina* pour la première fois.

Les changements décrits demeurent très mineurs. De manière générale, la composition des assemblages de diatomées est demeurée stable au cours des 20 premières années d'existence du marais. L'analyse autécologique des taxons indique tout d'abord que la majorité des taxons présents sont benthiques (c'est-à-dire qu'ils colonisent différents substrats au fond de l'eau), ce qui est typique des environnements aquatiques peu profonds. Ils préfèrent en général une eau douce à légèrement saumâtre et un pH neutre-alcalin, ce qui concorde avec le pH de l'eau mesuré dans le marais en août 2016. Les taxons les plus abondants, appartenant aux complexes *Fragilaria capucina* et *Achnanthidium minutissimum*, sont tolérants à des variations du niveau d'eau et de la conductivité (Ponader et Potapova, 2007). Ces taxons vivent communément dans les étangs et les lacs tempérés d'eau douce oligo à mésotrophe (Della Bella et collab., 2007). Le complexe *F. capucina*, qui est dominant, est habituellement présent en association avec les plantes (c'est-à-dire qu'il est épiphytique) des marais et des lacs tempérés (Blanco et collab., 2004; Kairesalo, 1983; Weilhoefer et Pan, 2007).

Les valeurs de l'IDEC calculées à partir des assemblages de diatomées sédimentaires indiquent que la qualité de l'eau du marais peut être qualifiée de bonne à excellente, selon les périodes (figure 4). L'IDEC peut prendre des valeurs variant de 0 (très mauvaise intégrité biologique) à 100 (conditions de référence). Les assemblages indiquent des fluctuations de l'IDEC oscillant de 65 à 80. Les valeurs plus faibles au début de la séquence pourraient s'expliquer par le fait que les terres en friche qui ont été inondées pour créer le marais contenaient beaucoup de nutriments, et que ceux-ci ont été graduellement relâchés dans le système. Une fois ces nutriments épuisés, la qualité de l'environnement semble s'être quelque peu améliorée, d'après les valeurs mesurées et légèrement plus élevées de l'IDEC. Les valeurs plus faibles dans la période la plus récente (dans le haut de la carotte) pourraient hypothétiquement refléter un apport accru de nutriments provenant du bassin versant ou de la faune aviaire

Tableau 3. Autécologie des taxons de diatomées les plus communs trouvés dans les sédiments (abondance > 2 % dans au moins un niveau). Le lecteur est invité à consulter Lavoie et collab. (2008) pour des références visuelles. Les informations mentionnées dans le tableau sont tirées des bases de données des diatomées d'Amérique du Nord (https://diatoms.org/) et d'Europe (http://craticula.ncl.ac.uk/ [cette dernière n'est plus disponible]). Sites consultés de 2018 à 2020.

Taxon	Autécologie générale	P total optimal (µg/l)	pH
Achnanthidium minutissimum (Kützing) Czarnecki dans Czarnecki et Edlund, 1995	Abondant ; préfère les conditions oligotrophes avec une faible densité de brouteurs, une bonne oxygénation, une conductivité faible et les concentrations faibles de P et de N.	8,7 et 9,0	Neutre et alcalin
Achnanthidium rivulare Potapova et Ponader, 2004	Trouvé dans les milieux pauvres en calcium et riches en chlorure ; préfère les conditions méso-eutrophes.	8,2 et 8,7	Neutre 6,0-7,3
Amphora copulata (Kützing) Schoeman et Archibald, 1986	ND	8,1 et 13,3	ND
Cocconeis placentula (Ehrenberg) Grunow, 1884	Largement distribué ; affinité pour les hautes températures de l'eau ; préfère les conditions méso-eutrophes et de forte turbidité.	9,3 et 20,1	Alcalin mais aussi trouvé à pH neutre
Encyonema silesiacum (Bleisch dans Rabenhorst) Mann dans Round et collab., 1990	Préfère les conditions méso-eutrophes.	7,5 et 10,1	ND
Encyonopsis microcephala (Grunow) Krammer, 1997	Trouvé dans les milieux riches en calcaire ; préfère les conditions oligotrophes.	8,8 et 5,5	Alcalin
Eolimna sp. 1 cf.	ND	ND	ND
Eolimna minima (Grunow) Lange-Bertalot, 1998	ND	8,9 et 10,6	Alcalin
Epithemia adnata (Kützing) Brebisson, 1838	Fixateur d'azote grâce à une endosymbiose de cyanobactéries ; souvent trouvé dans les régions avec faible rapport N/P ; préfère les conditions méso-eutrophes.	ND	Alcalin
Epithemia sorex Kützing, 1844	Fixateur d'azote grâce à une endosymbiose de cyanobactéries ; souvent trouvé dans les régions avec faible rapport N/P ; préfère les conditions eu-polytrophes.	ND	Alcalin
Epithemia turgida (Ehrenberg) Kützing, 1844	Fixateur d'azote grâce à une endosymbiose de cyanobactéries ; souvent trouvé dans les régions avec faible rapport N/P ; préfère les conditions eutrophes.	ND	Alcalin
Fragilaria capucina var. *capucina* Desmazieres, 1825	Préfère les conditions oligo-mésotrophes.	9,0 et 14,8	Grande gamme de pH
Fragilaria capucina var. *mesolepta* (Rabenhorst) Rabenhorst, 1864	Préfère les conditions oligo-méso-eutrophes et a une grande tolérance aux fortes concentrations de P.	ND	Fortement alcalin
Gomphonema capitatum Ehrenberg, 1838	D'après *Gomphonema truncatum* (morphologie similaire), préfère les conditions méso-eutrophes.	ND	Alcalin
Kobayasiella sp. 1 cf.	ND	ND	ND
Navicula cryptocephala sp. 2, Kützing, 1844	Peu abondant ; préfère les conditions oligo-mésotrophes.	8,3 et 12,5	Neutre-alcalin
Navicula cryptotenella Lange-Bertalot, 1985	Peu abondant ; préfère les conditions oligo-méso-eutrophes et une concentration modérée de N.	9,0 et 13,6	Alcalin et peut-être neutre
Navicula cryptotenelloides Lange-Bertalot, 1993	Abondant ; préfère les conditions méso-eutrophes et une forte concentration de P.	ND	ND
Navicula radiosa Kützing, 1844	Souvent trouvé dans les sédiments humiques.	7,4 et 20,9	Neutre
Nitzschia sp. 1 cf.	ND	ND	ND
Nitzchia fonticola (Grunow) Grunow dans Van Heurck, 1881	Préfère les conditions de conductivité élevée et les sédiments fins.	ND	ND
Nitzschia palea (Kützing) W. Smith, 1856	Abondant ; préfère les conditions eu-poly-hypertrophes, à forte turbidité ; hétérotrophe à l'azote.	9,2 et 13,3	Neutre et peut-être alcalin

Tableau 3 (suite).

Taxon	Autécologie générale	P total optimal (µg/l)	pH
Nitzschia palea var. *debilis* (Kützing) Grunow dans Cleve et Grunow, 1880	ND	7,7 et 11,9	ND
Pinnularia spp.	Préfère les conditions de conductivité variant de 10 à 436 µS/cm.	ND	6,0 à 8,8
Planothidium lanceolatum (Brébisson ex Kützing) Round et Bukhtiyarova, 1996 *sensu lato*	Peu abondant ; préfère les conditions méso-eutrophes et une eau turbide.	10,0 et 15,0	Alcalin
Punctastriata lancettula (Schumann) Hamilton et Siver, 2008	D'après *Punctastriata mimetica* E. Morales, 2005 (morphologie similaire), préfère les concentrations modérées de P (0,129 mg/l) et de N (0,437 mg/l) ainsi qu'une faible conductivité (179 mS/cm).	6,8 et 16,5	Alcalin 8,2
Rhopalodia gibba (Ehrenberg) O.Müller, 1895	Fixateur d'azote grâce à une endosymbiose de cyanobactéries ; préfère les conditions eu-polytrophes.	ND	Alcalin
Sellaphora pupula Complex (Kützing) Mereschkowksy, 1902	Préfère les conditions poly-hypertrophes.	8,6 et 10,1	Neutre
Ulnaria ulna (Nitzsch.) Compère, 2001	Abondant ; préfère les conditions eu-poly-hypertrophes et les concentrations faibles de P et de N.	11,8 et 12,9	Neutre-alcalin
Navicula antonii sp. 2 Lange-Bertalot, 2000	ND	ND	ND

ND : aucune information trouvée dans les bases de données de diatomées.

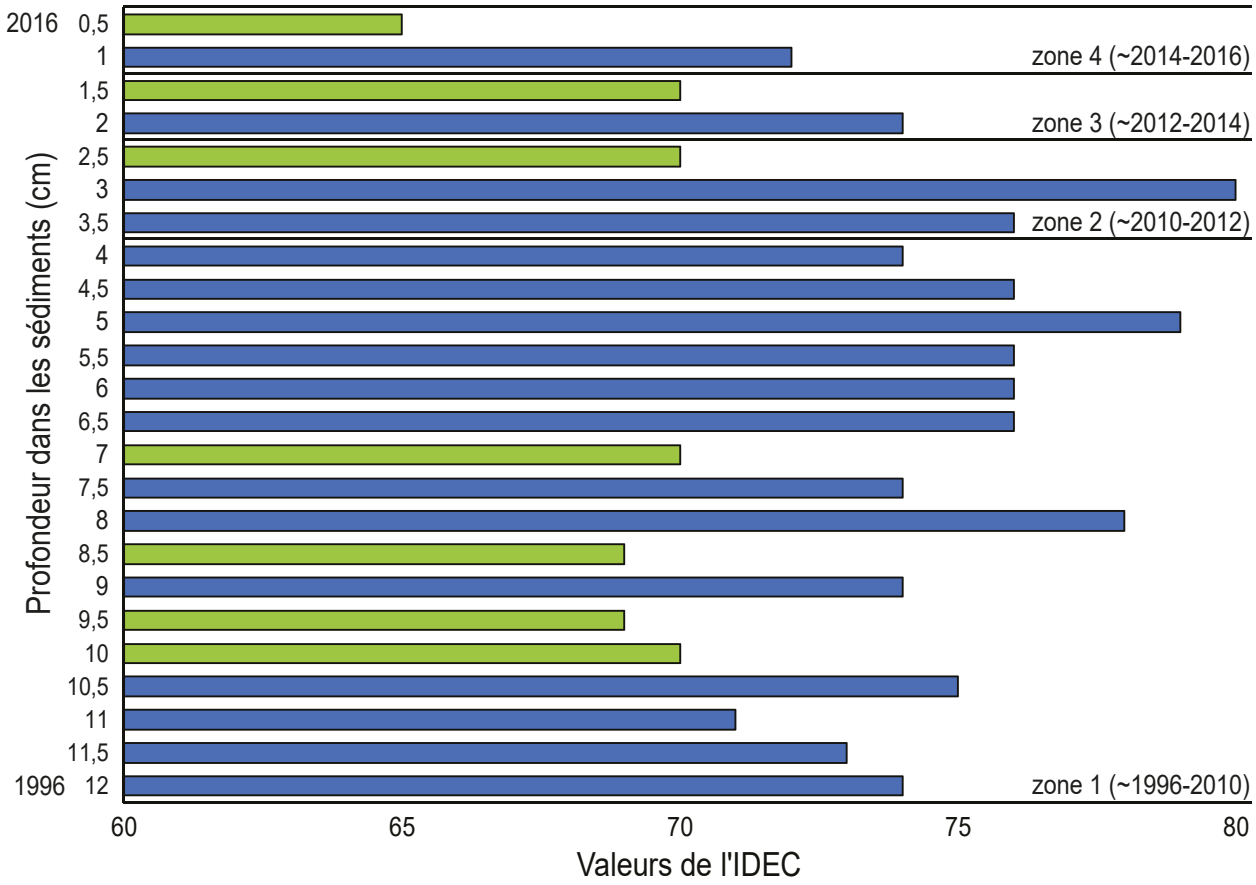

Figure 4. Valeurs calculées de l'Indice Diatomées de l'Est du Canada (IDEC) pour chaque niveau analysé de la carotte du marais Léon-Provancher. Les valeurs en bleu indiquent une intégrité biologique « excellente » et les valeurs en vert, une « bonne » intégrité biologique. Classes d'IDEC : 0-25 = très mauvais état ; 26-45 = mauvais état ; 46-70 = faiblement perturbé ; 71-100 = conditions de référence. Les zones sont basées sur les changements dans les assemblages de diatomées (figure 3).

(excréments). De plus, l'augmentation de l'urbanisation dans la région, notamment l'utilisation accrue de la route 138 et du réseau routier à proximité, pourrait expliquer une augmentation de la pollution. Cela dit, les différences mesurées dans les valeurs de l'IDEC demeurent relativement faibles depuis la mise en eau du marais.

Les faibles variations observées dans les assemblages de diatomées suggèrent qu'il n'y a pas eu de changements significatifs de l'état général du marais de 1996 à 2016. Ces faibles changements dans les assemblages semblent plutôt reliés aux fluctuations du niveau d'eau qui auraient entraîné des changements dans la diversité et la disponibilité des habitats pour les diatomées. En effet, depuis sa mise en eau, les quelques mesures disponibles (tableau 1) montrent une grande variabilité du niveau d'eau du marais (de 10 à 62 cm). Canards Illimités Canada a procédé à deux abaissements du niveau d'eau du marais : d'abord de 2001 à 2002, puis de 2006 à 2009. Ces réductions du niveau d'eau visaient alors à permettre à la végétation aquatique d'émerger. Selon Ouellet (2015), la baisse de 2001-2002 a effectivement permis aux quenouilles de croître davantage sur les rives du marais, mais elle a par ailleurs aussi favorisé la croissance d'algues vertes en raison d'un réchauffement plus marqué de l'eau durant l'été. Toujours selon Ouellet (2015), la baisse du niveau d'eau survenue entre 2006 et 2009 a contribué à l'obtention d'une eau plus chaude et peu oxygénée, ce qui a favorisé la croissance d'algues vertes et de lentilles d'eau. Ces changements auraient affecté davantage la faune colonisant le marais. Toutefois, la baisse du niveau d'eau aurait peu affecté les assemblages de diatomées, bien que l'augmentation des niveaux d'eau ait permis dans les années suivantes (2011-2012) d'augmenter temporairement leur diversité.

Conclusion

L'ensemble des données présentées ici servira de point de départ pour les prochains suivis environnementaux effectués au marais de la RNMLP. Grâce à cet état de référence, il sera possible de déterminer si des changements significatifs dans l'état du milieu se sont produits et de définir une stratégie de gestion visant à maintenir l'état de santé de cet important milieu humide pour la protection de la biodiversité, autant terrestre qu'aquatique. Un échantillonnage annuel ou biennal des eaux pourrait s'avérer utile pour faire un suivi temporel des éléments entrant et sortant du marais. Cela permettrait de mieux évaluer la variabilité naturelle du système et éventuellement, de déceler des changements découlant d'une possible dégradation de la santé de l'environnement.

La création de marais artificiels comme celui de la RNMLP et leur conservation sont primordiaux pour le maintien de services écosystémiques. Ces milieux humides artificiels favorisent l'implantation et le maintien d'une biodiversité riche qui abritent des taxons locaux et des populations animales migratrices. Outre la biodiversité, les services écosystémiques que procure le marais de la RNMLP sont nombreux. Ils comprennent, entre autres, la filtration des eaux de ruissellement en zone agricole et celles drainées par une route nationale bien fréquentée. De plus, l'accès à des sentiers pédestres offre la possibilité d'observer et de photographier la faune et la flore à proximité d'un grand centre urbain, tout en sensibilisant la population à l'importance des milieux humides. Il apparaît important de bien gérer ce territoire afin de conserver les services qu'il procure. Cette étude confirme l'intérêt de l'approche du biosuivi pour générer les données nécessaires à une gestion éclairée de la RNMLP.

Remerciements

Nous remercions la Société Provancher d'histoire naturelle du Canada de nous avoir accordé le droit d'échantillonner sur son territoire et M. Michel Lepage, membre du conseil d'administration de la Société Provancher, d'avoir partagé avec nous ses connaissances sur l'histoire du site d'étude. Nous sommes reconnaissantes au professeur Reinhard Pienitz (Université Laval) de nous avoir gracieusement prêté son carottier à gravité pour récolter la carotte de sédiments. Nous remercions aussi M. Rhéaume Courtois et M. Michel Lepage pour leurs commentaires constructifs sur le manuscrit, ainsi que leur aide pour la vérification des énoncés historiques et géographiques. ◂

Références

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2017. Total organic carbon (TOC) — B. High temperature combustion method. Dans : RICE, E.W., R.B. BAIRD et A.D. EATON (édit.). Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd edition. American Public Health Association, Washington, p. 5-26.

BLACKWELL, M.S.A. et E.S. PILGRIM, 2011. Ecosystem services delivered by small-scale wetlands. Hydrological Sciences Journal, 56 (8) : 1467-1484. https://doi.org/10.1080/02626667.2011.630317.

BLANCO, S., L. ECTOR et E. BÉCARES, 2004. Epiphytic diatoms as water quality indicators in Spanish shallow lakes. Vie et Milieu, 54 (2-3) : 71-80.

CONVENTION DE RAMSAR SUR LES ZONES HUMIDES, 2018. Perspectives mondiales des zones humides — L'état mondial des zones humides et de leurs services à l'humanité 2018. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse, 88 p. https://medwet.org/wp-content/uploads/2018/09/RamsarGWO_FRENCH_WEB.pdf.

DELLA BELLA, V., C. PUCCINELLI, S. MARCHEGGIANI et L. MANCINI, 2007. Benthic diatom communities and their relationship to water chemistry in wetlands of central Italy. Annales de Limnologie — International Journal of Limnology, 43 (2) : 89-99. https://doi.org/10.1051/limn/2007021.

FALLU, M.-A. et R. PIENITZ, 1999. Diatomées lacustres de Jamésie-Hudsonie (Québec) et modèle de reconstitution des concentrations de carbone organique dissous. Écoscience, 6 (3) : 603-620. https://doi.org/10.1080/11956860.1999.11682553.

GRENIER, M., S. CAMPEAU, I. LAVOIE, Y.-S. PARK et S. Lek, 2006. Diatom reference communities in Québec (Canada) streams based on Kohonen self-organizing maps and multivariate analyses. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63 : 2087-2106. https://doi.org/10.1139/f06-101.

GUESDON, G., A. DE SANTIAGO-MARTÍN, S. RAYMOND, H. MESSAOUD, A. MICHAUX, S. ROY et R. GALVEZ, 2016. Impacts of salinity on Saint-Augustin Lake, Canada: Remediation measures at watershed scale. Water, 8 (7) : 285. https://doi.org/10.3390/w8070285.

HAMMER, Ø., D.A.T. HARPER et P.D. RYAN, 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, 4 (1) : 1-9.

HILL, M.O., 1973. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. Ecology, 54 (2) : 427-432. https://doi.org/10.2307/1934352.

JUGGINS, S., 2011. C2 Version 1.7.7 Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. Newcastle University, Newcastle upon Tyne, Royaume-Uni. https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software/C2Home.htm.

KAIRESALO, T., 1983. Dynamics of epiphytic communities on *Equisetum fluviatile* L. Dans : WETZEL, R.G. (édit.). Periphyton of freshwater ecosystems. Developments in hydrobiology, vol. 17. Springer, Dordrecht, p. 153-160. https://doi.org/10.1007/978-94-009-7293-3_21.

KOCIOLEK, P., 2011. *Nitzschia fonticola*. Diatoms of North America. Disponible en ligne à : https://diatoms.org/species/nitzschia_fonticola. [Visité le 2020-03-22].

LAVOIE, I. et S. CAMPEAU, 2016. Assemblage diversity, cell density and within-slide variability: Implications for quality assurance/quality control and uncertainty assessment in diatom-based monitoring. Ecological Indicators, 69 : 415-421. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.001.

LAVOIE, I. et É. SAULNIER-TALBOT, 2016. Les diatomées : petits chefs-d'œuvre de la nature et microtechnologie 100 % naturelle au service du biosuivi des écosystèmes aquatiques. *In Vivo*, la revue de l'Association des biologistes du Québec, 36 (1) : 10-12.

LAVOIE, I., S. CAMPEAU, M. GRENIER et P.J. DILLON, 2006. A diatom-based index for the biological assessment of Eastern Canadian rivers: An application of correspondence analysis (CA). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63 (8) : 1793-1811. https://doi.org/10.1139/f06-084.

LAVOIE, I., P.B. HAMILTON, S. CAMPEAU, M. GRENIER et P.J. DILLON, 2008. Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada. Presses de l'Université du Québec, Québec, 252 p.

LAVOIE, I., S. CAMPEAU, N. ZUGIC-DRAKULIC, J.G. WINTER et C. FORTIN, 2014. Using diatoms to monitor stream biological integrity in Eastern Canada: An overview of 10 years of index development and ongoing challenges. Science of the Total Environment, 475 : 187-200. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.092.

LEBLANC, K., J. ARÍSTEGUI, L. ARMAND, P. ASSMY, B. BEKER, A. BODE, E. BRETON, V. CORNET, J. GIBSON, M.-P. GOSSELIN, E. KOPCZYNSKA, H. MARSHALL, J. PELOQUIN, S. PIONTKOVSKI, A.J. POULTON, B. QUEGUINER, R. SCHIEBEL, R. SHIPE, J. STEFELS, M.A. VAN LEEUWE, M. VARELA, C. WIDDICOMBE et M. YALLOP, 2012. A global diatom database — abundance, biovolume and biomass in the world ocean. Earth System Science Data, 4 : 149-165. https://doi.org/10.5194/essd-4-149-2012.

LEGENDRE, P. et H.J.B. BIRKS, 2012. Clustering and partitioning. Dans : BIRKS, H.J.B., A.F. LOTTER, J. JUGGINS et J.P. SMOL (édit.). Tracking environmental change using lake sediments. Vol. 5: Data handling and numerical techniques. Springer, New York, p. 167-200.

LEPAGE, C., D. BORDAGE, D. DAUPHIN, F. BOLDUC et B. AUDET, 2015. Plan de conservation de la sauvagine du Québec, 2011. Série de rapports techniques nº 532. Service canadien de la faune, Environnement Canada, Québec, 249 p. http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/eccc/CW66-228-1-2015-fra.pdf.

MESSIER, F. et R. COURTOIS, 2018. Gestion intégrée du roseau commun à la Réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher (Neuville, Québec). Le Naturaliste canadien, 142 (3) : 31-39. https://doi.org/10.7202/1050996ar.

MITSCH, W.J., B. BERNAL et M.E. HERNANDEZ, 2015. Ecosystem services of wetlands. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management, 11 (1) : 1-4. https://doi.org/10.1080/21513732.2015.1006250.

OUELLET, R., 2015. Le niveau d'eau au marais Provancher. Rapport de la Société Provancher, Québec, 4 p.

[PNAGS] PLAN NORD-AMÉRICAIN DE GESTION DE LA SAUVAGINE, 1986. Plan nord-américain de gestion de la sauvagine – Stratégie de collaboration Environnement Canada, Service canadien de la faune et U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Canada et États-Unis, 26 p. http://nawmp.wetlandnetwork.ca/Media/Content/files/Plan%20Nord-Americain%20De%20Gestion%20De%20La%20Sauvagine.pdf.

[PNAGS] PLAN NORD-AMÉRICAIN DE GESTION DE LA SAUVAGINE, 2019. Habitats canadiens — Rapport annuel du PNAGS 2019. Secrétariat du CNACTH (Canada), Service canadien de la faune, Environnement et Changement Climatique Canada, Canada, 40 p. http://nawmp.wetlandnetwork.ca/Media/Content/files/Web-f-LR-nov27.pdf.

PONADER, K.C. et M.G. POTAPOVA, 2007. Diatoms from the genus *Achnanthidium* in flowing waters of the Appalachian Mountains (North America): Ecology, distribution and taxonomic notes. Limnologica, 37 (3) : 227-241. https://doi.org/10.1016/j.limno.2007.01.004.

POTAPOVA, M. et P.B. HAMILTON, 2007. Morphological and ecological variation within the *Achnanthidium minutissimum* (bacillariophyceae) species complex. Journal of Phycology, 43 (3) : 461-575. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2007.00332.x.

ROBERGE, K., PIENITZ, R. et S. ARSENEAULT, 2002. Eutrophisation rapide du lac Saint-Augustin, Québec : étude paléolimnologique pour une reconstitution de la qualité de l'eau. Le Naturaliste canadien, 126 (2) : 68-82.

ROTT, E., G. HOFMANN, K. PALL, P. PFISTER et E. Pipp, 1997. Indikationslisten für Aufwuchsalgen Teil 1 : Saprobielle indikation. Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Vienne, Autriche, 73 p.

SAULNIER-TALBOT, É. et I. LAVOIE, 2018. Uncharted waters: the rise of human-made aquatic environments in the age of the "Anthropocene". Anthropocene, 23 : 29-42. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2018.07.003.

STUMM, W. et J.J. MORGAN, 1996. Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters — 3rd edition. John Wiley & Sons, New York, 1022 p.

TREMBLAY, R. et R. PIENITZ, 2016. Interroger les diatomées pour mieux comprendre la santé des lacs du Québec. *In Vivo*, la revue de l'Association des biologistes du Québec, 36 (2) : 9-11.

TREMBLAY, R., R. PIENITZ et P. LEGENDRE, 2014. Reconstructing phosphorus levels using models based on the modern diatom assemblages of 55 lakes in southern Québec. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 71 (6) : 887-914. https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0469.

[US EPA] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1994. Method 200.7, Revision 4.4: Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 59 p.

WATANABE, T., K. ASAI et A. HOUKI, 1986. Numerical estimation to organic pollution of flowing water by using the epilithic diatom assemblage—Diatom assemblage index (DAI_{po}). The Science of the Total Environment, 55 (1) : 209-218. https://doi.org/10.1016/0048-9697(86)90180-4.

WEILHOEFER, C.L. et Y. PAN, 2007. Relationships between diatoms and environmental variables in wetlands in the Willamette Valley, Oregon, USA. Wetlands, 27 : 668-682. https://doi.org/10.1672/0277-5212(2007)27[668:RBDAEV]2.0.CO;2.

Annexe

Figure S1. Photos satellites (prises sur Google Earth) de la RNMLP montrant l'emplacement des sites de mesures de niveaux d'eau effectuées le 11 novembre 2016 par Rhéaume Courtois (communication personnelle, avril 2020) pour les niveaux variant de 0-69 cm (A), 70-99 cm (B) et 100 cm et plus (C). Les valeurs sont précisées dans le tableau S1.

Tableau S1. Valeurs de niveaux d'eau du marais associés à leurs coordonnées GPS mesurées le 12 novembre 2016 par Rhéaume Courtois et Pierre-Martin Marotte (communication personnelle, avril 2020).

Numéro d'échantillon	Latitude	Longitude	Altitude	Heure de la mesure	Profondeur (cm)
1	46,718327	−71,539601	29,534189	13:08:46	64
2	46,71842	−71,539634	25,307262	13:09:44	61
3	46,71846	−71,539474	.	13:10:32	58
4	46,718495	−71,539359	28,09943	13:10:45	61
5	46,718603	−71,539194	30,911119	13:11:07	76
6	46,718623	−71,53901	31,467381	13:11:30	74
7	46,71856	−71,538952	30,689171	13:11:48	84
8	46,71856	−71,538841	31,267189	13:12:10	79
9	46,718622	−71,538738	32,272511	13:12:25	94
10	46,718706	−71,538622	33,432976	13:12:43	79
11	46,718767	−71,538562	31,031137	13:13:05	89
12	46,718949	−71,538515	30,531221	13:13:43	69
13	46,719005	−71,538574	27,395132	13:14:24	71
14	46,719061	−71,538549	27,615906	13:14:40	74
15	46,719091	−71,538522	27,231707	13:14:58	69
16	46,719097	−71,538338	28,46368	13:15:25	61
17	46,7191	−71,538225	28,049196	13:15:45	51
18	46,719025	−71,538126	26,966795	13:16:10	46
19	46,718947	−71,538061	27,207832	13:16:35	56
20	46,71887	−71,537963	27,518898	13:16:55	58
21	46,71882	−71,53786	28,040607	13:17:08	79
22	46,718794	−71,537712	26,906902	13:17:28	114
23	46,71878	−71,537557	27,114685	13:17:50	91
24	46,718884	−71,537296	29,516195	13:18:48	94
25	46,718989	−71,53723	28,185663	13:19:07	81
26	46,719089	−71,537196	27,695591	13:19:31	79
27	46,719153	−71,537277	26,238644	13:19:54	74
28	46,71919	−71,537252	26,941412	13:20:23	69
29	46,719342	−71,537327	27,346191	13:21:03	71
30	46,719404	−71,537169	25,919737	13:21:35	69
31	46,719507	−71,537029	25,17487	13:21:48	61
32	46,719648	−71,537064	27,558084	13:22:09	64
33	46,719754	−71,537112	29,435345	13:22:58	56
34	46,719878	−71,537091	30,14399	13:23:15	66
35	46,719899	−71,5369	28,810137	13:23:54	48
36	46,71981	−71,536719	27,51284	13:24:16	71
37	46,719783	−71,536524	27,595058	13:24:50	71
38	46,719703	−71,536404	28,281153	13:25:03	79
39	46,719569	−71,536341	27,140083	13:25:36	89
40	46,719487	−71,53608	26,883385	13:26:04	99
41	46,719399	−71,536003	27,42486	13:26:19	104
42	46,71932	−71,535806	25,597446	13:26:52	104
43	46,719405	−71,535569	27,367392	13:27:30	119
44	46,719538	−71,53559	29,592659	13:27:47	112
45	46,71968	−71,535694	29,905569	13:28:08	99
46	46,719768	−71,535769	30,302195	13:28:19	102
47	46,71986	−71,53587	30,250208	13:28:33	89
48	46,719961	−71,536034	30,029264	13:28:52	81

Numéro d'échantillon	Latitude	Longitude	Altitude	Heure de la mesure	Profondeur (cm)
49	46,720049	−71,536059	30,108511	13:29:03	74
50	46,720154	−71,53601	28,837641	13:29:16	58
51	46,720242	−71,535924	27,816622	13:29:33	74
52	46,720082	−71,535852	24,538181	13:30:10	69
53	46,720049	−71,535688	26,936226	13:30:50	84
54	46,719954	−71,535615	27,592026	13:31:08	84
55	46,719827	−71,535489	29,619011	13:31:24	94
56	46,719765	−71,535407	29,46817	13:31:34	97
57	46,719708	−71,535333	28,380442	13:31:49	119
58	46,719555	−71,534955	29,586201	13:32:19	119
59	46,719688	−71,534816	29,368708	13:32:40	117
60	46,719825	−71,534799	29,305719	13:32:58	119
61	46,719951	−71,534824	29,68932	13:33:16	94
62	46,720129	−71,534874	29,699699	13:33:40	97
63	46,720216	−71,53503	29,091656	13:33:59	86
64	46,720222	−71,535113	27,306513	13:34:24	84
65	46,720293	−71,535244	26,513947	13:34:35	69
66	46,72036	−71,5354	27,169666	13:34:47	81
67	46,720412	−71,535488	27,154503	13:34:58	71
68	46,720471	−71,535554	26,557924	13:35:12	76
69	46,720529	−71,535598	26,376801	13:35:30	66
70	46,720696	−71,535489	29,697933	13:36:35	64
71	46,720736	−71,53542	28,846706	13:36:49	61
72	46,720693	−71,535287	31,642281	13:37:20	66
73	46,720669	−71,535098	31,179338	13:37:54	74
74	46,72057	−71,534991	31,29578	13:38:23	89
75	46,720469	−71,534863	32,194344	13:38:37	79
76	46,720399	−71,534759	32,701683	13:38:51	79
77	46,720286	−71,53464	33,222095	13:39:08	84
78	46,720208	−71,53451	34,285801	13:39:23	86
79	46,720105	−71,53441	34,064922	13:39:39	107
80	46,719976	−71,534247	33,083687	13:40:00	104
81	46,719841	−71,534092	33,60611	13:40:23	107
82	46,719955	−71,533952	29,916037	13:40:57	107
83	46,720122	−71,533988	27,64349	13:41:18	114
84	46,720304	−71,534096	29,341639	13:41:38	107
85	46,72045	−71,534164	30,927122	13:41:58	104
86	46,720567	−71,53424	32,684608	13:42:15	104
87	46,720687	−71,534318	30,178352	13:42:30	94
88	46,720791	−71,534407	30,389307	13:42:44	89
89	46,720925	−71,534488	29,830988	13:43:01	86
90	46,721028	−71,534569	29,459171	13:43:17	81
91	46,721112	−71,534652	29,529467	13:43:32	66
92	46,721175	−71,534653	28,266134	13:43:46	58
93	46,721249	−71,534564	28,374678	13:44:12	66
94	46,721196	−71,534396	30,191282	13:44:41	61
95	46,721215	−71,534249	31,053072	13:45:10	69
96	46,721168	−71,534091	27,085562	13:45:59	79
97	46,721057	−71,534098	28,275803	13:46:18	89
98	46,721045	−71,533925	29,309423	13:46:46	91

Numéro d'échantillon	Latitude	Longitude	Altitude	Heure de la mesure	Profondeur (cm)
99	46,720877	−71,533842	28,247179	13:47:09	94
100	46,720765	−71,533899	27,424768	13:47:20	94
101	46,720625	−71,533862	27,327051	13:47:38	97
102	46,720516	−71,533857	27,436947	13:47:50	99
103	46,72035	−71,53379	28,886652	13:48:09	104
104	46,720214	−71,533731	30,378492	13:48:24	102
105	46,720069	−71,533649	31,397348	13:48:42	122
106	46,720035	−71,533496	31,815308	13:49:11	99
107	46,720137	−71,533396	32,579033	13:49:32	97
108	46,720298	−71,533407	28,05356	13:49:48	91
109	46,720422	−71,533438	30,072767	13:50:04	99
110	46,720589	−71,533522	29,084381	13:50:23	107
111	46,720715	−71,533592	30,746519	13:50:39	99
112	46,720895	−71,533729	29,991062	13:51:00	99
113	46,721019	−71,533888	28,378054	13:51:17	94
114	46,721125	−71,53412	29,88755	13:51:40	76
115	46,72124	−71,534302	28,170616	13:52:05	66
116	46,721324	−71,534353	29,214573	13:52:19	58
117	46,721385	−71,534339	31,243891	13:52:31	58
118	46,721441	−71,534271	30,979719	13:52:55	48
119	46,721383	−71,534188	29,695704	13:53:20	51
120	46,721167	−71,534087	29,503065	13:54:47	53
121	46,721011	−71,533869	33,677086	13:55:06	94
122	46,720876	−71,533635	33,022141	13:55:26	94
123	46,720788	−71,53346	32,513397	13:55:40	102
124	46,720663	−71,533285	31,300596	13:56:02	99
125	46,720528	−71,533162	29,905491	13:56:17	99
126	46,720385	−71,532989	30,431158	13:56:36	117
127	46,720282	−71,532787	30,229967	13:56:56	130
128	46,72024	−71,532672	29,61216	13:57:11	127
129	46,720372	−71,532629	31,745459	13:57:49	140
130	46,720543	−71,532611	29,932032	13:58:09	119
131	46,720608	−71,532463	31,809242	13:58:28	137
132	46,720737	−71,532417	32,195034	13:58:48	104
133	46,720858	−71,532414	31,329296	13:59:03	124
134	46,721028	−71,532446	33,331329	13:59:27	104
135	46,721084	−71,53265	32,121616	13:59:49	117
136	46,721148	−71,532814	33,266502	14:00:09	97
137	46,721197	−71,532968	31,88924	14:00:29	102
138	46,721276	−71,533096	28,648802	14:01:04	91
139	46,721395	−71,53318	27,455051	14:01:27	86
140	46,721442	−71,533132	27,61553	14:01:43	84
141	46,721459	−71,533323	28,470106	14:02:00	74
142	46,721439	−71,53337	29,752213	14:02:09	76
143	46,721492	−71,533408	29,538702	14:02:20	66
144	46,721552	−71,533472	28,292183	14:02:35	61
145	46,721626	−71,533483	26,990171	14:02:47	53
146	46,72169	−71,53351	28,638952	14:03:03	53
147	46,72175	−71,533463	30,373001	14:03:15	64
148	46,721815	−71,533471	30,127239	14:03:25	58

Numéro d'échantillon	Latitude	Longitude	Altitude	Heure de la mesure	Profondeur (cm)
149	46,721748	−71,533333	29,779188	14:04:03	76
150	46,721567	−71,53323	29,789433	14:04:33	84
151	46,721403	−71,533088	30,531225	14:04:52	84
152	46,721323	−71,532751	29,316618	14:05:20	102
153	46,721212	−71,532551	28,543867	14:05:37	94
154	46,721078	−71,532287	27,4501	14:06:04	84
155	46,720998	−71,532121	27,396009	14:06:20	86
156	46,720895	−71,531963	28,376778	14:06:41	97
157	46,720806	−71,531899	27,906006	14:06:57	102
158	46,720612	−71,532009	28,590981	14:07:17	130
159	46,720493	−71,532024	27,428257	14:07:34	135
160	46,720444	−71,531875	29,263519	14:07:59	127
161	46,720582	−71,531796	30,646509	14:08:25	137
162	46,720718	−71,531933	30,400173	14:08:49	142
163	46,720963	−71,531918	29,568295	14:09:18	117
164	46,721138	−71,531903	29,682568	14:09:42	91
165	46,721267	−71,532001	28,658484	14:10:02	104
166	46,721285	−71,532209	27,47084	14:10:18	94
167	46,721399	−71,532297	27,745438	14:10:35	109
168	46,721544	−71,532408	28,040529	14:10:53	94
169	46,72156	−71,532601	29,290564	14:11:06	79
170	46,721527	−71,532808	29,18152	14:11:20	84
171	46,721604	−71,533003	27,607119	14:11:44	76
172	46,721715	−71,53303	28,558226	14:12:07	64
173	46,721732	−71,533024	29,231922	14:12:10	56
174	46,721801	−71,532994	29,555744	14:12:21	61
175	46,721916	−71,53302	29,141348	14:12:39	64
176	46,721985	−71,533091	28,811937	14:12:54	53
177	46,722033	−71,533137	30,063543	14:13:09	61
178	46,72209	−71,533123	30,510355	14:13:23	53
179	46,722077	−71,533052	30,583904	14:13:35	66
180	46,722051	−71,53289	29,004488	14:14:03	69
181	46,722016	−71,532719	27,807568	14:14:23	74
182	46,721984	−71,532604	26,906719	14:14:40	91
183	46,721926	−71,532546	27,011116	14:15:04	99
184	46,721934	−71,532464	29,20673	14:15:16	99
185	46,721934	−71,532332	27,46455	14:15:38	97
186	46,721771	−71,532146	26,39423	14:15:58	81
187	46,721649	−71,532088	25,964699	14:16:13	94
188	46,721489	−71,532047	25,735306	14:16:33	102
189	46,721331	−71,531884	25,538006	14:16:52	135
190	46,721217	−71,531716	25,86483	14:17:10	127
191	46,72107	−71,531627	27,963364	14:17:28	140
192	46,72096	−71,531445	27,165876	14:17:48	150
193	46,720846	−71,531296	27,938637	14:18:06	147
194	46,720693	−71,531224	28,481316	14:18:25	155
195	46,720627	−71,531125	29,739319	14:18:47	112
196	46,720764	−71,530996	28,171061	14:19:08	107
197	46,720937	−71,53114	27,071684	14:19:29	97
198	46,721083	−71,531226	28,123768	14:19:46	102

Numéro d'échantillon	Latitude	Longitude	Altitude	Heure de la mesure	Profondeur (cm)
199	46,721244	−71,531339	27,795073	14:20:08	107
200	46,72136	−71,5315	28,675394	14:20:29	89
201	46,721433	−71,531637	28,410145	14:20:45	97
202	46,721527	−71,531704	27,350296	14:21:00	91
203	46,72163	−71,531793	27,516726	14:21:18	91
204	46,72168	−71,531965	27,821634	14:21:35	81
205	46,721706	−71,532059	28,050282	14:21:46	79
206	46,721788	−71,532134	27,314487	14:21:59	69
207	46,721862	−71,532243	26,694901	14:22:12	66
208	46,721921	−71,532272	26,627071	14:22:21	48
209	46,722066	−71,53232	27,296883	14:22:41	61
210	46,722133	−71,532354	27,611494	14:22:51	58
211	46,722192	−71,532438	28,35548	14:23:03	58
212	46,722286	−71,532337	28,98456	14:23:27	66
213	46,722273	−71,532187	27,872606	14:24:00	61
214	46,722253	−71,532141	29,0156	14:24:10	71
215	46,722219	−71,532062	28,027548	14:24:48	79
216	46,722129	−71,531995	30,65102	14:25:42	91
217	46,722071	−71,531948	30,660332	14:25:52	97
218	46,722032	−71,531806	30,605787	14:26:04	94
219	46,721963	−71,531718	29,361242	14:26:16	104
220	46,721833	−71,531614	28,729441	14:26:29	94
221	46,721742	−71,531496	28,216627	14:26:43	89
222	46,721598	−71,531358	30,677298	14:27:04	132
223	46,721463	−71,531207	30,494202	14:27:25	132
224	46,721355	−71,53112	30,532888	14:27:38	132
225	46,721212	−71,53106	31,425934	14:27:50	142
226	46,721048	−71,530835	31,147064	14:29:03	147
227	46,720953	−71,530738	34,921871	14:29:25	119
228	46,720848	−71,530675	34,932793	14:29:39	99
229	46,720737	−71,530793	34,209076	14:29:53	99
230	46,720645	−71,530924	32,142654	14:30:09	119
231	46,720593	−71,530987	32,067245	14:30:29	99
232	46,719074	−71,53655	30,599468	14:43:06	38
233	46,718239	−71,539955	28,943956	14:54:22	64
234	46,718252	−71,540094	28,561098	14:55:41	69
235	46,718236	−71,540256	31,855963	14:56:29	69
236	46,718291	−71,540251	32,760628	14:57:09	86
237	46,718402	−71,540374	30,425436	14:57:59	89
238	46,718301	−71,540649	28,971148	14:59:24	81
239	46,71836	−71,54068	26,418236	15:00:07	81
240	46,718263	−71,540417	28,603094	15:00:54	76

LA FAUNE, notre mission, notre passion !

Grâce à la générosité de nos donateurs et aux contributions des chasseurs, pêcheurs et piégeurs, 270 projets de conservation de la faune ont été soutenus en 2019-2020 !

Philippe De-Bruyne / Québec couleur nature

› Faites partie du mouvement faunique !
Devenez donateur mensuel : www.jedonneenligne.org/fondationdelafaune/CAMP/

Fondation de la faune du Québec

Groupe Hemispheres
15 ans en environnement

- Évaluation environnementale
- Gestion écologique du territoire
- Conservation des lacs et cours d'eau

QUÉBEC MONTRÉAL LÉVIS
SANS FRAIS 1 866 569-7140
www.hemis.ca
info@hemis.ca

Yvan Bédard
PHOTONATURE
Ph.D. Prof. émérite
Neuville, Qc
Canada G0A 2R0
1-418-561-7046
yvan_bedard@hotmail.com
PHOTOS-LICENCES-COURS-CONSEILS
http://yvanbedardphotonature.com

iA Valeurs mobilières

Gervais Comeau, Conseiller en placement
1040, avenue Belvédère bureau 101, Québec (Québec) G1S 3G3
Téléphone : 418 681-2442 • gervais.comeau@iagto.ca

www.iavaleursmobilieres.ca