

le naturaliste canadien

Volume 140, numéro 2
Été 2016

LA SOCIÉTÉ PROVANCHER
D'HISTOIRE NATURELLE
DU CANADA

Revue de diffusion des connaissances en sciences naturelles et en environnement

Numéro thématique: Le Saint-Laurent



Au sommaire

- **GRANDES ALGUES ET PLANTES ENVAHISSANTES**
- **PLANCTON DE L'ESTUAIRE**
- **POISSONS D'EAU DOUCE ET SALÉE**
- **RIVES EN MOUVEMENT**
- **HYDROCARBURES DU GOLFE**

LE MOT DU RÉDACTEUR EN CHEF

Il est temps de passer le témoin

Michel Crête

LE MOT DES RÉDACTRICES AD HOC

Un numéro thématique sur le Saint-Laurent

*Catherine Lambert Koizumi, Association de gestion halieutique autochtone Mi'gmaq et Malécite (AGHAMM)
et Céline Schaldembrand, Stratégies Saint-Laurent*

ÉCOSYSTÈME/BIODIVERSITÉ

La diversité, la répartition et l'écologie du complexe d'espèces cryptiques *Euytemora affinis*, dans la zone d'alevinage de l'estuaire moyen du Saint-Laurent

Dans la zone turbide et riche où se mélangent les eaux douces et salées, en aval de l'île d'Orléans, le plancton joue un rôle tout aussi central que discret dans la chaîne trophique. Deux clades du copépode *Euytemora affinis*, des quasi-espèces, exploitent des niches différentes, en fonction notamment de la salinité et de la température, et représentent une source de nourriture clé pour les alevins de plusieurs espèces de poissons.

Gesche Winkler, Jory Cabrol et Jean-Baptiste Favier

Comprendre la prolifération de la renouée du Japon sur les rives du Saint-Laurent

La renouée du Japon, une plante envahissante pouvant former des massifs denses, a pris de l'expansion au cours des dernières années dans la région montréalaise. Ainsi, on y avait localisé 130 populations à la fin de 2015, dont plusieurs croissent sur les rives du fleuve. Les populations étudiées ont pris de l'expansion entre 2012 et 2013 et ont subi une perte de diversité végétale et entomologique par rapport à des sites voisins non envahis.

Valérie Aubin et Sylvie Bibeau

QUALITÉ DE L'EAU

Qualité de l'eau du Saint-Laurent de 2000 à 2014 : paramètres classiques, pesticides et contaminants émergents

En termes bactériologiques et physicochimiques, la qualité de l'eau du Saint-Laurent est demeurée relativement stable au cours des 15 dernières années et relativement mauvaise en aval de Montréal. Des pesticides agricoles ont été détectés dans plusieurs affluents et dans le lac Saint-Pierre, parfois à des niveaux excédant les seuils de sécurité pour la vie aquatique. Enfin, des contaminants d'intérêt émergent, dont les risques pour la vie aquatique et les humains sont encore mal connus, ont été détectés dans les eaux douces du fleuve.

Isabelle Giroux, Serge Hébert et David Berryman

CONSERVATION/DÉVELOPPEMENT DURABLE

Risques et impacts associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent

35

La présence d'hydrocarbures est probable dans le golfe du Saint-Laurent, un milieu riche mais complexe au niveau physiographique, océanographique et climatique. Les connaissances actuelles sont-elles suffisantes pour permettre l'exploration et l'exploitation de ces ressources avec une certitude raisonnable que les risques associés à ces activités soient acceptables ?

Sylvain Archambault et Patrick Toussaint

Notre Golfe : l'émergence d'un réseau intersectoriel pour l'étude de l'environnement socioécologique du golfe du Saint-Laurent

41

Le réseau *Notre Golfe*, un regroupement d'une vingtaine de scientifiques venant d'horizons variés, a pris naissance lors d'un colloque de l'ACFAS de 2015. Son action vise à favoriser l'élaboration et la mise en œuvre de projets de recherche interdisciplinaires s'attaquant à des questions prioritaires en lien avec une éventuelle exploration et exploitation des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent.

Philippe Archambault, Cindy Grant, René Audet, Barbara Bader, Daniel Bourgault, Mathieu Cusson, Sabrina Doyon, Dany Dumont, Sandy Lamalle, Maurice Levasseur, Émilie Morin, Émilien Pelletier, Irene Schloss, Guillaume St-Onge, Geneviève Therriault, Hugo Tremblay, Jean-Éric Tremblay, Réjean Tremblay et Steve Plante

L'évaluation des impacts cumulés dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent : vers une planification systémique de l'exploitation des ressources

45

La pêche commerciale, l'aquaculture, la navigation, le réchauffement de l'eau et le couvert de glace amoindri ne sont qu'une partie des stressés qui influencent et modifient les écosystèmes marins de l'estuaire et du golfe. L'évaluation de leurs impacts s'est faite jusqu'à maintenant à la pièce, par projet ou par espèce. Une approche globale est maintenant nécessaire, mais le chemin pour y parvenir est complexe.

David Beauchesne, Cindy Grant, Dominique Gravel et Philippe Archambault

Nos pêcheries sont-elles «écoresponsables»? 56

Par le passé, les poissons représentaient la majorité des débarquements faits dans le Québec maritime. Les stocks de plusieurs espèces de poissons s'étant effondrés, ce sont maintenant les crustacés qui occupent le haut du pavé, tant en masse qu'en valeurs. L'exploitation du homard, du crabe et de la crevette nordique est maintenant «durable» et les 3 espèces possèdent une certification prestigieuse. L'état de 2 espèces de flétan semble aussi encourageant. Depuis une trentaine d'années, la situation des pêcheries a complètement changé au Québec.

Jean-Claude Brêthes

Les macroalgues du Saint-Laurent: une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global 62

Les grandes algues contribuent à la productivité primaire des milieux marins, fournissent de la nourriture aux herbivores et détritivores, offrent un couvert de fuite aux petits organismes, subsistent là où elles peuvent soutenir ou se soustraire au broutage des oursins, bref elles jouent un rôle central dans les écosystèmes. En plus, elles présentent un potentiel de culture, au même titre que le saumon ou les mollusques.

Éric Tamigneaux et Ladd Erik Johnson

Gestion des poissons d'eau douce et migrateurs dans le Saint-Laurent: mandats, enjeux et perspectives 74

Son bassin versant est immense, densément peuplé et subit les effets d'une activité industrielle et agricole intense. Pourtant, dans sa portion québécoise, le Saint-Laurent abrite encore une centaine d'espèces de poissons d'eau douce. Plusieurs souffrent des stress qu'impose l'activité humaine, mais d'autres se sont rétablies à la suite de correctifs. La gestion des poissons du Saint-Laurent est complexe, et notre capacité de bien l'assumer témoignera du sérieux que l'on porte au respect de notre environnement.

Marc Mingelbier, Yves Paradis, Philippe Brodeur, Véronik de la Chenelière, Frédéric Lecomte, Daniel Hatin et Guy Verreault

CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Potentiel de migration des écosystèmes côtiers meubles québécois de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dans le contexte de la hausse appréhendée du niveau de la mer 91

Les marais maritimes, les plages et les autres formations meubles des côtes offrent un milieu de vie à de nombreuses espèces animales et végétales, sans compter qu'ils fournissent plusieurs services écologiques. Quand le niveau moyen de la mer change, ces formations se déplacent. Devant la montée prévisible du niveau marin au cours des prochaines décennies, les milieux meubles des côtes maritimes du Québec peuvent-ils migrer vers l'intérieur ou des obstacles telles des routes ou des falaises empêchent-ils leur repositionnement?

Pascal Bernatchez et Chantal Quintin

Recharge en sable et revégétalisation de 2 plages de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec 105

Plutôt que d'affronter les assauts de la mer lors de tempêtes en érigeant des structures rigides, mieux vaut faire dos rond en utilisant des éléments naturels, bien adaptés à l'érosion et à la submersion, comme les plages. Deux tentatives de restauration de plage réalisées au printemps de 2012, au Bas-Saint-Laurent, se sont avérées, jusqu'à maintenant, très heureuses et beaucoup moins coûteuses que l'installation d'infrastructures rigides.

Étienne Bachand et Sophie Comtois

LES LIVRES

113

VIE DE LA SOCIÉTÉ

115

SAVIEZ-VOUS QUE...

117

En page couverture: Plage naturelle en santé du Bout d'en Haut, Île Verte

Photo: Étienne Bachand, Comité Zip du Sud-de-l'Estuaire

**Par leur soutien financier,
le parrain et les amis du *Naturaliste canadien*,
nos commanditaires et
les généreux bienfaiteurs de la Société Provancher
ont facilité la réalisation de ce numéro du *Naturaliste canadien*.**

Qu'ils en soient tous remerciés.

**La Société Provancher remercie
ses généreux bienfaiteurs
Parrain du *Naturaliste canadien*
Fondation de la Faune du Québec**

Amis du *Naturaliste canadien*

Beaulieu, Denis • Bélanger, Roger • Belles-Isles, Michel • Benoît, Suzanne • Blouin-Perry, Dereck • Bouchard, Yvon • Boulva, Jean • Charpentier, Yvan • Chartier, Richard • Clermont, André • Cloutier, Conrad • Colinet, Bernard • Corbeil, Christian • Corriveau, Lina • Couture, Pierre • Crête, Michel • De Serres, Marthe • Deguise, Josée • Delisle, Conrad • Desmartis, Micheline • Doré, Marc • Drolet, Bruno • Drolet, Donald • Duchesneau, Roger • Dufour, Guillaume • Dutil, Jean-Denis • Gaboury, Gilles • Gascon, Pierre • Hamann, Jean • Hamel, François • Hébert, Christian • Jones, Richard • Lacasse, Yves • Laflamme, Michel K. • Lafond, Anne-Marie • Lanneville, Jean-Louis • Le Goff, Héroïse • Lepage, Michel • Lépine, Rachel • Loiselle, Robert • Michaud, Natalie • Moisan, Gaston • Molinas, Laurence • Painchaud, Jean • Paquet, Marc-André • Paquette, Denis • Potvin, François • Potvin, Paule • Pouliot, Yvan • Raymond, Martine • Reed, Austin • Richard, Pierre J. H. • Roberge, Jacques • Rouleau, Arlette • Savard, Vincent • Senécal, Benoît • Shaw, Michel • Simard, Louise • Tessier, Pierre • Viel, Georges • Villemagne, Claude

Bienfaiteurs de la Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

Ahern Normandeau, Marguerite • Allard, Michèle • Barbès, Louise-Marie • Barrière, Serge • Beaudet, Thérèse • Beaulieu, Denis • Beaulieu, Francine • Bédard, Jean • Bédard, Michelle • Bédard, Yvan • Bélanger, Roger • Bellefeuille, Claire • Belles-Isles, Michel • Benoît, Suzanne • Berteaux, Dominique • Biron, Paule • Blais, Damien • Blondin, Hélène • Blouin-Perry, Dereck • Bossert, Frédéric • Bouchard, Yvon • Boulva, Jean • Bricault, Jean • Brière, Amélie • Brooks, Gemma • Campagna, Pierre • Caron, Benoît • Castonguay, Martin • Cavanagh, Robert • Charest, Monique • Charpentier, Yvan • Chartier, Richard • Chayer, Réjean • Clermont, André • Cloutier, Conrad • Colinet, Bernard • Corbeil, Christian • Corriveau, Lina • Couillard, Denis • Courtois, Réhaume • Couture, Pierre • Crête, Michel • Croteau, Robert • De Serres, Marthe • Deguise, Josée • Delisle, Conrad • Desautels, Louise • Desautels, Renée • Desmartis, Micheline • Doré, Marc • Drolet, Bruno • Drolet, Donald • Drouin, François • Dubuc, Madeleine • Duchesneau, Roger • Dufour, Guillaume • Dupéré, André • Dussault, Jacques • Dutil, Jean-Denis • Falcon, Louise • Fontaine, Madeleine • Fugère, Jean • Gaboury, Gilles • Gagné, Chantal • Gascon, Pierre • Giguère, Jean-Roch • Gobeil, Paul • Grondin, Suzanne • Hamann, Jean • Hamel, François • Harvey, Éric Yves • Hébert, Christian • Houde, Normand • Hrycak, Maurice Jr • Huot, Jean • Jalbert, Mélanie • Jones, Richard • Jutras, Jacques • Lacasse, Yves • Lacombe, Richard • Laflamme, Michel K. • Lafond, Anne-Marie • Lamoureux, Gisèle • Langlois, Gaétan • Lanneville, Jean-Louis • Lapointe, Monique • Lavigne, André • Le Goff, Héroïse • Leduc, Pierre • Lefebvre, Chantal • Lemieux, Jacques • Lepage, Claudine • Lepage, Daniel • Lepage, Michel • Lépine, Rachel • Lévesque, Madeleine • Lizotte, Alain • Loiselle, Robert • Lussier, Christiane • Major, Luc • Marcoux, Pierre • Marquis, Denise • Massicotte, Guy • Matte, Marie-Andrée • Mercier, Marthe B. • Michaud, Natalie • Moisan, Gaston • Molinas, Laurence • Morin, Lise • Nadeau, Yves • Olivier, Serge • Ouellet, Denis • Ouellet, Jocelyne • Ouellet, Réginald • Painchaud, Jean • Paquet, Marc-André • Paquette, Denis • Pelletier, Nathalie • Picard, Jean-Guy • Pilote, Lise • Potvin, Denis • Potvin, François • Potvin, Paule • Pouliot, Yvan • Rasmussen, Arne • Raymond, Martine • Reed, Austin • Rheault, Claude • Richard, Pierre J. H. • Rigault, Philippe • Roberge, Jacques • Roberge, Nicole • Robert, Michèle • Roger, Joanne • Rouleau, Arlette • Roy, Odette • Savard, Vincent • Senécal, Benoît • Shaw, Michel • Simard, Louise • Tessier, Pierre • Tremblay, France • Trencia, Guy • Turcotte, Marie-France • Turgeon, David • Turgeon, Marcel • Vézina, Lucie • Viel, Georges • Villemagne, Claude • Villeneuve, Jacques •



LA SOCIÉTÉ
PROVANCHER
D'HISTOIRE
NATURELLE
DU CANADA

Président

Robert Patenaude

1^{er} Vice-président

Réhaume Courtois

2^e Vice-président

Élisabeth Bossert

Secrétaire

Michel Lepage

Administrateurs

Christine Bélanger

André Lavigne

Pierre-Martin Marotte

Jean Tremblay

le *naturaliste*
canadien

Bureau de direction

Michel Crête
Bruno Drolet
Jean Hamann
Claude Lavoie
Michel Lepage
Isabelle Simard
Denise Tousignant

Équipe éditoriale

Michel Crête,
rédacteur en chef
Yan Boucher
François Brassard
Marc-Antoine Couillard
Mathieu Cusson
Christian Dussault
Christian Hébert
Patrick Lajeunesse

Marc Mazerolle
Stéphanie Pellerin
Junior Tremblay

Révision linguistique

Doris Cooper
Andrew Coughlan

Correction des épreuves

Camille Rousseau

Comité de financement

Hélène Beaulieu
Michel Cantin
Michel Lepage
Serge Olivier

Impression et reliure

Marquis Imprimeur, Inc.



Communications
Science-Impact
930, rue Pouliot
Québec (Québec)
G1V 3N9
418 651-3885

Le Naturaliste canadien est recensé par Repères, Cambridge Scientific Abstracts et Zoological Records. La version numérique est disponible sur la plateforme Érudit.

Droits d'auteur et droits de reproduction

Toutes les demandes de reproduction doivent être acheminées à : Copibec (reproduction papier)
514 288-1664 – 1 800 717-2022
licences@copibec.qc.ca

Dépôt légal 1^{er} trimestre 2016

Bibliothèque nationale du Québec

© La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada 2016

Bibliothèque nationale du Canada

ISSN 0028-0798 (Imprimé)

ISSN 1929-3208 (En ligne)

Imprimé sur du papier
100% recyclé



Fondée en 1868 par Léon Provancher, la revue *Le Naturaliste canadien* est devenue en 1994 la publication officielle de la Société Provancher d'histoire naturelle du Canada, après que le titre ait été cédé à celle-ci par l'Université Laval.

Fondée en 1919, la Société Provancher d'histoire naturelle du Canada est un organisme sans but lucratif dont la mission est de contribuer à la conservation de la nature. Ses principaux axes d'intervention sont la protection et la gestion de milieux naturels, l'éducation et la diffusion des connaissances dans le domaine des sciences naturelles.

Comme publication officielle de la Société Provancher, *Le Naturaliste canadien* entend donner une information de caractère scientifique et pratique, accessible à un large public, sur les sciences naturelles, l'environnement et la conservation.

La reproduction totale ou partielle des articles de la revue *Le Naturaliste canadien* est autorisée à la condition d'en mentionner la source. Les auteurs sont seuls responsables de leurs textes.

Les personnes ou les organismes qui désirent recevoir la revue peuvent devenir membres de la Société Provancher ou souscrire un abonnement auprès de EBSCO. Tél. : 1 800 361-7322

Publication semestrielle

Toute correspondance doit être adressée à :

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

1400, route de l'Aéroport

Québec QC G2G 1G6

Téléphone : 418 554-8636 Télécopie : 418 831-8744

Courriel : societe.provancher@gmail.com

Site Web : www.provancher.qc.ca



Il est temps de passer le témoin

J'ai toujours aimé le sport – *mens sana in corpore sano* – et c'est pourquoi j'utilise une image provenant de la course à relais pour vous annoncer que je cède la direction du *Naturaliste canadien* à quelqu'un d'autre.

Quand j'ai quitté le milieu du travail, à la fin de 2005, j'ai été immédiatement approché pour devenir rédacteur en chef de la revue. Après m'être familiarisé avec le fonctionnement du *Naturaliste canadien* pendant un numéro, j'ai accepté et j'en suis devenu le rédacteur en décembre 2006. Auparavant, j'avais agi comme rédacteur adjoint pour une revue spécialisée en gestion de la faune et comme rédacteur *ad hoc* pour un numéro spécial de la revue *Écoscience*, sans compter que j'avais eu l'occasion de discuter souvent avec Serge Payette, alors rédacteur en chef de cette revue. C'est dire que je savais à quoi m'attendre et, notamment, que je devrais occuper ce poste pendant une période assez longue pour offrir de la stabilité, tout en sachant me retirer au bon moment pour renouveler la direction. J'ai donc accepté de m'occuper de la production du *Naturaliste canadien* pour un premier mandat de 4 ans, avec l'idée de le prolonger de 4 autres années si j'y prenais encore plaisir et si la Société Provancher était satisfaite de mon travail : je le fis sans hésiter. Il y a 3 ans environ, je me suis mis à la tâche de trouver un remplaçant, et après quelques consultations, j'ai déniché une jeune chercheuse, très intéressée par l'édition scientifique, prête à prendre la relève à condition que je lui accorde 2 années supplémentaires pour qu'elle libère du temps personnel afin de s'acquitter de cette tâche. Je serai donc demeuré en poste près de 10 ans, et maintenant il est temps de passer le témoin.

Lorsque j'ai pris la direction de la revue, j'ai voulu appliquer un principe que m'avaient enseigné mes parents : tout ce qui mérite d'être fait, mérite d'être bien fait. Ainsi, je désirais que la revue publie des articles de qualité même si le sujet pouvait être modeste à l'occasion. Pour ce faire, je souhaitais que dorénavant tous les manuscrits fassent l'objet d'une évaluation par les pairs. Lors de la transition, j'avais noté que M. Desmartis, que j'ai remplacé et qui avait relancé *Le Naturaliste canadien*, en 1994, avec un collaborateur, avait l'habitude de solliciter des auteurs directement ou par l'intermédiaire des membres de ce qui est maintenant le bureau de direction. Je trouvais que cette façon de faire créait trop de proximité avec les auteurs alors que je désirais prendre mes distances pour avoir les coudées franches dans le cas où un manuscrit s'avérait inacceptable. J'ai fait le pari qu'en augmentant la qualité de la revue, il en serait de même pour sa réputation de sorte que les auteurs continueraient à soumettre des manuscrits, voire en plus grand nombre. Ce fut le cas durant les premières années.

Au début, la révision des manuscrits par les pairs a pris une forme hybride : un membre du bureau de direction, ou un autre expert si le bureau n'en comptait aucun, évaluait chaque manuscrit alors que je les examinai également très attentivement de mon côté. Plus récemment, nous avons formé une équipe éditoriale, distincte du bureau de direction, comptant des rédacteurs adjoints dont l'expertise couvre la majorité des sujets traités dans nos pages. Les manuscrits sont donc évalués, depuis quelque temps, par 2 experts, à l'image de ce que font les autres revues scientifiques.

Le rédacteur de la revue fait partie d'office de son bureau de direction, un organisme-conseil comptant entre 6 et 8 personnes de divers horizons qui partagent un grand intérêt pour la revue. Ma présence au sein de l'équipe de direction de la revue a coïncidé avec une période d'évolution rapide de la diffusion scientifique causée par les nouvelles technologies. Dans ce contexte, le bureau de direction est venu à la conclusion qu'il fallait dorénavant rendre *Le Naturaliste canadien* également disponible en ligne. Après avoir envisagé quelques scénarios, dans le cadre de budgets de production très serrés, l'adhésion à la plateforme de diffusion du consortium universitaire Érudit s'est avérée la solution idéale pour notre revue. En effet, la mise en ligne n'ajouterait aucune dépense à la production, voire générerait de

petits profits tirés des abonnements. J'ai donc entrepris des démarches pour convaincre Érudit que notre revue méritait sa place parmi les « revues savantes » que le consortium diffusait, finalement avec succès. Nos numéros sont maintenant publiés en ligne sur la plateforme Érudit depuis mai 2012. Il s'agit d'une réalisation majeure pour la revue puisqu'elle assure son rayonnement international alors que les experts d'Érudit défendent ses intérêts auprès des gouvernements et des institutions d'enseignement pour garantir des revenus stables en cette ère de libre accès aux articles scientifiques.

Je passe donc le témoin avec la conviction d'avoir contribué à faire évoluer la revue dans la bonne direction pour assurer sa pérennité. Cependant, des difficultés persistent. Les coûts de production de la revue, qui sont modestes compte tenu de tout le bénévolat impliqué dans cette activité, sont défrayés par la Société Provancher, par l'intermédiaire des frais d'adhésion de ses membres. La Société Provancher, un organisme à but non lucratif œuvrant dans le domaine de la conservation des milieux naturels, peine à renouveler ses effectifs qui ont eu tendance à diminuer au fil des ans. Elle met actuellement en œuvre un plan de redressement, mais la survie économique de la revue dépendra de la capacité de la Société à attirer une relève. L'autre nuage qui plane au-dessus de la revue concerne les auteurs. Depuis 2010, le nombre de manuscrits reçus a eu tendance à diminuer. Les raisons de cette baisse ne sont pas claires et vraisemblablement multiples : moins de fonctionnaires disponibles comme auteurs, contrôle gouvernemental plus serré de l'information, diminution du nombre de naturalistes, compétition des revues anglophones ? Pour contrer cette tendance, nous avons commencé à produire des numéros réguliers thématiques, avec l'aide indispensable de rédacteurs *ad hoc* : celui que vous avez entre les mains représente le second de cette nature. La survie du *Naturaliste canadien* dépendra donc aussi de la volonté de nos auteurs – des naturalistes chevronnés et des scientifiques – de continuer à publier en français dans nos pages.

En terminant, je désire remercier et souhaiter bonne chance à Denise Tousignant, qui a accepté de prendre la relève. Je remercie également les membres du bureau de direction, actuels et passés, qui m'ont assisté durant toutes ces années ainsi que les membres du conseil d'administration de la Société, qui m'ont toujours accordé leur confiance.

Michel Crête

Un numéro thématique sur le Saint-Laurent

L'idée de présenter un numéro du *Naturaliste canadien* entièrement dédié au fleuve, à l'estuaire et au golfe du Saint-Laurent est née lors du forum sur la gestion intégrée du Saint-Laurent à l'automne 2014, dont le thème portait sur les changements climatiques. Nous participions alors à un atelier de travail en compagnie de Robert Patenaude, président de la Société Provancher.

Le fleuve Saint-Laurent... vaste sujet pour un nombre de pages limité! Nous avons tenté de couvrir, au mieux, les enjeux actuels auxquels il est confronté tout en représentant plusieurs des domaines pour lesquels il constitue un objet d'études. Le Saint-Laurent est multifacette; il joue un rôle crucial au niveau des écosystèmes et de notre société, et présente un immense intérêt pour les biologistes, les géographes, les océanographes et, de plus en plus, pour les sociologues et les économistes.

À l'intérieur de ce numéro, un des articles expose des faits qui illustrent des changements en cours dans le Saint-Laurent et ses écosystèmes tels qu'on les connaît :

- Potentiel de migration des écosystèmes côtiers meubles québécois de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dans le contexte de la hausse appréhendée du niveau de la mer.

D'autres présentent des pistes de solution pour permettre aux populations une meilleure résilience :

- Recharge en sable et revégétalisation de 2 plages de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec;
- Comprendre la prolifération de la renouée japonaise sur les rives du Saint-Laurent.

À l'heure où nous écrivons cet article, le concept « anthropocène » n'a pas encore été officialisé. Cependant, le rôle de l'homme dans l'émergence des changements climatiques fait maintenant consensus au sein de la communauté scientifique internationale. Plusieurs articles présentent donc les impacts de certaines activités humaines sur le Saint-Laurent, ainsi que des pistes de solution :

- Risques et impacts associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent;
- Nos pêcheries sont-elles « écoresponsables »?;
- L'évaluation des impacts cumulés dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent : vers une planification systémique de l'utilisation des ressources;
- Qualité de l'eau du Saint-Laurent de 2000 à 2014 : paramètres classiques, pesticides et contaminants émergents;
- Gestion des poissons d'eau douce et migrateurs dans le Saint-Laurent : mandats, enjeu et perspectives;
- *Notre golfe*: l'émergence d'un réseau intersectoriel pour l'étude de l'environnement socioécologique du golfe du Saint-Laurent;

Finalement, 2 articles portent sur l'écologie, la répartition et la diversité de 2 composantes souvent oubliées, mais jouant un rôle trophique vital : les macroalgues et les copépodes :

- Les macroalgues du Saint-Laurent : une composante essentielle d'un écosystème marin et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global;

- La diversité, la répartition et l'écologie du complexe d'espèces cryptiques *Eurytemora affinis*, dans la zone d'alevinage de l'estuaire moyen du Saint-Laurent.

Nous souhaitons remercier toutes les personnes qui ont contribué à ce numéro: les auteurs qui animent les pages de ce numéro spécial, mais également tous les experts qui ont réalisé la tâche de révision scientifique, toute l'équipe de bénévoles du *Naturaliste canadien* (l'équipe éditoriale, la révision linguistique, la correction des épreuves) et, finalement, Michel Crête pour son appui, sa supervision et sa disponibilité pour les 2 rédactrices *ad hoc* inexpérimentées que nous étions!

Nous espérons que ce numéro saura piquer votre curiosité et susciter votre intérêt.

Bonne lecture!

Les rédactrices *ad hoc*

Catherine Lambert Koizumi
*Association de gestion halieutique
autochtone Mi'gmaq et Malécite
(AGHAMM)*

Céline Schaldembrand
Stratégies Saint-Laurent

La diversité, la répartition et l'écologie du complexe d'espèces cryptiques *Eurytemora affinis*, dans la zone d'alevinage de l'estuaire moyen du Saint-Laurent

Gesche Winkler, Jory Cabrol et Jean-Baptiste Favier

Résumé

Le copépode calanoïde *Eurytemora affinis* est un complexe d'espèces clés des réseaux trophiques estuariens. En dominant les communautés planctoniques dans la plupart des estuaires de l'hémisphère nord, *E. affinis* permet un transfert d'énergies vers les niveaux trophiques supérieurs. Il influence directement le recrutement des espèces de poissons et constitue une espèce clé des zones d'alevinage. *E. affinis* est en réalité un complexe d'espèces cryptiques composé de 6 clades morphologiquement similaires, mais possédant des histoires évolutives distinctes. Dans la zone de transition estuarienne du Saint-Laurent, 2 clades (Atlantique et Nord-Atlantique) sympatriques, spatialement ségrégués, dominent la communauté zooplanctonique. Chacun des 2 clades semble exploiter différents types d'habitats en fonction de sa tolérance physiologique à la salinité et à la disponibilité de nourriture. Nous discuterons des études récentes en mettant l'accent sur la répartition, la différenciation génétique, mais aussi l'écologie de ces espèces du complexe d'*E. affinis* afin de mieux comprendre leurs influences respectives sur le fonctionnement et la productivité de l'écosystème unique que représente la zone d'alevinage de l'estuaire du Saint-Laurent.

MOTS CLÉS : copépode, écophysiologie, marqueurs trophiques, zooplancton, Québec

Abstract

The calanoid copepod *Eurytemora affinis* is a cryptic species complex composed of 6 genetically distinct but morphologically similar clades. These dominate planktonic communities, and are considered the keystone species of many estuarine food webs in the northern hemisphere, channeling carbon and energy to higher trophic levels. In doing so, they directly influence the recruitment of many fish species. The Atlantic and the North-Atlantic clades co-occur in the St. Lawrence estuarine transition zone (Québec, Canada), but their distribution is spatially segregated. Both clades exploit various habitats depending on their physiological tolerance to salinity and resource availability favouring niche partitioning. In this review, we discuss recent studies on *E. affinis*, focussing on distribution patterns, and the ecological and genetic differentiation of co-occurring clades. The aim is to provide a clearer understanding of the influence of this species complex on productivity and ecosystem functioning in the St. Lawrence estuarine transition zone, which is an important fish nursery.

KEYWORDS: copepod, ecophysiology, Québec, trophic markers, zooplankton

Introduction

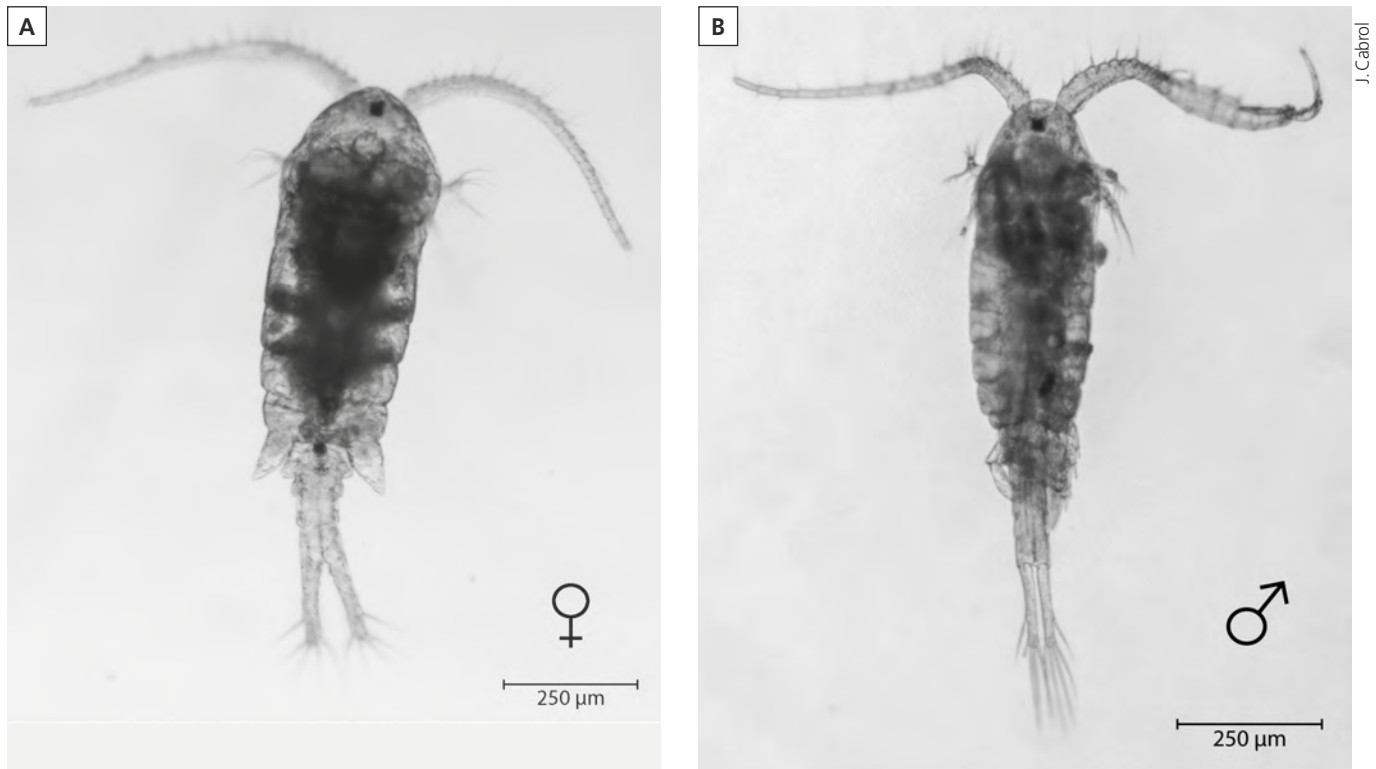
À la base des réseaux trophiques aquatiques, le zooplancton permet un transfert d'énergie des producteurs primaires vers les niveaux trophiques supérieurs (p. ex. Pauly et collab., 1998; Frederiksen et collab., 2006). Dans les estuaires, bien que les communautés zooplanctoniques soient très productives, elles sont caractérisées par une diversité d'espèces relativement faible, mais possédant une importance capitale pour les sites d'alevinage d'un grand nombre d'espèces de poissons (Vincent et Dodson, 1999; Cloern, 2007; Martino et Houde, 2010). Parmi les espèces de copépodes estuariens écologiquement importantes, le complexe d'espèces cryptiques *Eurytemora affinis* (figure 1) domine en biomasse la communauté zooplanctonique dans la plupart des estuaires de l'hémisphère nord (Lee, 2000; Winkler et collab., 2003; Tackx et collab., 2004; David et collab., 2007; Devreker et collab., 2010). De par ces fortes biomasses, *E. affinis* joue un rôle primordial dans les réseaux trophiques estuariens (Mouny et

collab., 1998; Winkler et collab., 2007; Slater et Baxter 2014) en permettant, notamment le recrutement de nombreuses espèces de poissons (Sirois et Dodson, 2000; Kimmel et collab., 2006).

Ce complexe d'espèces cryptiques *Eurytemora affinis* est composé de plusieurs groupes appelés « clades » génétiquement différenciés, dont les caractéristiques morphologiques générales sont similaires, mais qui présentent des différences génétiques

Gesche Winkler est professeure à l'Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER). Sa thématique de recherche porte sur l'écologie du zooplancton en intégrant l'aspect de l'hétérogénéité spatiale dans les milieux estuariens et côtiers, les enjeux des changements climatiques, des ressources marines et des activités humaines. Jory Cabrol (M. Sc) réalise actuellement son doctorat sur l'écophysiologie des copépodes et du krill à l'ISMER. Jean-Baptiste Favier (M. Sc.) travaille sur les habitats et la structure trophique des communautés zooplanctoniques estuariennes.

Gesche_Winkler@uqar.ca



J. Cabrol

Figure 1. Femelle (A) et mâle (B) du complexe d'espèces *Eurytemora affinis*.

plus ou moins marquées en fonction de leurs histoires évolutives (Lee, 1999; 2000; Lee et Frost, 2002). La divergence des différents clades représente le début d'une spéciation, via une isolation reproductrice, qui peut être plus ou moins complète. Bien que morphologiquement similaire, l'histoire évolutive spécifique à chaque clade d'un même complexe cryptique résulterait d'une différenciation éco-physiologique (Knowlton, 1993; 2000). Cette différenciation se traduirait par des tolérances différentes à l'égard des facteurs environnementaux (Lee, 2000; Lee et collab., 2013), de leurs préférences d'habitats (Favier et Winkler, 2014) ou encore de leurs comportements et leurs histoires de vie (Laakmann et collab., 2012). Écologiquement, ces différences évolutives entre les clades génétiquement différenciés affecteraient leurs patrons de distribution aussi bien sur une échelle spatiale que temporelle, influençant à son tour le fonctionnement et la productivité des écosystèmes.

Plus spécifiquement, dans le cas d'*E. affinis*, on trouve à ce jour 3 grands clades : le clade Asiatique, le clade Européen et le clade Nord-Américain qui semblent tous diverger les uns des autres depuis 5,1 millions d'années (Lee, 2000). Toutefois, le clade Nord-Américain peut être subdivisé en 4. On trouve ainsi le clade Pacifique, le clade Golfe, le clade Nord-Atlantique (NA) et le clade Atlantique (A) (Lee, 1999). Récemment, le clade Atlantique a été décrit comme une nouvelle espèce, *Eurytemora carolleae* au sein du complexe *E. affinis* (Alekseev et Souissi, 2011). Cependant, nous avons choisi, pour cette revue, de garder la nomenclature des clades proposée par Lee (Lee, 1999) pour 2 raisons. Notre étude porte sur la comparaison entre les clades A (*E. carolleae*) et NA. Or, le clade NA n'a pas été inclus

dans l'étude d'Alekseev et Souissi (2011). De plus, puisque notre article représente une revue de la littérature déjà publiée qui utilisait la nomenclature des clades, nous avons décidé de garder les mêmes noms pour éviter toute confusion.

Au total, sur les 6 clades existants répartis sur l'ensemble des estuaires de l'hémisphère nord, seules 3 zones de contact entre différents clades ont pu être observées (Lee, 1999). Parmi elles, l'une se situe dans la zone de transition estuarienne du Saint-Laurent (Québec, Canada : figure 2), entre le clade A et le clade NA. Or d'après le concept du paradigme écomorphologique (Wainwright et Reilly, 1994), les différents clades d'un même complexe cryptique, donc morphologiquement similaires, devraient exploiter les mêmes niches écologiques et par conséquent s'exclure mutuellement (voir le concept de l'exclusion compétitive proposé par Hardin (1960)). Cependant, Hutchinson (1961) a montré que la coexistence entre 2 espèces utilisant les mêmes niches écologiques serait possible sous certaines conditions. C'est justement cette possible coexistence entre le clade A et NA, dans cette région d'intérêt pour de nombreuses espèces de poissons, que nous allons analyser. Nous synthétisons ici les principaux résultats issus de notre laboratoire.

La communauté zooplanctonique de la zone de transition du Saint-Laurent

L'estuaire moyen du Saint-Laurent, comprenant la zone de transition estuarienne (ZTE), s'étend sur 150 km depuis l'île d'Orléans jusqu'à l'embouchure du fjord de Saguenay (figure 2). La ZTE représente un écotone essentiel

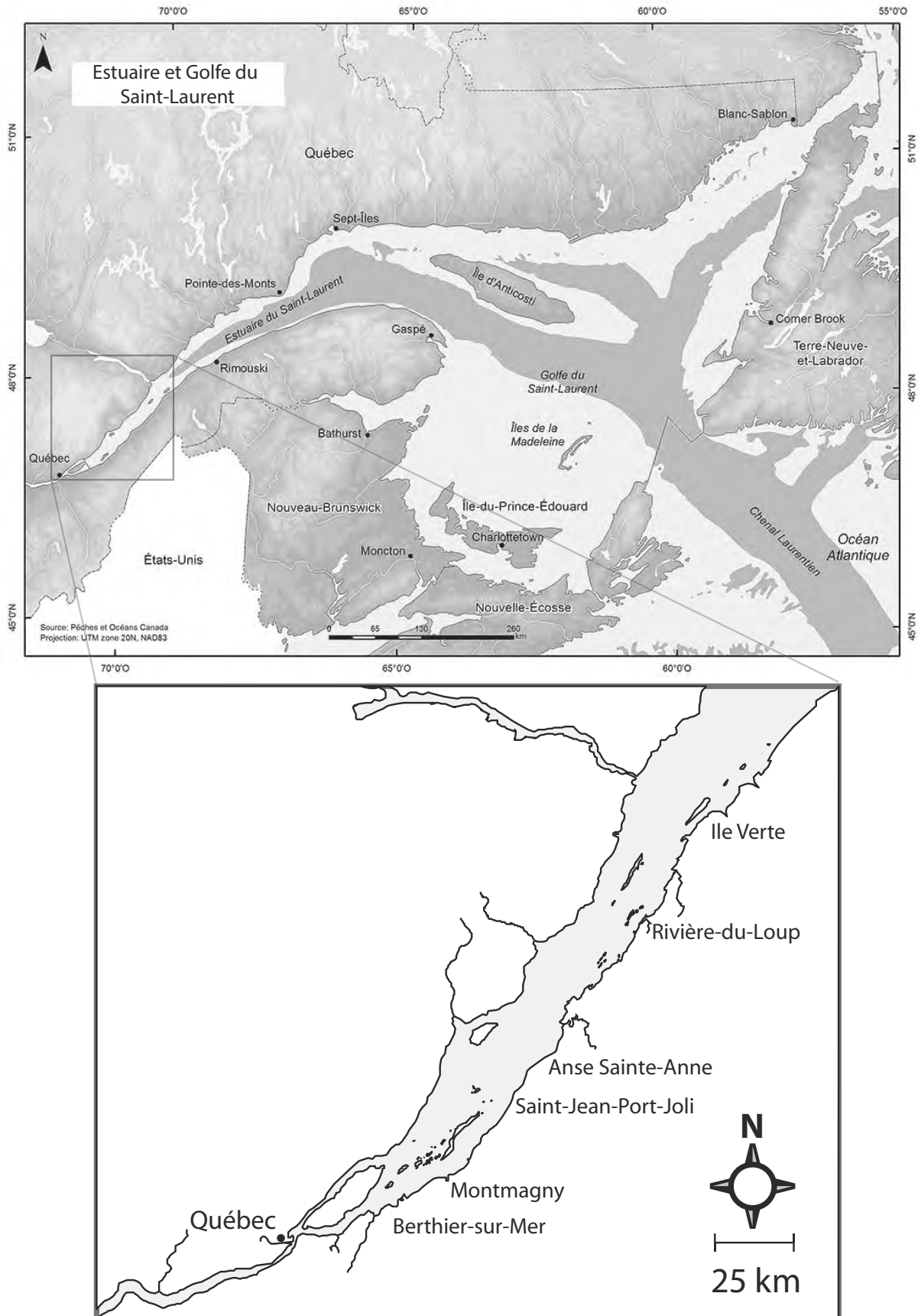


Figure 2. La zone de transition estuarienne du système de l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (modifié de Pêche et Océans Canada).

pour l'ensemble du fleuve en raison de sa sensibilité aux processus situés en amont et en aval de cette zone (Vincent et Dodson, 1999). Elle se caractérise par de forts gradients environnementaux, notamment de salinité (0,5-25 PSU), de température (en été: 24°C-16°C) et de matière en suspension. Par ailleurs, la circulation estuarienne créée par l'effet cumulé des courants d'eau douce provenant du fleuve Saint-Laurent et des courants de marée semi-diurnes (3-5 m d'amplitude) permet la création de forts courants pouvant atteindre $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Simons et collab., 2010). Cela provoque un mélange homogène de la colonne d'eau en amont et partiellement stratifiée en aval. Ces propriétés physiques et hydrographiques contribuent à prolonger le temps de résidence hydraulique et ainsi maintenir les particules organiques et inorganiques en suspension, engendrant ainsi une zone de turbidité maximale permanente (ZTM; Frenette et collab., 1995; Simons et collab., 2006; 2010). Dans la ZTE, la communauté zooplanctonique est composée de 3 assemblages distincts, stables au fil des saisons et dont la répartition spatiale dépend essentiellement de la salinité et de la stratification verticale (Bousfield et collab., 1975; Laprise et Dodson, 1994; Winkler et collab., 2003; Winkler et collab., 2005). L'assemblage d'eau douce soumis aux marées est dominé par les larves véligères du bivalve *Dreissena polymorpha* et de crustacés comme *Bosmina longirostris* et *Gammarus* spp. En aval, dans une gamme d'une salinité comprise entre 0,5 et 6 psu, un nouvel assemblage estuarien est dominé par le copépode *Eurytemora affinis* ainsi que les mysidacés (*Neomysis americana* et *Mysis stenolepis*). Finalement, en aval aux salinités plus élevées, un assemblage d'espèces euryhalines et marines remplace la communauté estuarienne. Ce dernier assemblage est composé des espèces de crustacées telles que *Acartia* spp., *Eurytemora herdmani*, *Calanus* spp., *Mysis littoralis*, les euphausiacés et les chaetognathes (Bousfield et collab., 1975; Laprise et Dodson, 1994; Winkler et collab., 2003). Même si *Eurytemora affinis* domine seulement l'assemblage estuarien, ce complexe d'espèces cryptiques est aussi présent, mais en moins grande densité, tout au long de la zone de transition estuarienne (Winkler et collab., 2008; Favier et Winkler, 2014).

Diversité génétique du complexe d'espèces *E. affinis* et sa répartition spatiale

Dans la ZTE, nos travaux, basés sur la différenciation d'une séquence de 652 pb du gène mitochondrial de la cytochrome oxidase I, ont révélé l'existence de 2 espèces d'*Eurytemora* (*E. affinis* et *E. herdmani*), ainsi que 3 groupes génétiquement distincts d'*E. affinis* (Winkler et collab., 2008). La diversité génétique du complexe cryptique d'*E. affinis* dans la ZTE se caractérise par une divergence moyenne entre le clade A et le clade NA de 12,4% (modèle Tamura-Nei). Cette grande divergence génétique entre ces groupes intraspécifiques et leurs présences conjointes dans l'estuaire suggère que cette région constitue une zone de contact secondaire. Le maintien de ces groupes à la suite d'un contact secondaire peut être attribuable à des barrières qui limiteraient le flux génique et

ainsi maintiendraient l'intégrité génétique de chacun des 2 clades (Knowlton, 2000; Schluter, 2001; Bilton et collab., 2002). Parmi les barrières habituellement responsables d'isolats génétiques, on peut citer les phénomènes physiques (courants, fronts), biologiques (isolement reproducteur pré- ou post-zygotique; Lee, 2000) ou écologique (c'est-à-dire tolérance à la salinité, répartition, migration verticale et préférence alimentaire). Le long de la rive sud, ces groupes génétiques sont géographiquement séparés selon un gradient « amont-aval » (figure 3). Les eaux peu profondes et oligohalines de la zone comprise entre Berthier-sur-Mer et Montmagny sont caractérisées par la présence du clade Atlantique (clade A) alors que les eaux mésohalines, de Saint-Jean-Port-Joli jusqu'à l'anse Sainte-Anne, sont fortement dominées par le clade Nord-Atlantique (clade NA; figure 3). La seconde espèce, *E. herdmani*, est présente dans les eaux plus salées au niveau de Rivière-du-Loup. Les eaux beaucoup plus salées et chaudes des marelles de l'île Verte abritent un troisième groupe génétique d'*E. affinis*, lequel est constitué du clade Atlantique (Winkler et collab., 2008). La grande distance génétique par paire (F_{ST} : 0,2-0,3), statistiquement significative, indique que le clade A est génétiquement subdivisé entre les populations de l'eau douce (Berthier et Montmagny) et les populations en aval situées dans les marelles de l'île Verte. Cette subdivision génétique pourrait être le résultat d'une restriction du flux génique entre amont et aval, causée par la présence du clade NA et d'*E. herdmani* au centre de la ZTE, qui agirait comme une barrière par exclusion compétitive. À l'inverse du clade A, le clade NA ne montre pas de subdivision génétique, ce qui suggère une population panmictique au centre de la ZTE (Winkler et collab., 2008). Ainsi, il existe une ségrégation spatiale très surprenante du complexe d'espèces cryptiques d'*E. affinis* dans la ZTE, malgré un hydrodynamisme intense et de forts courants de marée (Winkler et collab., 2008). Cette dernière peut être expliquée par différents mécanismes physiques et biologiques.

Facteurs physiques : advection et dispersion

La ZTE possède une colonne d'eau bien mélangée à partiellement stratifiée, variant avec les cycles de marée, ainsi qu'un temps de résidence des particules élevé (Simons et collab., 2006; 2010). De ce fait, le partitionnement géographique des 2 clades est surprenant, car les processus hydrodynamiques très intenses présents dans la ZTE devraient homogénéiser la répartition des 2 clades. Cependant, il est fort probable que *E. affinis* démontre un comportement natatoire afin de contrôler sa position verticale. En effet, les migrations verticales dans la colonne d'eau en fonction des cycles de marée, phénomène déjà observé chez d'autres populations d'*E. affinis* (Runge et Simard, 1990; Hough et Naylor, 1992; Kimmerer et collab., 1998; Schmitt et collab. 2011), permettraient d'allonger le temps de résidence dans des habitats spécifiques. Ce phénomène a par ailleurs déjà été modélisé dans la ZTE pour les larves de moules zébrées (*Dreissena polymorpha*: Simons et collab., 2006). Toutefois, outre les capacités natatoires,

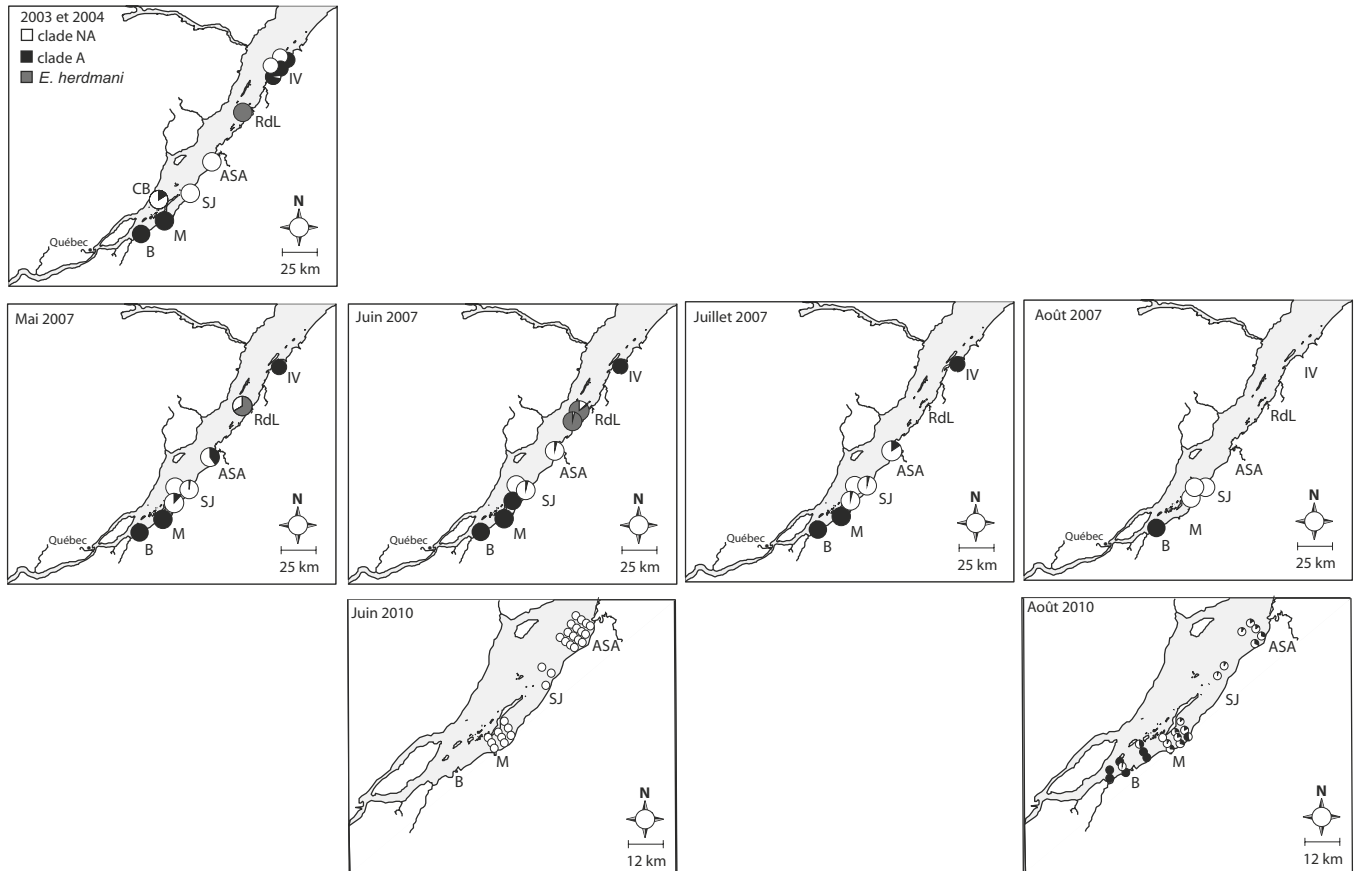


Figure 3. Répartition spatiale et temporelle d'*Eurytemora* spp., des clades Atlantique (noir), Nord Atlantique (blanc) et d'*E. herdmani* (gris) en 2003-2004 (sommaire, Winkler et collab., 2008), en 2007 (Winkler, non publié) et en 2010 (concentrée sur la MTZ, Favier et Winkler, 2014). En août 2007, il n'y avait pas de données disponibles aux stations BSA, RdL et IV. Les abréviations des endroits d'échantillonnage sont B: Berthier-sur-Mer, M: Montmagny, SJ: Saint-Jean-Port-Joli, ASA: Anse Sainte-Anne, RdL: Rivière-du-Loup, IV: ile Verte et CB: Cap Brulé.

cette ségrégation spatiale pourrait également être facilitée par différents phénomènes physiques. Dans ce sens, St. Onge-Drouin et collab. (2014) ont mis en évidence que la dispersion lagrangienne pourrait être un des mécanismes physiques susceptibles d'expliquer la ségrégation entre les 2 clades. En se basant sur la modélisation numérique, les auteurs ont révélé la présence de barrières physiques limitant le transport des particules entre les différentes masses d'eau. En effet, entre Montmagny (dominé par le clade A) et Saint-Jean-Port-Joli (dominé par le clade NA), une barrière physique s'installe environ 1 heure après la marée haute et persiste pendant 3 à 4 heures à chaque cycle de marée (St. Onge-Drouin et collab., 2014; figure 4). Ces mécanismes physiques pourraient donc jouer un rôle dans la ségrégation entre ces 2 clades. Cependant, ces mécanismes ne sont pas permanents et n'existent qu'à certains moments du cycle de marée. Aussi, l'absence de barrières physiques permanentes implique que d'autres facteurs, notamment biotiques (p. ex. tolérance aux variations de salinité et de température, disponibilité de nourriture, comportement trophique), viennent s'ajouter aux facteurs physiques pour expliquer le maintien de la ségrégation.

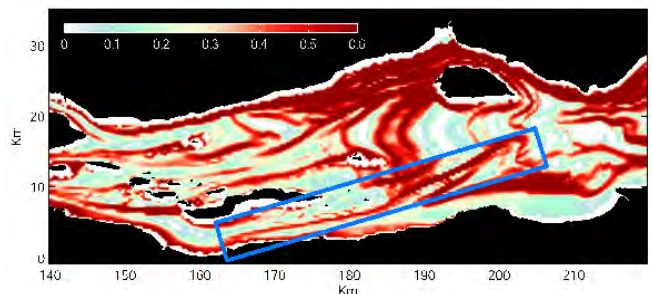


Figure 4. Modélisation numérique des zones de dispersion dans la ZTE. Dans le rectangle, on voit une crête de dispersion importante pour la séparation des clades (extrait de St. Onge-Drouin et collab., 2014).

La tolérance à des variations de salinité et de température

E. affinis a été décrit comme une espèce estuarienne euryhaline et eurytherme (Jeffries, 1962; Laprise et Dodson, 1994). Néanmoins, cette définition ne prend pas en considération les différences potentielles entre les clades de ce

complexe. Des études récentes ont démontré que certains clades pouvaient être présents dans une vaste gamme de salinité et de température, pendant que d'autres semblent avoir une fenêtre environnementale plus limitée (Lee et Petersen, 2002; 2003). Par exemple, le clade A est présent dans les marelles très salées et très chaudes de l'île Verte, ainsi que dans les eaux douces des Grands Lacs et du lac Saint-Jean (Québec). À l'opposé, le clade NA n'est présent que dans les eaux saumâtres et ne semble pas être en mesure de coloniser les eaux douces (Lee, 1999; 2000; Winkler et collab., 2008). Ainsi, la salinité pourrait apparaître comme un des principaux facteurs responsables de cette ségrégation. Cependant, l'étude de Winkler et collab. (2008) portait de 2 années consécutives, de sorte qu'il est possible que la ségrégation spatiale entre les 2 clades ne soit pas permanente dans le temps. En 2007, le patron général de distribution observé dans l'espace et le temps a confirmé la ségrégation, car la distribution des 2 clades était similaire sur une période de mai à août (figure 3, données non publiées). En 2010, une étude utilisant une échelle spatiale plus fine de la répartition de ces 2 clades (28 stations distribuées selon le gradient de salinité sur 60 km; figure 2; Favier et Winkler, 2014) a révélé que le complexe d'espèces d'*E. affinis* n'était finalement pas distribué selon le gradient de salinité.

En juin 2010, le clade A était totalement absent dans la zone échantillonnée, même dans les eaux douces (0,1 psu) et chaudes qu'il domine habituellement. Ainsi, seul le clade NA fut trouvé dans toute la ZTE (soit de 0,1 à 20 psu), alors que ce clade est habituellement associé aux eaux saumâtres (> 0,5 psu). Au mois d'août 2010, les 2 clades étaient présents dans toute la ZTE, et leur ségrégation était beaucoup moins prononcée que par les années précédentes (figure 3; Favier et Winkler, 2014). Dans les eaux douces (0,1 psu) et chaudes (23 °C), le clade A dominait le clade NA, alors que dans les eaux plus salées (12 psu) et plus froides (17 °C), le clade NA dominait le clade A. Par ailleurs, 1 zone où les 2 clades coexistaient a été rencontrée dans les eaux où la salinité variait de 0,35 à 2 psu et les températures de 21,5 à 22,5 °C (figures 3 et 5; Favier et Winkler, 2014). Ces résultats suggèrent que la présence du clade NA dans les eaux de faibles salinités < 0,2 psu (eaux douces) serait possible sous certaines conditions de températures, mais limitée quand celle-ci augmente pendant l'été. Ainsi, cette étude à plus fine échelle a mis en évidence que la variabilité dans la répartition géographique des 2 clades ne peut être expliquée uniquement par la salinité, suggérant que d'autres facteurs, cette fois biotiques, pourraient influencer l'aire de répartition de chacun des clades.

Il a été démontré que la tolérance à la salinité des organismes capables de réguler leur pression osmotique interne telle qu'*E. affinis* (Lee et collab., 2011; 2012), était fonction de la nourriture disponible (Lee et collab., 2013; Hammock et collab., 2016). En laboratoire, Lee et collab. (2013) ont mis en évidence que les individus du clade NA, en eaux douces dans des conditions trophiques limitantes, n'étaient pas en mesure de survivre. Cependant, dans des conditions trophiques optimales, ce clade pouvait se maintenir (Lee et collab., 2013).

En comparant les concentrations de chlorophylle *a* (chl *a*) trouvées dans la ZTE en juin (Favier et Winkler, 2014), on a observé que la présence du clade NA dans la zone d'eau douce (< 0,2 psu, habitat J1) était associée à une concentration en chl *a* plus haute que dans les habitats en aval de la ZTE (figure 5). À l'inverse au mois d'août, le clade NA était absent en eau douce, pauvre en chl *a* (< 0,2 psu, habitat A1), mais très abondant dans l'habitat A2 (0,7 ± 0,1 psu) où il y avait une forte concentration de chl *a* (figure 5).

Les patrons de répartition des 2 clades d'*E. affinis* trouvés au fil des années suggèrent que la dynamique de la coexistence dans la ZTE est plus complexe qu'on ne le soupçonnait auparavant (figure 3). Le clade A pourrait exploiter la totalité de la ZTE; par contre, il domine seulement les habitats d'eau douce entre Berthier et Montmagny et ceux des marelles à île Verte. Le clade NA, quant à lui, se concentre principalement dans la zone saumâtre entre Saint-Jean-Port-Joli et l'anse Sainte-Anne. L'expansion de la répartition du clade NA vers les eaux douces montre que lorsque les conditions trophiques sont suffisantes pour probablement compenser le coût énergétique relié à l'osmorégulation en eaux douces, ce dernier est capable d'utiliser cet habitat. Ainsi, il apparaît que la ségrégation entre ces différents clades serait le résultat d'une combinaison de facteurs extrinsèques (c'est-à-dire les barrières physiques, les gradients de salinité et de température et la disponibilité de nourriture), mais aussi intrinsèques tels que leurs conditions physiologiques et leurs comportements trophiques.

Condition physiologique

Sous certaines conditions, chacun des 2 clades peut occuper et utiliser les habitats d'eau douce et saumâtre présents dans la ZTE. La persistance de leur différenciation génétique permet d'émettre l'hypothèse que les 2 clades se maintiennent dans des zones spécifiques en raison de leurs besoins physiologiques ou trophiques différents.

L'analyse de leurs réserves lipidiques (lipides neutres) a révélé que le clade A, dans l'habitat d'eau douce (Berthier-sur-Mer) et le clade NA, dans l'habitat d'eau saumâtre (Saint-Jean-Port-Joli), expriment des conditions physiologiques similaires (acides gras totaux: 26,2 ± 1,8 µg mg⁻¹ de matière sèche, tableau 1), malgré des conditions environnementales différentes en termes de salinité et de température. Ces résultats suggèrent que chacun des 2 clades soit bien adapté aux conditions environnementales dans leurs habitats respectifs (Cabrol et collab., 2015). Cependant dans le cas d'un changement brusque des conditions environnementales en simulant le passage par advection d'un habitat à un autre, les 2 clades, probablement à cause de leurs différences génétiques, ont montré des capacités d'acclimatation à court terme très différentes (Cabrol, 2013). Le passage des individus du clade A de l'eau douce à l'eau saumâtre n'engendre pas de variations significatives de leurs performances. Par contre, les performances des individus du clade NA sont significativement inférieures dans l'habitat d'eau douce (0,15 ± 0,02 psu, 23 ± 0,13 °C) que dans leurs

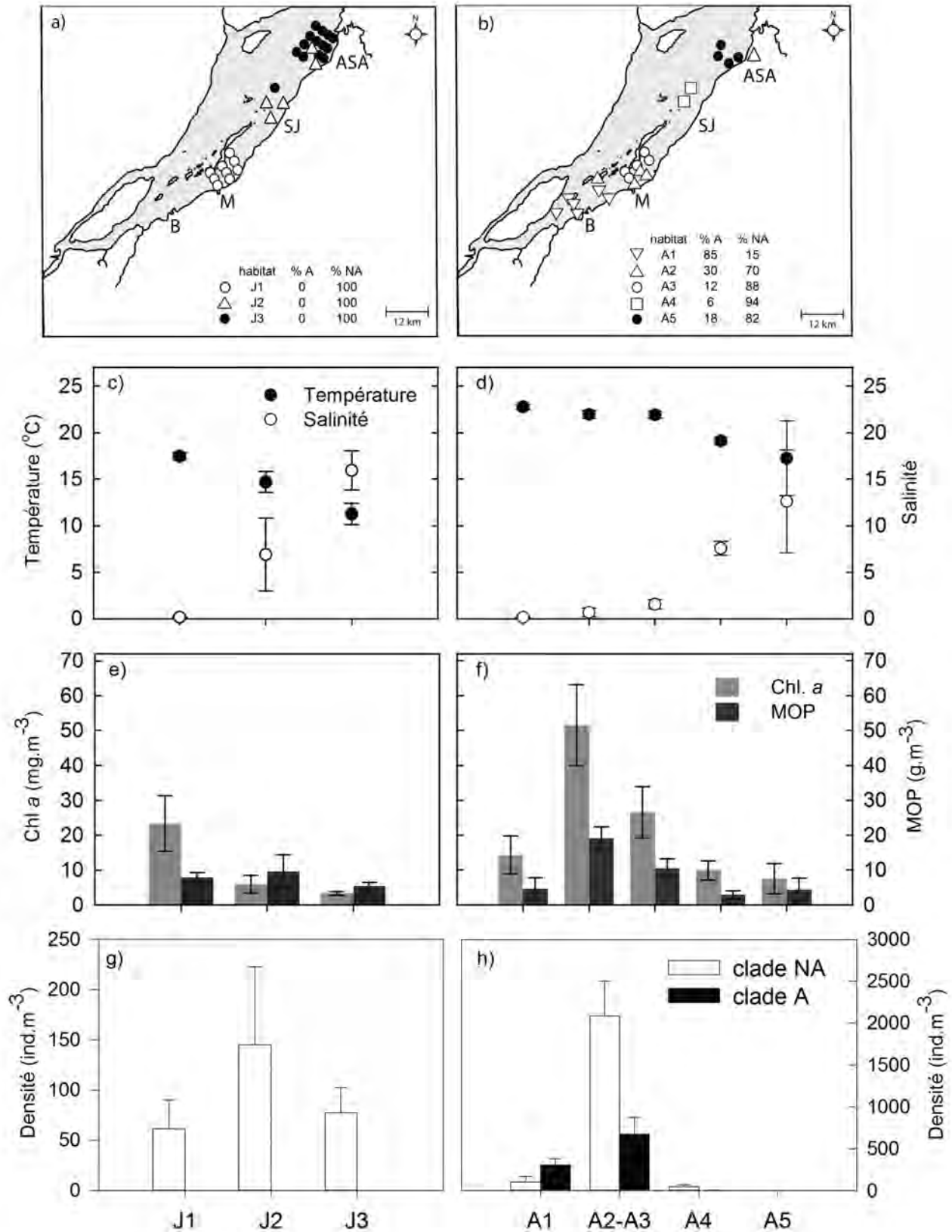


Figure 5. Cartes de répartition des habitats des 2 clades d'*E. affinis* (a) en juin et (b) en août 2010, déterminée selon les propriétés des masses d'eau, soit : la salinité, la température, la chl a et la MOP (c-f) ainsi que la densité des 2 clades d'*E. affinis* dans les habitats retrouvés (g) en juin (J1, J2, J3) et (h) en août 2010 (A1, A2-A3, A4, A5). Les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance de 95 % (extrait et modifié de Favier et Winkler, 2014).

Tableau 1. Composition des principaux groupes d'acides gras (%) retrouvés dans le clade Atlantique et Nord-Atlantique comparés avec ceux trouvés dans la MOP. Les sommes des classes de lipides (AGP et AGS) représentent la somme de tous les acides gras retrouvés (14 AGP et 14 AGS). L'acide docosahexaénoïque (DHA) et l'acide eicosapentaénoïque (EPA) sont indiqués séparément pour souligner leur potentiel comme marqueurs trophiques, respectivement pour les diatomés et les dinoflagellés. Les données des acides gras sont exprimées en % d'acides gras totaux (AGT). Les acides gras totaux sont exprimés en $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ de poids sec. Moyenne \pm erreur type (données extraites et modifiées de Cabrol et collab. (2015)).

	Clade Atlantique (n = 22)	Clade Nord Atlantique	MOP (n = 12)	Marqueurs trophiques	Références
Σ AGP (%)	45 \pm 2,1	46,2 \pm 2,0	20,9 \pm 1,7		
20:5n3 (% EPA)	15,9 \pm 1,1	17,8 \pm 1	4,4 \pm 0,7	Diatomés	Napolitano et collab., 1997
22:6n3 (% DHA)	8,1 \pm 0,8	9,7 \pm 0,6	2,2 \pm 0,6	Dinoflagellés	Budge et Parrish, 1998
Σ AGS (%)	35,4 \pm 2,1	30,1 \pm 1,1	44,9 \pm 2,1	Détritus / bactéries	Fahl et Kattner, 1993
AGT ($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$)	24,1 \pm 2,4	28,1 \pm 2,8	6,8 \pm 1,1		

MOP = matière organique particulaire; AGP = acides gras polyinsaturés; EPA = acide eicosapentaénoïque; DHA = acide docosahexaénoïque; AGS = acides gras saturés; AGT = acides gras totaux

habitats d'origine (saumâtres : 3,7 \pm 0,2 psu, 20-22 °C). Ainsi, le clade A est capable de s'acclimater rapidement à des conditions de salinité plus élevées et possède la capacité physiologique d'utiliser l'habitat du clade NA (Cabrol, 2013). Par exemple, en août 2010, les 2 clades coexistaient malgré l'abondance 10 fois plus faible du clade A (4 ind·m⁻³) que du clade NA (40 ind·m⁻³; Favier et Winkler, 2014). À l'inverse, le changement d'habitat du clade NA a été caractérisé par un fort taux de mortalité (c'est-à-dire 27 %) et une diminution, voire dans certains cas, une inhibition de la ponte chez les femelles, malgré des conditions trophiques favorables dans l'habitat d'eau douce (Cabrol, 2013). Bien que la quantité de réserves lipidiques des survivants du clade NA à la fin de l'expérience fût similaire dans leur habitat d'origine et dans l'habitat de transplantation, il se peut que l'énergie habituellement allouée à la ponte ait été allouée à la survie des individus. Dans ce sens, Souissi et collab. (2014) ont montré que, chez les populations d'*E. affinis* présentes en Europe, les femelles étaient capables d'utiliser leurs réserves lipidiques afin de compenser une forte variation de leurs conditions environnementales. En même temps, une diminution significative de leurs performances reproductives a été observée. Il est donc possible que l'inhibition de la ponte chez les individus du clade NA dans l'habitat d'eau douce représente un compromis entre les capacités reproductives et la survie sur une courte période de temps. Aussi, il est possible que la ségrégation spatiale entre ces 2 clades soit en partie attribuable à leur capacité d'osmorégulation (Lee et collab., 2011; 2012; 2013) et leur tolérance à des plus hautes températures (Beyrend-Dur et collab., 2009; Souissi et collab., 2014).

Comportement trophique et alimentation

La distribution des 2 clades d'*E. affinis* semble donc influencée par la salinité, mais aussi par la disponibilité en nourriture. En général, *E. affinis* a un comportement alimentaire considéré comme omnivore opportuniste (Hoffman et

collab., 2008). Cela lui permet de se nourrir aussi bien du phytoplancton (Hughes et collab., 2000 Tackx et collab., 2003), que du nanoplancton autotrophe et hétérotrophe (Gasparini et Castel, 1997), du microzooplancton (Hoffman et collab., 2008; Feike et Heerkloss, 2009), des détritus (Heinle et collab., 1977) et du bactérioplancton (Boak et Goulder, 1983). Plus spécifiquement dans la ZTE, plusieurs études (Martineau et collab., 2004; Pommier et collab., 2010; Favier, 2013; Cabrol et collab., 2015) ont mis en évidence qu'*E. affinis* est omnivore, avec cependant un comportement trophique sélectif en faveur du phytoplancton. La composition en acides gras des réserves lipidiques étant directement influencée par l'alimentation, les acides gras peuvent être utilisés comme marqueurs trophiques pour identifier les sources de nourriture consommée (Dalsgaard et collab., 2003).

La quantité d'acide docosahexaénoïque (DHA) et d'acide eicosapentaénoïque (EPA), qui sont des acides gras (AG) caractéristiques, respectivement, des dinoflagellés et des diatomées, était beaucoup plus élevée dans les lipides de réserve de chaque clade d'*E. affinis* par rapport à l'ensemble de la matière organique particulaire (MOP) disponible dans chaque habitat (tableau 1; Cabrol et collab., 2015). Ces résultats confirment les hypothèses basées sur l'analyse des isotopes stables du carbone et de l'azote, qu'*E. affinis* est trophiquement découplé de la MOP (Martineau et collab., 2004; Barnard et collab., 2006; Favier, 2013). De plus, Favier (2013) a trouvé des différences entre le $\delta^{13}\text{C}$ de la MOP et les 2 clades d'*E. affinis* supérieures au fractionnement théorique de ≈ 1 ‰ entre les niveaux trophiques (McCutchan, 2003; Chew et collab., 2012). Cela indique que les 2 clades ne consommeraient pas la totalité de la MOP disponible (dominée par les détritus), mais sélectionneraient principalement le phytoplancton.

Spatialement, la signature isotopique $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ de la MOP dans la ZTE n'était pas significativement différente entre les habitats d'eaux douces et d'eaux saumâtres (figure 6).

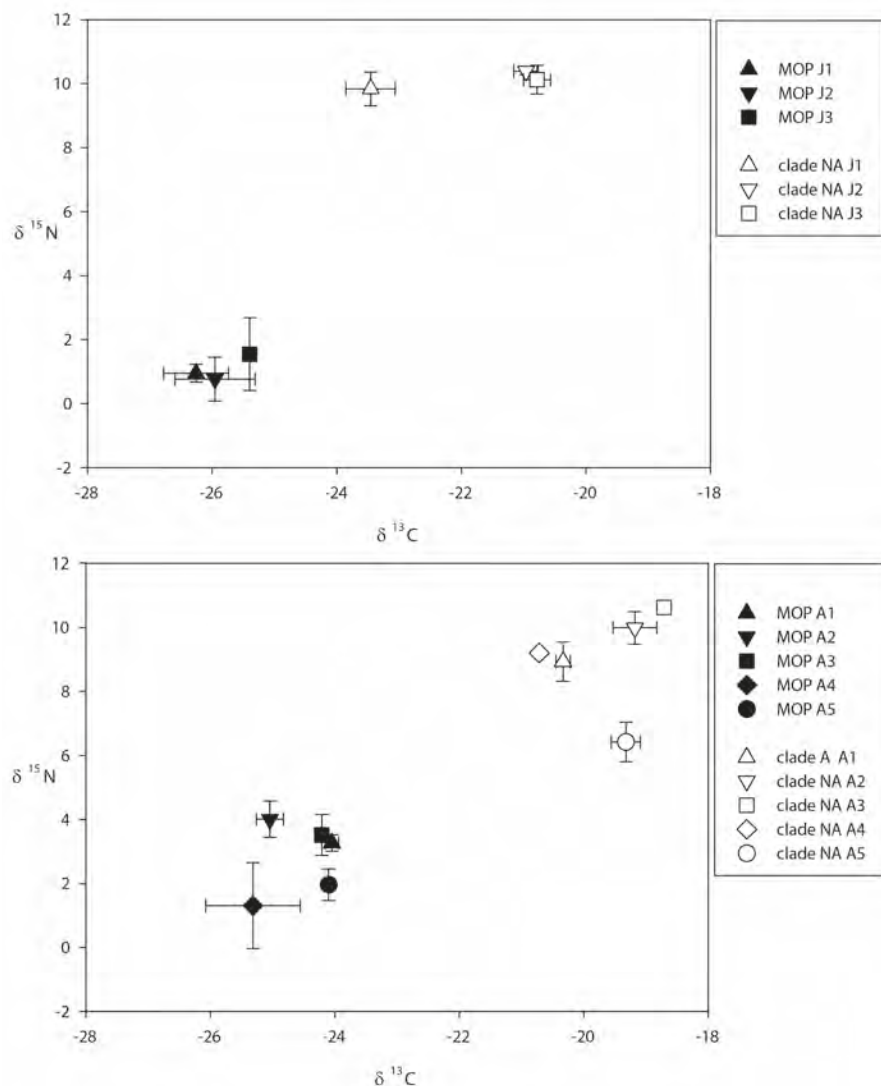


Figure 6. Rapports des isotopes stables $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ de la matière organique particulaire (MOP) et des clades Atlantique (clade A) et Nord-Atlantique (clade NA) dans les différents habitats (1-5) en juin (J1-J3) et en août (A1-A5) 2010 (d'après Favier, 2014).

Cependant *E. affinis* a montré des différences intra- et interclades significatives dans leurs $\delta^{13}\text{C}$ (figure 6; Favier 2013). Un enrichissement du $\delta^{13}\text{C}$ a été enregistré chez les clades d'*E. affinis* présents dans les habitats d'eau saumâtre comparés aux clades présents dans l'habitat d'eau douce. Cette différence suggère une certaine sélectivité sur le phytoplancton. Malgré, qu'aucune donnée du $\delta^{13}\text{C}$ phytoplanctonique ne soit disponible pour l'année 2010, les données de Barnard et collab. (2006) montrent que les signatures du $\delta^{13}\text{C}$ algal se distinguent entre l'eau douce (-28 ‰ à -24 ‰) et l'eau saumâtre (-20 ‰ à -19 ‰) dans la ZTE. De plus, le $\delta^{13}\text{C}$ du clade NA (-23,5 ‰ \pm 0,5 ‰; figure 6) dans l'habitat d'eau douce, en juin 2010, s'approchait beaucoup de la signature algale d'eau douce (Favier, 2013). Cependant, toutes autres signatures du $\delta^{13}\text{C}$ du clade NA dans les habitats d'eau saumâtre en juin (-20,6 ‰ \pm 0,3 ‰) et août (-18,5 ‰ \pm 0,1 ‰ à 20,5 ‰ \pm 1 ‰; figure 6)

étaient similaires à la source de carbone algale des eaux saumâtres (Favier, 2013).

Bien que ces différences induites par la source alimentaire disponible ou par la différence de régime alimentaire interclades ne soient pas quantifiables (Favier, 2013), la source alimentaire semble avoir un effet significatif sur la signature isotopique du carbone d'*E. affinis*. En effet, dans les habitats en amont de la ZTE, le $\delta^{13}\text{C}$ tend à s'appauvrir indépendamment du clade.

Le complexe d'*E. affinis* dans son ensemble est considéré comme omnivore, tel que le montre sa position trophique de niveau 3 (Barnard et collab., 2006). Ces résultats ont été confirmés pour les 2 clades A et NA en 2010. En effet, il n'y avait pas de différences significatives de la signature isotopique $\delta^{15}\text{N}$ entre les 2 clades ni les habitats (excepté *E. affinis* dans l'habitat A5; figure 6; Favier, 2013). Cependant au niveau qualitatif, les 2 clades se distinguent dans leur comportement trophique. Les profils en acides gras se différencient entre les clades d'*E. affinis*, suggérant des diètes différentes, malgré des sources d'alimentation potentielles similaires dans les 2 habitats (tableau 1; Cabrol et collab., 2015). Bien que les 2 clades montrent une forte accumulation des acides gras marqueurs trophiques des algues, leur profil lipidique diverge (tableau 1). Le clade A semble s'alimenter en plus grande proportion de matière organique (détritus) et de bactéries (libres ou attachées) que le clade NA (tableau 1). Cette différence alimentaire pourrait être attribuable aux gains énergétiques liés à une alimentation plus riche en acide gras saturée (AGS), plutôt qu'en acides gras polyinsaturés (AGP). En effet, les AGS étant plus facilement mobilisables que les AGP, ils permettent un gain énergétique (Langdon et Waldock, 1981). Comparativement aux algues qui sont majoritairement composées d'AGP (Johns et collab., 1979; Volkman et collab., 1989), les détritus et les bactéries sont plus riches en AGS (Perry et collab., 1979; Galap et collab., 1999; Meziane et collab., 1997, 2006). Or, le coût énergétique relié à l'osmorégulation en eau douce étant supérieur à celui relié à l'utilisation d'habitat d'eau saumâtre (Lee et collab., 2011; 2012; 2013), il est probable que le clade A s'alimente préférentiellement sur ces composés pour compenser les

besoins énergétiques plus grands reliés à l'osmorégulation en eau douce, comparativement au clade NA, présent en eau saumâtre (Cabrol et collab., 2015)

Rôle dans le réseau trophique

Les évolutions spatio-temporelles de la population *E. affinis* reflètent son importance dans le réseau trophique de la ZTE. La pression de broutage exercée par le complexe d'espèces *E. affinis* est capable de réduire la biomasse autotrophe dans les eaux saumâtres (Winkler et collab., 2003). Par ailleurs, la diminution des populations d'*E. affinis* (tous clades confondus) durant la période estivale, suivie de l'augmentation de celle-ci à l'automne, semble liée à la dynamique des prédateurs (Laprise et Dodson, 1994). Les prédateurs les plus importants du zooplancton dans la ZTE du Saint-Laurent sont les 2 espèces sympatriques de mysidacés, *Mysis stenolepis* et *Neomysis americana*. *M. stenolepis* s'alimentent préférentiellement sur les jeunes stades (copépodites) d'*E. affinis*, tandis que la prédation de *N. americana*, qui est de plus petite taille, vise principalement les nauplii d'*E. affinis* (Winkler et collab., 2003; 2007). De plus, *E. affinis* est une proie importante pour de nombreuses espèces de poissons utilisant la ZTE comme zone d'alevinage (Sirois et Dodson, 2000; Yoneyama, 2004; Martino et Houde, 2013), notamment l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) et le poulamon (*Microgadus tomcod*) et plus récemment, le bar rayé (*Morone saxatilis*). Durant le mois de juin, les larves de l'éperlan et du poulamon se trouvent dans l'assemblage zooplanctonique estuarien (Dodson et collab., 1989; Laprise et Dodson, 1990; Sirois et Dodson, 2000; Yoneyama 2004). En grandissant, le poulamon migre en aval de la ZTE vers des eaux plus froides et plus salées (Couillard et collab., 2011). La migration de l'éperlan vers la partie amont de l'ZTE est liée à une augmentation significative de la disponibilité de ces proies (Sirois et Dodson, 2000; Yoneyama 2004). Les larves d'éperlan modifient leur régime alimentaire en fonction de leur taille au cours de l'été, en choisissant les copépodites d'*E. affinis* en début d'été et des stades adultes plus tard dans la saison (Yoneyama, 2004). Lorsqu'il atteint sa taille adulte, l'éperlan arc-en-ciel se nourrit principalement de mysidacés, d'amphipodes et de crevettes (Lecomte et Dodson, 2004; 2005). Par ailleurs, les larves de poulamon montrent toujours une préférence marquée pour les adultes d'*E. affinis* (Yoneyama, 2004). Malgré cette forte relation trophique, il est peu probable que le taux d'ingestion de ces 2 espèces de poissons ait un impact marqué sur la biomasse des copépodes (Winkler et collab., 2003). Cependant, la question sur la quantification du transfert d'énergie de chaque clade d'*E. affinis* vers les niveaux trophiques supérieurs dans le ZTE se pose pour mieux comprendre le fonctionnement de cette zone d'alevinage.

Conclusion

Le complexe d'espèces d'*E. affinis*, qui démontre une hétérogénéité génétique considérable, se distribue spatialement dans la zone de transition selon les conditions environnementales et ses capacités écophysologiques. Cela résulte en une ségrégation géographique des 2 clades en général, où chacun d'eux domine dans des habitats différents. Bien que l'activité nataoire ainsi que l'hydrodynamisme dans la ZTE puissent aider à garder chacun des 2 clades dans des habitats distincts, ces derniers semblent exploiter les habitats en fonction de leurs tolérances physiologiques vis-à-vis de la salinité et de la disponibilité des ressources trophiques. Ainsi, le clade A, dominant dans les eaux douces (< 0,2 psu) mais présent tout au long de l'ETZ, se distingue du clade NA par son comportement trophique. En effet, il semble s'alimenter davantage ou, du moins, accumuler des acides gras saturés (plus riches en énergie) à partir principalement des détritiques et des bactéries, comparativement au clade NA. Cette différence de comportement alimentaire, en l'absence de différence entre les habitats, peut être causée par des besoins physiologiques plus grands afin de compenser les coûts énergétiques liés à l'osmorégulation en eau douce. Cependant, le clade NA domine dans les eaux saumâtres de l'ETZ. Sa répartition semble limitée par les faibles salinités (< 0,2 psu), les températures élevées en été et la disponibilité en phytoplancton. Bien que les 2 clades démontrent une alimentation omnivore en se situant sur le troisième niveau trophique, elle est sélective et fortement axée sur le phytoplancton. Nos études ont démontré une séparation des niches écologiques des 2 clades à l'échelle spatiale, mais aussi temporelle. La coexistence des 2 clades du complexe d'*E. affinis* dans l'ZTE paraît être basée sur les interactions entre ces différents facteurs intrinsèques et extrinsèques, ce qui confirme le paradoxe du plancton (Hutchinson, 1961). Par contre, les 2 clades d'*E. affinis* ne répondent pas au paradigme écomorphologie (Wainwright et Reilly, 1994) puisqu'il n'existe pas d'exclusion compétitive évidente, malgré une similarité morphologique entre les 2 clades bien qu'une différenciation écologique semble présente.

Remerciements

Nous aimerions remercier Catherine Lambert Koizumi qui nous a invités à contribuer à ce numéro thématique sur le fleuve et le golfe du Saint-Laurent. Nous remercions chaleureusement nos collaborateurs qui ont participé aux recherches présentées ici. Les études étaient principalement financées par les fonds du CRSNG à la découverte de GW ainsi que par des fonds du CRSNG projets stratégiques (un sur la moule zébrée et un sur la biodiversité des organismes holoplanctoniques). Cela représente une contribution au regroupement stratégique du FRQNT Québec-Océan. ◀

Références

- ALEKSEEV, V.R. et A. SOUISSI, 2011. A new species within the *Eurytemora affinis* complex (Copepoda: Calanoida) from the Atlantic Coast of USA, with observations on eight morphologically different European populations. *Zootaxa*, 2767 : 41-56.
- BARNARD, C., C. MARTINEAU, J.-J. FRENETTE, J.-J. DODSON et V.-F. WARWICK, 2006. Trophic position of zebra mussel veligers and their use of dissolved organic carbon. *Limnology and Oceanography*, 51 : 1473-1484.
- BEYREND-DUR, D., S. SOUISSI, D. DEVREKER, G. WINKLER et J.-S. HWANG, 2009. Life cycle traits of two transatlantic populations on *Eurytemora affinis* (Copepoda, Calanoida): Salinity effect. *Journal of Plankton Research*, 31 : 713-728.
- BILTON, D.T., J. PAULA et J.D.D. BISHOP, 2002. Dispersal, genetic differentiation and speciation in estuarine organisms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55 : 937-952.
- BOAK, A.C. et R. GOULDER, 1983. Bacterioplankton in the diet of the calanoid copepod *Eurytemora* sp. in the Humber estuary. *Marine Biology*, 73 : 139-149.
- BOUSFIELD, E.L., G. FILTEAU, M. O'NEIL et P. GENTES, 1975. Population dynamics of zooplankton in the middle St. Lawrence estuary. *Estuary Research*, 1 : 325-351.
- BUDGE, S.M. et C.-C. PARRISH, 1998. Lipid biogeochemistry of plankton, settling matter and sediments in Trinity Bay, Newfoundland. *Fatty acids and Organic Geochemistry*, 29 : 1547-1559.
- CABROL, J., 2013. Étude de l'alimentation et de la condition physiologique du complexe d'espèces cryptiques d'*Eurytemora affinis* dans la zone de transition estuarienne du Saint-Laurent. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 148 p.
- CABROL, J., G. WINKLER et R. TREMBLAY, 2015. Physiological condition and differential feeding behaviour in the cryptic species complex *Eurytemora affinis* in the St. Lawrence estuary. *Journal of Plankton Research*, 37 : 372-387.
- CHEW, L.W., V.-C. CHONG, K. TANAKA et A. SASEKUMAR, 2012. Phytoplankton fuels? The energy flow from zooplankton to small nekton in turbid mangrove waters. *Marine Ecology Progress Series*, 469 : 7-24.
- CLOERN, J.E., 2007. Habitat connectivity and ecosystem productivity: Implications from a simple model. *American Naturalist*, 169 : E21-E33.
- COUILLARD, M., G. CABANA, J. DERY, G. DAIGLE et J.J. DODSON, 2011. Ontogenetic habitat shifts of the Atlantic tomcod (*Microgadus tomcod*) across an estuarine transition zone. *Estuaries and Coasts*, 34 : 1234-1245.
- DALSGAARD, J., M. ST-JOHN, G. KATTNER, D. MÜLLER-NAVARRA et W. HAGEN, 2003. Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment: A review. *Advances in Marine Biology*, 46 : 225-340.
- DAVID, V., B. SAUTOUR et P. CHARDY, 2007. The paradox between the long-term decrease of egg mass size of the calanoid copepod *Eurytemora affinis* and its long-term constant abundance in a highly turbid estuary (Gironde estuary, France). *Journal of Plankton Research*, 29 : 377-389.
- DEVREKER, D., S. SOUISSI, J.-C. MOLINERO, D. BEYREND-DUR, F. GOMEZ et J. FORGET-LERAY, 2010. Tidal and annual variability of the population structure of *Eurytemora affinis* in the middle part of the Seine estuary during 2005. *Estuaries Coastal and Shelf Science*, 89 : 245-255.
- DODSON, J.-J., J.-C. DAUVIN, G.-R. INGRAM et B. D'ANDLEJAN, 1989. Abundance of larval rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in relation to the maximum turbidity zone and associated macroplanktonic fauna of the Middle St. Lawrence Estuary. *Estuaries*, 12 : 66-81.
- FAHL, K. et G. KATTNER, 1993. Lipid-content and fatty-acid composition of algal communities in sea-ice and water from the Weddell sea (Antarctica). *Polar Biology*, 13 : 405-409.
- FAVIER, J.-B., 2013. Détermination de la niche écologique du complexe d'espèces *Eurytemora affinis* dans la zone de transition estuarienne du Saint-Laurent. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 124 p.
- FAVIER, J.-B. et G. WINKLER, 2014. Coexistence, distribution patterns and habitat utilization of the sibling species complex *Eurytemora affinis* in the St. Lawrence estuarine transition zone. *Journal of Plankton Research*, 36 : 1247-1261.
- FEIKE, M. et R. HEERKLOSS, 2009. Does *Eurytemora affinis* (Copepoda) control the population growth of *Keratella cochlearis* (Rotifera) in the brackish water Darß – Zingst Lagoon (southern Baltic Sea)? *Journal of Plankton Research*, 31 : 571-576.
- FREDERIKSEN, M., M. EDWARDS, A.-J. RICHARDSON, N.-C. HALLIDAY et S. WANLESS, 2006. From plankton to top predators: Bottom-up control of a marine food web across four trophic levels. *Journal of Animal Ecology*, 75 : 1259-1268.
- FRENETTE, J.-J., W.-F. VINCENT, J.-J. DODSON et C. LOVEJOY, 1995. Size-dependent variations in phytoplankton and protozoan community structure across the St. Lawrence transition region. *Marine Ecology Progress Series*, 120 : 99-110.
- GALAP, C., P. NETCHITAILO et F. LEBOULENFER, 1999. Variations of fatty acid contents in selected tissues of the female dog cockle (*Glycymeris glycymeris* L., Mollusca, Bivalvia) during the annual cycle. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 122 : 241-254.
- GASPARINI, S. et J. CASTEL, 1997. Autotrophic and heterotrophic nanoplankton in the diet of the estuarine copepods *Eurytemora affinis* and *Acartia bifilosa*. *Journal of Plankton Research*, 19 : 877-890.
- HAMMOCK, B.G., S. LESMEISTER, I. FLORES, G.S. BRADBURY, F.H. HAMMOCK et S.J. TEH, 2016. Low food availability narrows the tolerance of the copepod *Eurytemora affinis* to salinity, but not to temperature. *Estuaries and Coasts*, 39 : 189-200.
- HARDIN, G., 1960. The competitive exclusion principle. *Science*, 131 : 1292-1297.
- HEINLE, D.-R., R.-P. HARRIS, J.-F. USTACH et D.-A. FLEMER, 1977. Detritus as food for estuarine copepods. *Marine Biology*, 40 : 341-353.
- HOFFMAN, J.C., D.-A. BRONK et J.-E. OLNEY, 2008. Organic matter sources supporting lower food web production in the tidal freshwater portion of the York River estuary, Virginia. *Estuaries and Coasts*, 31 : 898-911.
- HOUGH, A.-R. et E. NAYLOR, 1992. Endogenous rhythms of circatidal swimming activity in the estuarine copepod *Eurytemora affinis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 161 : 27-32.
- HUGHES, J.-E., L.-A. DEEGAN, B.-J. PETERSON, R.-M. HOLMES et B. FRY, 2000. Nitrogen flow through the food web in the oligohaline. *Ecology*, 81 : 433-452.
- HUTCHINSON, G.-E., 1961. The paradox of the plankton. *American Naturalist*, 95 : 137-145.
- JEFFRIES, I.-P., 1962. Salinity-space distribution of the estuarine copepod genus *Eurytemora*. *International Review of Hydrobiology*, 47 : 291-300.
- JOHNS, R.B., P.-D. NICHOLS et G.-J. PERRY, 1979. Fatty acid composition of ten marine algae from Australian water. *Phytochemistry*, 18 : 799-802.
- KIMMEL, D.-G., W.-D. MILLER et M.-R. ROMAN, 2006. Regional scale climate forcing of mesozooplankton dynamics in Chesapeake Bay. *Estuaries and Coasts*, 29 : 375-387.
- KIMMERER, W.-J., J.-R. BURAU et W.-A. BENNETT, 1998. Tidally-oriented vertical migration and position maintenance of zooplankton in a temperate estuary. *Limnology and Oceanography*, 43 : 1697-1709.
- KNOWLTON, N., 1993. Sibling species in the sea. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 24 : 189-216.
- KNOWLTON, N., 2000. Molecular genetic analyses of species boundaries in the sea. *Hydrobiologia*, 420 : 73-90.
- LAAKMANN, S., H. AUDEL et M. KOCHZIUS, 2012. Evolution in the deep sea: Biological traits, ecology and phylogenetics of pelagic copepods. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 65 : 535-546.
- LANGDON, C.-J. et M.-I. WALDOCK, 1981. The effect of algal and artificial diets on the growth and fatty acid composition of *Crassostrea gigas spat*. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 61 : 431-440.
- LAPRISE, R. et J.-J. DODSON, 1990. The mechanism of retention of pelagic tomcod, *Microgadus tomcod*, larvae and juveniles in the well-mixed part of the St. Lawrence Estuary. *Environmental Biology of Fishes*, 29 : 293-302.
- LAPRISE, R. et J.-J. DODSON, 1994. Environmental variability as a factor controlling spatial patterns in distribution and species diversity of zooplankton in the St. Lawrence Estuary. *Marine Ecology Progress Series*, 107 : 67-81.
- LECOMTE, F. et J.-J. DODSON, 2004. Role of early life-history constraints and resource polymorphism in the segregation of sympatric populations of an estuarine fish. *Evolutionary Ecology Research*, 6 : 631-658.

- LECOMTE, F. et J.-J. DODSON, 2005. Distinguishing trophic and habitat partitioning among sympatric populations of the estuarine fish *Osmerus mordax* Mitchell. *Journal of Fish Biology*, 66: 1601-1623.
- LEE, C.-E., 1999. Rapid and repeated invasions of fresh water by the copepod *Eurytemora affinis*. *Evolution*, 53: 1423-1434.
- LEE, C.-E., 2000. Global phylogeography of a cryptic copepod species complex and reproductive isolation between genetically proximate "populations." *Evolution*, 54: 2014-2027.
- LEE, C.-E. et B.-W. FROST, 2002. Morphological stasis in the *Eurytemora affinis* species complex (Copepoda: Temoridae). *Hydrobiologia*, 480: 111-128.
- LEE, C.-E. et C.-H. PETERSEN, 2002. Genotype-by-environment interaction for salinity tolerance in the freshwater invading copepod *Eurytemora affinis*. *Physiological and Biochemical Zoology*, 75: 335-344.
- LEE, C.-E. et C.-H. PETERSON, 2003. Effect of developmental acclimation on adult salinity tolerance in the freshwater-invading copepod *Eurytemora affinis*. *Physiological and Biochemical Zoology*, 76: 296-301.
- LEE, C.-E., M. KIERGAARD, G.-W. GELEMBIUK, B.-D. EADS et M. POSAVI, 2011. Pumping ions: Rapid parallel evolution of ionic regulation following habitat invasions. *Evolution*, 65: 2229-2244.
- LEE, C.-E., M. POSAVI et G. CHARMANTIER, 2012. Rapid evolution of body fluid regulation following independent invasions into freshwater habitats. *Journal of Evolutionary Biology*, 25: 625-633.
- LEE, C.-E., W.-E. MOSS, N. OLSON, C.-K. FONGCHING, Y.-M. CHANG et K.-E. JOHNSON, 2013. Feasting in fresh water: Impacts of food concentration on freshwater tolerance and the evolution of food × salinity response during the expansion from saline into fresh water habitats. *Evolutionary Applications*, 6: 673-689.
- MARTINEAU, C., W.-F. VINCENT, J.-J. FRENETTE et J.-J. DODSON, 2004. Primary consumers and particulate organic matter: Isotopic evidence of strong selectivity in the estuarine transition zone. *Limnology and Oceanography*, 49: 1679-1686.
- MARTINO, E.-J. et E.-D. HOUDE, 2010. Recruitment of striped bass in Chesapeake Bay: Spatial and temporal environmental variability and availability of zooplankton prey. *Marine Ecology Progress Series*, 409: 213-228, doi:10.3354/meps08586.
- MCCUTCHAN, J.-H., W.-M. LEWIS, C. KENDALL et C.-C. MCGRATH, 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*, 102: 378-390.
- MEZIANE, T., L. BODINEAU, C. RETIÈRE et G. THOURNELIN, 1997. The use of lipid markers to examine sources of organic matter and its incorporation into food web of the intertidal salt marsh-flat ecosystem, Mont Saint Michel Bay, France. *Journal of Sea Research*, 38: 47-58.
- MEZIANE, T., F. D'AGATA et S.-Y. LEE, 2006. Fate of mangrove organic matter along a subtropical estuary: Small-scale exportation and contribution to the food of crab communities. *Marine Ecology Progress Series*, 312: 15-27.
- MOUNY, P., J.-C. DAUVIN, C. BESSINETON, B. ELKAIM et S. SIMON, 1998. Biological components from the Seine estuary: First results. *Hydrobiologia*, 374: 333-347.
- NAPOLITANO, G.-E., R.-J. POLLERO, A.-M. GAYOSO, B.A. MACDONALD et R.J. THOMPSON, 1997. Fatty acids as trophic markers of phytoplankton blooms in the Bahia Blanca estuary (Buenos Aires, Argentina) and in Trinity Bay (Newfoundland, Canada). *Biochemical Systematics and Ecology*, 25: 739-755.
- PAULY, D., V. CHRISTENSEN, V. DALSGAARD, R. FROESE et F. TORRES Jr, 1998. Fishing down marine food webs. *Science*, 279: 860-863.
- PERRY, G.J., J.K. VOLKMAN, R.B. JOHNS et H.J. BAVOR, 1979. Fatty acids of bacterial origin in contemporary marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43: 1715-1725.
- POMMIER, J., J.-J. FRENETTE et H. GLÉMÉT, 2010. Relating RNA:DNA ratio in *Eurytemora affinis* to seston fatty acids in a highly dynamic environment. *Marine Ecology Progress Series*, 400: 143-154.
- RUNGE, J.-A. et Y. SIMARD, 1990. Zooplankton of the St. Lawrence estuary: The imprint of physical processes on its composition distribution. Dans: EL-SABH M.I. et N. SILVERBERG (édit.). *Oceanography of a large-scale estuarine system: The St. Lawrence*. Springer, New York, Coastal and Estuary Studies, 39, p. 296-320.
- SCHMITT, F.G., D. DEVREKER, G. DUR et S. SOUISSI, 2011. Direct evidence of tidally oriented behavior of the copepod *Eurytemora affinis* in the Seine estuary. *Ecological Research*, 26: 773-780.
- SCHLUTER, D., 2001. Ecology and the origin of species. *Trends in Ecology & Evolution*, 16: 372-380.
- SIMONS, R.-D., S.-G. MONISMITH, L.-E. JOHNSON, G. WINKLER et F.-J. SAUCIER, 2006. Zooplankton retention in the estuarine transition zone of the St. Lawrence estuary. *Limnology and Oceanography*, 51: 2621-2631.
- SIMONS, R.-D., S.-G. MONISMITH, F.-J. SAUCIER, L.-E. JOHNSON et G. WINKLER, 2010. Modeling stratification and baroclinic flow in the estuarine transition zone of the St. Lawrence Estuary. *Atmosphere-Ocean*, 48: 132-146.
- SIROIS, P. et J.-J. DODSON, 2000. Influence of turbidity, food density and parasites on the ingestion and growth of larval rainbow smelt *Osmerus mordax* in an estuarine turbidity maximum. *Marine Ecology Progress Series*, 193: 167-179.
- SLATER, S.-B. et R.-D. BAXTER, 2014. Diet, prey selection, and body condition of age-0 Delta Smelt, *Hypomesus transpacificus*, in the Upper San Francisco Estuary. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 12: 1-24.
- SOUISSI, A., S. SOUISSI et B.W. HANSEN, 2014. Physiological improvement in the copepod *Eurytemora affinis* through thermal and multi generational selection. *Aquaculture Research*, DOI: 10.1111/are.12675.
- ST-ONGE-DROUIN, S., G. WINKLER, J.-F. DUMAIS et S. SENNEVILLE, 2014. Hydrodynamics and spatial separation between two clades of a copepod species complex. *Journal of Marine Systems*, 129: 334-342. doi: 10.1016/j.jmarsys.2013.07.014.
- TACKX, M.-L.-M., P.-J.-M. HERMAN, S. GASPARINI, X. IRIGOIEN, R. BILLIONES et M.-H. DARO, 2003. Selective feeding of *Eurytemora affinis* (Copepoda, Calanoida) in temperate estuaries: Model and field observations. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 56: 305-311.
- TACKX, M.-L.-M., N. de PAUW, R. VAN MIEGHEM, F. AZÉMAR, A. HANNOUTI, S. VAN DAMME, F. FIEERS, N. DARO et P. MEIRE, 2004. Zooplankton in the Schelde estuary, Belgium and The Netherlands. Spatial and temporal patterns. *Journal of Plankton Research*, 26: 133-141.
- VINCENT, W.-F. et J.-J. DODSON, 1999. The St. Lawrence River, Canada-USA: The need for an ecosystem-level understanding of large rivers. *Japanese Journal of Limnology*, 60: 29-50.
- VOLKMAN, J.-K., S.-W. JEFFREY, P.-D. NICHOLS, G.-I. ROGERS et C.-D. GARLAND, 1989. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 128: 219-240.
- WAINWRIGHT, P.C. et S.M. REILLY, 1994. *Ecological morphology: Integrative organismal biology*. University of Chicago Press, Chicago, 376 p.
- WINKLER, G., J.-J. DODSON, N. BERTRAND, D. THIVIERGE et W.-F. VINCENT, 2003. Trophic coupling across the St. Lawrence River estuarine transition zone. *Marine Ecology Progress Series*, 251: 59-73.
- WINKLER, G., P. SIROIS, L.-E. JOHNSON et J.-J. DODSON, 2005. Invasion of an estuarine transition zone by *Dreissena polymorpha* veligers had no detectable effect on zooplankton community structure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62: 578-592.
- WINKLER, G., C. MARTINEAU, J.-J. DODSON, W.-F. VINCENT et L.-E. JOHNSON, 2007. Trophic dynamics of two sympatric mysid species in an estuarine transition zone. *Marine Ecology Progress Series*, 332: 171-187.
- WINKLER, G., J.-J. DODSON et C.-E. LEE, 2008. Heterogeneity within the native range: Population genetic analyses of sympatric invasive and non-invasive clades of the freshwater invading *Eurytemora affinis*. *Molecular Ecology*, 17: 415-430.
- YONEYAMA, H., 2004. Impact écologique des larves de la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) sur les larves de poisson de la zone de turbidité maximale de l'estuaire du Saint-Laurent. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 54 p.

Comprendre la prolifération de la renouée du Japon sur les rives du Saint-Laurent

Valérie Aubin et Sylvie Bibeau

Résumé

Les rives et le fleuve Saint-Laurent sont de plus en plus colonisés par des espèces exotiques envahissantes, dont la renouée du Japon (*Fallopia japonica*) qui bloque peu à peu les accès à l'eau et bouleverse l'équilibre naturel. Afin de prévenir sa prolifération, le Comité ZIP (Zone d'intervention prioritaire) Jacques-Cartier a étudié sa stratégie de croissance sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal. La superficie et la densité des massifs de renouée du Japon ont eu tendance à prendre de l'ampleur entre 2012 et 2013. La croissance de la plante fut plus hâtive sur les rives du fleuve que dans les friches et les boisés voisins. La richesse spécifique d'herbacées a diminué dans les massifs de renouée pendant la saison estivale jusqu'à devenir monospécifique. Une diminution de la richesse d'arthropodes récoltés dans les massifs illustre la modification du réseau trophique que cause cette plante envahissante. Ces impacts menacent l'intégrité écologique des milieux humides des rives du Saint-Laurent.

MOTS CLÉS : espèce envahissante, *Fallopia japonica*, insectes, milieux humides, fleuve Saint-Laurent

Abstract

The St. Lawrence River (North America) and its banks are becoming increasingly colonized by invasive exotic plant species. One of these, the Japanese knotweed (*Fallopia japonica*), is gradually blocking access to water and disrupting riparian ecosystems. To help prevent its spread, the Jacques-Cartier ZIP (Zones d'intervention prioritaire — Areas of Prime Concern) Committee studied its growth strategy within the metropolitan area of Montreal. During the study period (2012 and 2013), stands of Japanese knotweed showed an annual increase in area and density, and growth started earlier in riparian areas than in the other habitats types studied. The species richness of herbaceous plants within Japanese knotweed stands decreased over time, becoming monospecific after a few years. A decrease in the species richness of arthropods in these stands was also detected, indicating a change in the ecosystem food web. These impacts are threatening the ecological integrity of wetlands along the St. Lawrence.

KEYWORDS: *Fallopia japonica*, invasive species, insects, riparian habitats, St. Lawrence River

Introduction

Les rives du Saint-Laurent offrent des habitats propices pour la faune et la flore, sans compter qu'elles contribuent à la qualité de vie de la population qui vit à proximité et à l'intégrité même du fleuve (MDDELCC, 2014). Au cours des derniers siècles, les rives et les milieux humides bordant le Saint-Laurent fluvial ont été soumis à des activités humaines intensives. Ces activités ont sérieusement transformé les paysages. Ainsi, on estime que 80 % des superficies de milieux humides du Saint-Laurent présentes au début de la colonisation dans la région de Montréal ont disparu et que 50 % des rives, entre Cornwall et Québec, ont été modifiées au profit de l'urbanisation et l'agriculture (Environnement et Changements climatiques Canada, 2013). La biodiversité du Saint-Laurent pourrait être modifiée davantage à l'avenir en raison des espèces exotiques envahissantes, des changements dans le régime hydrologique et des changements climatiques (Painchaud et Villeneuve, 2003). Dans une perspective évolutive, une transformation progressive et diversifiée de la végétation est souhaitable. Cependant, d'autres facteurs nuisent à la biodiversité du fleuve et des milieux humides, comme la présence des espèces exotiques envahissantes (Zedler et Kercher, 2004), dont l'envahissement rapide et monospécifique est indésirable.

Les espèces exotiques envahissantes représentent une faible fraction (14 %) de la flore vasculaire des milieux humides du fleuve Saint-Laurent (Lavoie et collab., 2003). La

renouée du Japon (*Fallopia japonica*) se trouve sur la liste des 100 espèces les plus envahissantes au monde (UICN, 2009) et figure parmi les menaces en croissance du Saint-Laurent. Elle pose de sérieux défis en matière de lutte pour contrôler son expansion. Sa colonisation sur les rives du fleuve diminue les accès à l'eau et peut limiter les activités récréotouristiques en causant des dommages à l'environnement et aux infrastructures, ce qui inquiète les municipalités et les citoyens qui ne savent pas comment la maîtriser.

Voyant la plante s'installer au bord du fleuve Saint-Laurent et prendre aisément sa place au sein des écosystèmes (figure 1), le Comité ZIP Jacques-Cartier s'est inquiété des répercussions de cet envahissement sur la biodiversité des rives du fleuve. Aussi, il a réalisé une étude de cette espèce, entre 2012 et 2015, afin de mieux comprendre sa stratégie de croissance sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM).

Valérie Aubin est biologiste et chargée de projets au Comité de la zone d'intervention prioritaire (ZIP) Jacques-Cartier et elle se concentre sur les espèces exotiques envahissantes présentes sur les rives du fleuve Saint-Laurent.

valerie.aubin@comitezijacquescartier.org

Sylvie Bibeau est la directrice générale du Comité de la zone d'intervention prioritaire (ZIP) Jacques-Cartier et biologiste-écotoxicologue de formation.

zip_jc@mainbourg.org



Comité ZIP Jacques-Cartier

Figure 1. Massif de renouée du Japon poussant au bord du fleuve Saint-Laurent à Boucherville, au Québec, à l'été 2015.

Morphologie

La renouée du Japon est facilement reconnaissable. Par contre, la principale variété (*Fallopia japonica* var. *japonica*) peut être confondue, en bordure du fleuve Saint-Laurent, avec la renouée de Sakhaline (*Fallopia sachalinensis*) et l'hybride qu'elle forme avec cette dernière, la renouée de Bohême (*Fallopia* × *bohemica*) (Boyer, 2005). Elles se distinguent, entre autres, par la forme et la grosseur de leurs feuilles respectives. La variété *japonica*, qui est probablement la plus présente dans la région montréalaise, se reconnaît par un chaume rigide vert tacheté de rouge, qui a une apparence semblable à celle du bambou (*Bambusoideae* spp.) : 2 à 4 cm de diamètre et 2,5 à 4 m de hauteur. Elle porte des feuilles alternes cordées à base plus ou moins tronquée. Les jeunes pousses du printemps sont rougeâtres et croissent à travers les vieilles tiges séchées de l'automne précédent. Ses grappes de petites fleurs blanches apparaissent à l'automne, d'où son attrait pour les horticulteurs. Les plants de renouée du Japon ne poussent pas de manière solitaire, mais forment plutôt des massifs.

Traits fonctionnels

La renouée du Japon possède de nombreuses caractéristiques qui lui permettent de croître dans des milieux très variés. Entre autres, elle réussit facilement à s'adapter aux perturbations du sol. D'ailleurs, dans son aire d'origine en Asie de l'Est, elle est une espèce pionnière pour coloniser les sites recouverts de lave à proximité de volcans (Beerling et collab., 1994). Ses traits fonctionnels lui assurent un succès de compétition végétale, mais, au Québec, ils la rendent néfaste pour les milieux fragiles.

La croissance de ses tiges débute très tôt au printemps et elle est très rapide, soit de 3 à 5 cm par jour (Bímová et collab., 2003a), devançant plusieurs espèces végétales. Outre sa croissance rapide, la renouée du Japon possède un feuillage abondant dont les feuilles atteignent une longueur de 10 à 23 cm à maturité. Ce feuillage produit un ombrage dense inhospitalier pour les autres espèces d'herbacées car l'intensité lumineuse au sol est diminuée à seulement 10 % (Vanderklein et collab., 2014). De plus, la renouée du Japon possède un rendement

photosynthétique très élevé, grâce à l'apparition du feuillage hâtif qui lui offre l'opportunité de maximiser son assimilation chlorophyllienne durant l'été (Brock et collab., 1995).

D'autre part, les organes de réserves souterrains, situés dans les rhizomes, possèdent une taille impressionnante et représentent les 2/3 de la biomasse de la plante. L'amidon contenu dans ses rhizomes constitue près de 50 % du poids sec d'un plant. Ces réserves emmagasinées permettent des réparations rapides des dommages par une repousse des feuilles et des tiges (Boyer, 2005). Par ailleurs, les rhizomes ont la capacité de sécréter des substances allélopathiques toxiques à base de dérivés phénoliques induisant une nécrose des racines des autres végétaux, ce qui entraîne une réduction de croissance des plantes voisines (Murrell et collab., 2011). L'étendue des rhizomes dans le sol représente une grande difficulté pour contrôler la renouée du Japon (Colleran et Goodall, 2015).

Un autre trait favorable à sa survie provient de la capacité des bourgeons racinaires d'entrer en dormance durant une longue période de temps et de repartir de nouvelles colonies dès que les conditions le lui permettent (Groves, 2006). Les rhizomes et les tiges de la renouée du Japon peuvent aussi être des précurseurs de nouveaux individus grâce à leur capacité de régénération par voie végétative. Par exemple, il suffit de disperser un morceau de 0,7 g de rhizome pour obtenir un nouveau plant (Bímová et collab., 2003a; Weston et collab., 2005). D'ailleurs, les fragments de rhizomes semblent se régénérer 2 fois plus vite que les bouts de tiges (Bímová et collab., 2003b).

La reproduction sexuée est aussi vraisemblable sous les conditions québécoises. La viabilité des graines de renouée du Japon dans la région montréalaise est évaluée à environ 50 %. Ce taux paraît augmenter avec les changements climatiques, notamment créés dans les îlots de chaleur des grandes villes (Groeneveld et collab., 2014). D'après une étude de Rouified et collab., (2011), les graines de renouée du Japon peuvent flotter jusqu'à 3 jours, ce qui leur permet de parcourir de longues distances entraînées par le courant.

Répartition

Certaines espèces nouvellement introduites montrent de grandes capacités d'adaptation dans le milieu naturel de leurs aires d'introduction jusqu'à devenir envahissantes (Boudouresque, 2008). La renouée du Japon a connu une expansion rapide au Québec en tant que plante introduite à des fins ornementales (Barney, 2006). Sa capacité à créer une haie dense en quelques semaines, son aspect exotique et ses fleurs tardives lui ont permis de se trouver dans de nombreux aménagements paysagers. Par contre, son expansion incontrôlée a remis en doute son utilisation.

Elle a été observée pour la première fois dans la grande région de Montréal en 1901 (Barney 2006). Ces dernières années, elle est devenue de plus en plus abondante sur les berges des cours d'eau.

Dans le territoire de la CMM, la renouée du Japon est observée régulièrement le long du fleuve Saint-Laurent. Par exemple, les massifs se trouvant sur les rives du fleuve, à Saint-Sulpice entre autres, s'étendent dans la partie supérieure de la ligne

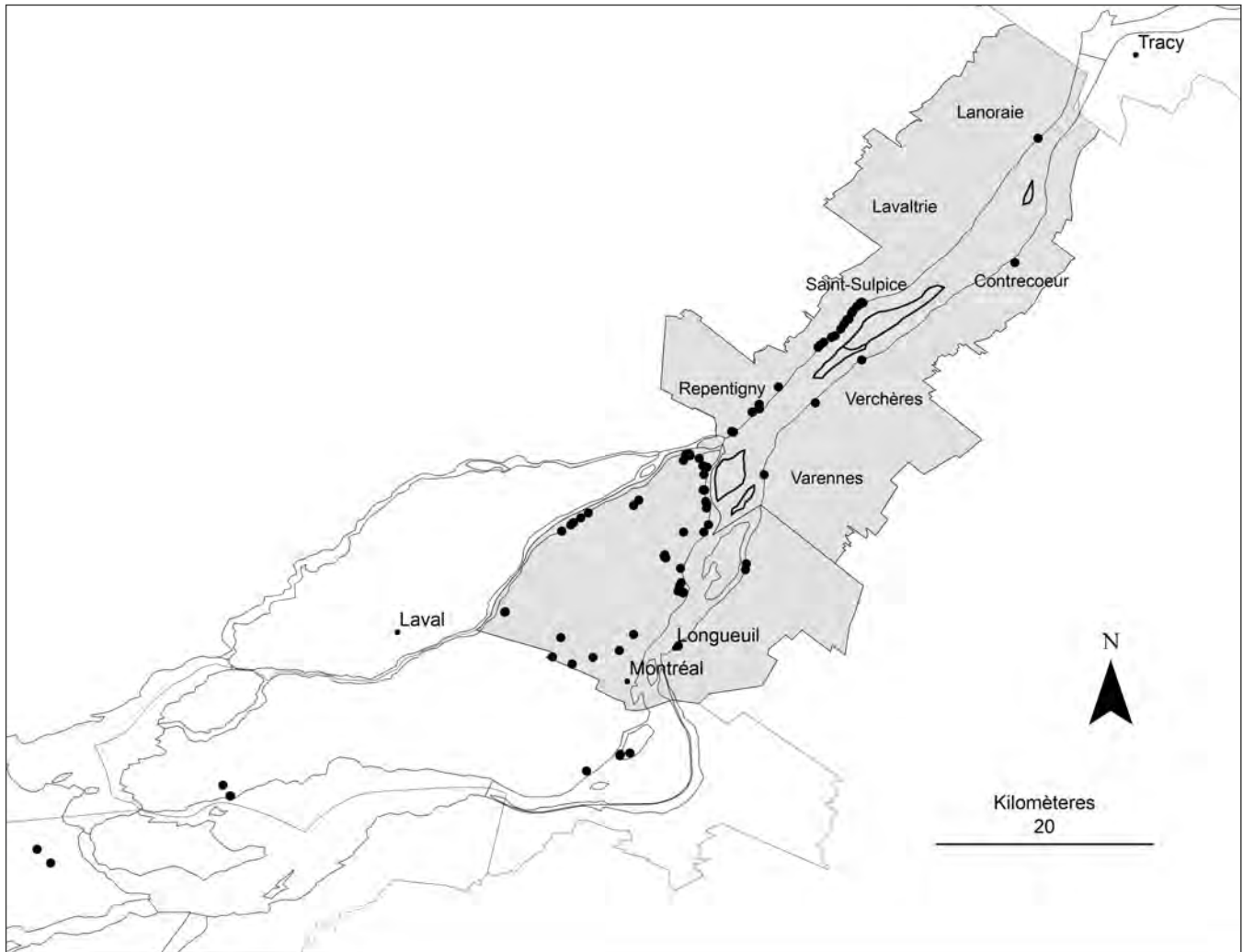


Figure 2. Cartographie de la renouée du Japon (*Fallopia japonica*) sur le territoire des Comités ZIP Jacques-Cartier et des Seigneuries.

des hautes eaux et bloquent les accès à l'eau des résidents. Dans un tel contexte, des coupes illégales d'un massif ont été signalées dans un parc riverain de la rive sud, car les citoyens revendiquaient une meilleure vue sur le fleuve. Des infrastructures, telles que des clôtures, des modules de jeux et des sentiers de parcs montréalais, ont subi des dommages causés par l'invasion de renouée du Japon. La propagation d'une haie de renouée du Japon et l'échange de plants ont causé l'envahissement sur toutes les propriétés d'une rue entière débouchant sur le fleuve à Repentigny. De nombreux fossés près du fleuve sont envahis par la plante; dans la majorité des cas, le massif d'origine se trouve dans un terrain privé à proximité. L'ignorance des particuliers concernant les effets de cette plante entraîne sa propagation involontaire, notamment la colonisation de sites vacants.

Matériel et méthodes

Les sites étudiés se trouvaient sur les territoires des Comités ZIP Jacques-Cartier et des Seigneuries qui comprennent le tronçon du fleuve Saint-Laurent, à la hauteur de l'archipel de Montréal, entre le pont Victoria et la rive montréalaise de la

rivière des Prairies à partir du pont Viau, en amont, et le delta des îles de Berthier-Sorel, en aval (figure 2). Ce territoire couvre une superficie totale de 954 km² et englobe 150 km de rives.

Une bonne partie des rives du territoire a été parcourue au cours des saisons estivales 2012, 2013 et 2014. La recherche de massifs se faisait, dans un premier temps, en voiture par les routes longeant le fleuve, à pied lorsqu'il y avait absence de route, puis par bateau pour les rives et les îles du territoire étudié. En plus de ces observations, d'autres populations ont été trouvées à partir de diverses sources telles que des collectes de données participatives de citoyens, des organismes du territoire et de mentions sur le Web. Au total, 130 populations de renouée du Japon avaient été localisées à la fin de 2015, mais le portrait des populations d'une espèce envahissante peut changer rapidement.

Afin de bien représenter le territoire étudié, 14 sites ont été sélectionnés aléatoirement et classés selon 3 types de milieu, majoritairement situés dans la zone inondable: 4 sites boisés, 5 sites en friche et 5 sites sur les rives du fleuve. Les propriétaires de chaque terrain choisi se sont engagés à ne pas intervenir sur les massifs pendant toute la durée de l'étude.

Chaque site comprenait 2 parcelles de renouée du Japon et 2 parcelles témoins de 4 m² chacune. Des données sur la flore ont été notées à 2 reprises (début juin et mi-juillet) en 2012 et 2013. Les données colligées pour chaque parcelle furent les coordonnées géographiques, le type de milieu, les perturbations (type, intensité et occurrence), la composition du sol, le recouvrement, la hauteur maximale, la densité et la circonférence moyenne des tiges, les espèces herbacées, arbustives et arborescentes présentes, ainsi que la superficie du massif.

Parallèlement à ces observations, un inventaire entomologique a été réalisé à l'été 2013 lors des mêmes périodes à l'aide de 2 pièges fosses et de 1 piège collant par parcelle. Les pièges fosses étaient constitués de gobelets de 500 ml enfouis dans le sol à 2 coins opposés de la parcelle et remplis au quart d'eau savonneuse. Les pièges collants étaient des assiettes de plastique jaune de 23 cm de diamètre recouvertes de colle Tanglefoot™ des 2 côtés et accrochées au centre des parcelles à 1,50 m de hauteur. Les spécimens récoltés dans chaque type de piège ont été traités séparément. Ils ont été identifiés à la famille, puis classés en 4 groupes selon leur régime alimentaire (tableau 1).

Résultats et discussion

Malgré les demandes faites aux propriétaires des terrains abritant les massifs de renouée du Japon sélectionnés, 2 sites ont été fauchés durant l'été 2012, ce qui a nécessité de les remplacer par 2 nouveaux sites pour la saison 2013 (friche et rive).

Renouée du Japon

Les superficies des 10 massifs suivis en 2012 et 2013 ont eu tendance à augmenter d'envergure d'une année à l'autre, de même que la densité de leurs tiges (tableau 2). La croissance des tiges a semblé plus rapide en milieu riverain que dans les 2 milieux bien drainés. En effet, les massifs poussant sur la rive atteignirent leur hauteur maximale dès le printemps, alors que ceux se trouvant dans les autres milieux le firent seulement durant la saison estivale. Par contre, la faible largeur des tiges croissant sur les rives ne lui conférait pas une croissance allométrique comme dans les 2 autres milieux (figure 3). Cela laisse croire que les plants de renouée du Japon poussant au bord du fleuve concentraient leur énergie dans la croissance hâtive plutôt que dans la grosseur de leur tige.

Herbacées

La richesse spécifique d'herbacées présentes sur les rives a augmenté dans les parcelles témoins pendant la saison estivale alors qu'elle a diminué dans les parcelles colonisées par la renouée du Japon jusqu'à disparaître complètement avec les années (figure 4). Il y a toujours eu plus du double d'espèces d'herbacées dans les parcelles témoins que dans les parcelles colonisées. Les espèces les plus tolérantes à la renouée du Japon furent l'anhrisque sylvestre (*Anthriscus sylvestris*), l'impatiante du Cap (*Impatiens capensis* sp.) et les verges d'or (*Solidago* spp.). Cependant, l'impatiante du Cap a fini par disparaître au cours de la saison estivale.

Arthropodes

L'impact le plus important de la renouée du Japon sur la communauté d'arthropodes rampants (l'ensemble des familles)

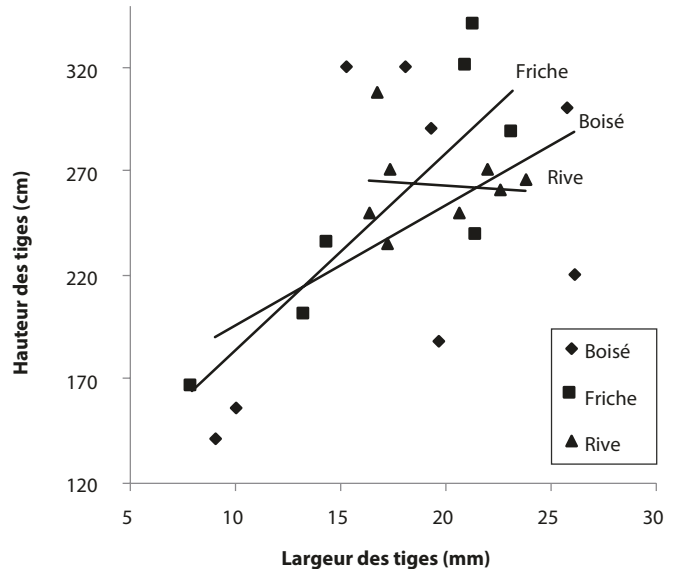


Figure 3. Largeur moyenne des tiges de renouée du Japon et hauteur maximale selon le type de milieu.

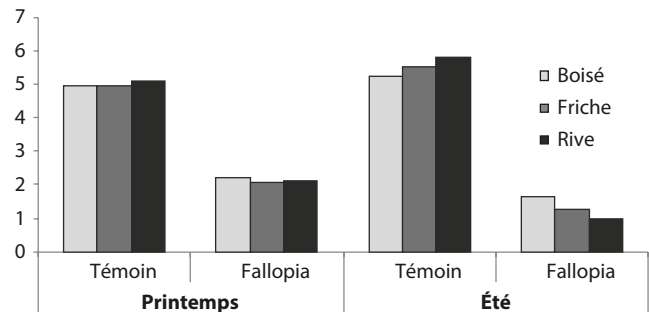


Figure 4. Histogramme de la richesse moyenne de plantes herbacées, en fonction du type de milieu et de la présence de la renouée du Japon au printemps et à l'été 2013.

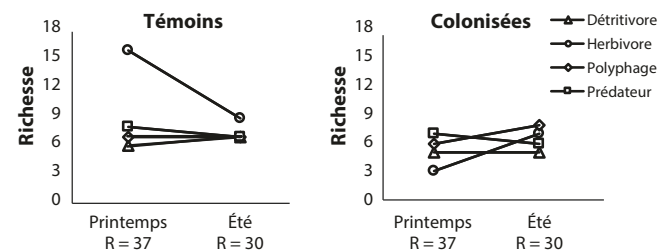


Figure 5. Répartition en richesse de familles des arthropodes rampants selon leur régime alimentaire, récoltés au piège fosse durant le printemps et l'été 2013 dans les parcelles témoins et colonisées par la renouée du Japon.

a été observé au printemps, soit une réduction du nombre de spécimens dans l'ensemble des sites et une diminution importante de la richesse des herbivores (figure 5). Par contre, au cours de l'été, la distribution de la richesse des familles d'arthropodes n'a pas été modifiée par la présence de la renouée du Japon. Les sites colonisés ont eu un plus grand effectif de détritivores.

Tableau 1. Arthropodes capturés à l'été 2013 lors de l'étude de massifs de la renouée du Japon dans la région montréalaise, en fonction du régime alimentaire des insectes.

Ordre	Famille	Régime	Ordre	Famille	Régime
Coléoptère	<i>Carabidae</i>	Prédateur	Hémiptère	<i>Miridae</i>	Herbivore
	<i>Buprestidae</i>	Herbivore		<i>Pentatomidae</i>	Herbivore
	<i>Chrysomelidae</i>	Herbivore		<i>Tingidae</i>	Herbivore
	<i>Coccinellidae</i>	Prédateur	Homoptère	<i>Aphididae</i>	Herbivore
	<i>Elateridae</i>	Herbivore		<i>Cercopidae</i>	Herbivore
	<i>Erotylidae</i>	Détritivore		<i>Cicadellidae</i>	Herbivore
	<i>Histeridae</i>	Prédateur		<i>Membracidae</i>	Herbivore
	<i>Lampyridae</i>	Prédateur	Hyménoptère	<i>Braconidae</i>	Prédateur
	<i>Scarabeidae</i>	Herbivore		<i>Formicidae</i>	Polyphage
	<i>Silphidae</i>	Détritivore		<i>Sphécidae</i>	Prédateur
<i>Staphylinidae</i>	Prédateur	<i>Vespidae</i>		Polyphage	
Dermaptère	<i>Forficulidae</i>	Polyphage	Mécoptère	–	Prédateur
Diptère	<i>Calliphoridae</i>	Détritivore	Neuroptère	–	Prédateur
	<i>Chironomidae</i>	Herbivore	Orthoptère	<i>Acrididae</i>	Herbivore
	<i>Culicidae</i>	Herbivore		<i>Gryllacrididae</i>	Polyphage
	<i>Dolichopodidae</i>	Prédateur		<i>Gryllidae</i>	Polyphage
	<i>Drosophilidae</i>	Détritivore	Trichoptère	–	Herbivore
	<i>Muscidae</i>	Détritivore	Acarien	–	Prédateur
	<i>Rhagionidae</i>	Prédateur	Annélide	–	Détritivore
	<i>Sarcophagidae</i>	Herbivore	Araignée	–	Prédateur
	<i>Simuliidae</i>	Prédateur	Chilopode	–	Prédateur
	<i>Tachinidae</i>	Prédateur	Collembole	–	Détritivore
<i>Tephritidae</i>	Herbivore	Diplopede	–	Détritivore	
Éphéméroptère	–	Jeune	Gastéropode	–	Herbivore

Tableau 2. Superficie des massifs de renouée du Japon (*Fallopia japonica*) étudiés en 2012 et 2013 et densité moyenne des plants.

Localisation	Milieu	Superficie (m ²)		Densité (n/m ²)	
		2012	2013	2012	2013
Saint-Sulpice	Rive	333,71	–	17	–
Boucherville	Boisé	118,39	270,15	10	23
Montréal	Boisé	1006,20	1020,00	22	24
Montréal	Friche	95,85	123,93	20	12
Saint-Sulpice	Rive	261,60	388,16	16	22
Montréal	Friche	–	34,65	–	20
Montréal	Friche	63,86	96,00	27	31
Montréal	Rive	142,44	220,91	19	30
Repentigny	Boisé	212,18	276,00	11	14
Saint-Sulpice	Rive	–	398,64	–	22
Saint-Sulpice	Boisé	166,90	188,00	13	21
Montréal-Est	Friche	46,73	46,73	8	17
Varenes	Rive	408,80	608,00	15	20
Saint-Sulpice	Friche	392,68	–	18	–

Dans les communautés d'arthropodes aériens récoltés au piège collant, la renouée du Japon a eu comme impact une diminution de 30 % d'arthropodes dans les milieux boisés, et de 80 % dans les friches et sur les rives entre le printemps et l'été 2013.

Répercussion sur l'écosystème

D'après les observations réalisées, la renouée du Japon a de nombreuses répercussions sur l'écosystème. D'abord, les massifs de renouée du Japon ont eu tendance à prendre de l'expansion d'une année à l'autre dans les 3 milieux étudiés. L'espèce a réussi à s'adapter aux bords de cours d'eau et au manque de lumière. Ensuite, la renouée du Japon influence tous les aspects de la flore locale (richesse, abondance, hauteur et densité). En règle générale, la structure végétale dans les massifs était composée principalement par une strate herbacée dominée par la renouée du Japon. Elle influence aussi le réseau trophique, car elle diminue les communautés d'arthropodes rampants et aériens hors de sa saison de floraison. Les rives fournissent des habitats de prédilection à la renouée du Japon, principalement en raison des nombreuses perturbations, du type de substrat et de la voie de propagation rapide qu'offrent les cours d'eau. Le milieu boisé constitue celui subissant la moins grande influence de la renouée du Japon, mais c'est dans ce milieu que son potentiel de croissance horizontale est le plus élevé.

Conclusion

La situation de la renouée du Japon dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent est préoccupante. L'expansion des massifs suivis entre 2012 et 2015 laisse présager la présence d'habitats potentiels pour sa croissance et son expansion. Cette situation semble s'être accentuée dans la dernière décennie alors que la plante tolérait moins bien le gel auparavant, ce qui semblait limiter son expansion (Barney, 2006). Les impacts de la renouée du Japon sont nombreux et son éradication est ardue et discutable. En effet, plusieurs méthodes de gestion sont proposées, mais rares sont celles qui permettent d'éradiquer les massifs de renouée du Japon dans leur intégrité (Delbart et Pieret, 2010).

La localisation de massifs de renouée du Japon à proximité d'un cours d'eau peut être prédite en fonction de la proximité d'une grande ville et la présence d'autres massifs (Duquette et collab., 2015). La présence de la plante en bordure du fleuve Saint-Laurent sur le territoire de la CMM n'est donc pas surprenante. Le seul facteur limitant sa croissance, tant qu'elle a accès à de l'eau, semble l'intensité lumineuse se rendant à elle, l'espèce croissant moins bien à l'ombre (Vanderklein et collab., 2014).

La propagation de la plante le long du Saint-Laurent se fait aussi en fonction de son mode de reproduction. En plus d'augmenter son taux de germination, l'hydrochorie (passage des graines par un plan d'eau) augmente la diversité génétique de l'espèce, ce qui contribue à son évolution. Par contre, les facteurs biotiques doivent être pris en compte afin de bien évaluer le taux de germination des graines

sous les conditions naturelles (Roufied et collab., 2011). Actuellement, la production de graines de renouée du Japon dans la région montréalaise est trop récente pour avoir un effet discernable sur sa propagation. La grande majorité des massifs rencontrés le long d'un même cours d'eau possèdent un génotype identique, ce qui signifie que leur prolifération est principalement végétative (Duquette et collab., 2015). Cet aspect doit être étudié le long du Saint-Laurent afin d'identifier des mesures de gestion efficaces.

La localisation rapide de massifs de renouée du Japon ou de sites propices à son introduction permet de protéger le capital naturel résiduel et de restaurer les zones altérées dans la mesure du possible. Effectivement, les rives envahies par la renouée du Japon subissent une diminution de leur richesse en végétaux et en invertébrés (Gerber et collab., 2008). Actuellement, aucune loi n'interdit la vente de cette plante au Québec. La vente, l'achat, la distribution ou l'échange de plants de renouée du Japon devraient être interdits. Le fort potentiel d'invasion de la plante oblige un travail de longue haleine lorsque l'on désire limiter sa propagation, particulièrement le long des cours d'eau. Un simple geste déplacé peut mener à une recolonisation rapide.

Dans ces circonstances, il est primordial de préserver les milieux humides entourant le fleuve Saint-Laurent afin de favoriser la pérennité des usages et de protéger la biodiversité garante de la stabilité des écosystèmes.

Remerciements

Le projet *Prévenir la prolifération de la renouée japonaise sur le territoire de la Communauté Métropolitaine de Montréal* a été rendu possible grâce au soutien financier du *Programme Interactions Communautaires du Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, du Fonds Initiatives environnementales et de sécurité d'Enbridge Pipelines* et de l'Association industrielle de l'est de Montréal. Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans le comité de coordination du projet qui regroupe plusieurs villes et organismes, ainsi que le Comité ZIP des Seigneuries. ◀

Références

- BARNEY, J.P., 2006. North American history of two invasive plant species: Phytogeographic distribution, dispersal vectors, and multiple introductions. *Biological Invasions*, 8: 703-717.
- BEERLING, D.J., J.P. BAILEY et A.P. CONOLLY, 1994. *Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decraene (*Reynoutria japonica* Houtt.; *Polygonum cuspidatum* Sieb. & Zucc.). *Journal of Ecology*, 82: 959-979.
- BÍMOVÁ, K., B. MANDAK et I. KASPAROVA, 2003a. How does *Reynoutria* invasion fit the theories of invasibility? *Journal of Vegetation Science*, 15: 495-504.
- BÍMOVÁ, K., B. MANDAK et P. PYSEK, 2003b. Experimental study of vegetative regeneration in four invasive *Reynoutria* taxa (Polygonaceae). *Plant Ecology*, 166: 1-11.
- BOUDOURESQUE, C.F., 2008. Les espèces introduites et invasives en milieu marin, 3^e édition. GIS Posidonie Publication, Marseille, 201p.
- BOYER, M., 2005. L'invasion des cours d'eau par les renouées du Japon s./1: réflexions et propositions pour des stratégies de lutte efficaces. *Parcs et Réserves*, 60: 21-29.

- BROCK, J.H., L.E. CHILD, L.D. WAAL et M. WADE, 1995. The invasive nature of *Fallopia japonica* is enhanced by vegetative regeneration from stem tissues. Dans: PYSEK, P., K. PRACH, M. RYMÁNEK et M. WADE (édit.). Plant invasions: General aspects and special problems. Kostelec nad Cernymi lesy, p.131-139.
- COLLERAN, B.P. et E. GOODALL, 2015. Extending the timeframe for rapid response and best management practices of flood-dispersed Japanese knotweed (*Fallopia japonica*). *Invasive Plant Science and Management*, 8: 250-253.
- DELBART, E. et N. PIERET, 2010. Les trois principales plantes exotiques envahissantes le long des berges des cours d'eau et plans d'eau en Région wallonne: description et conseils de gestions mécanique et chimique. Service public de Wallonie, Liège, 84 p.
- DUQUETTE, M.C., A. COMPÉROT, L.F. HAYES, C. PAGOLA, F. BELZILE, J. DUBÉ et C. LAVOIE, 2015. From the source to the outlet: Understanding the distribution of invasive knotweeds along a North American river. [En ligne] *River Research and applications*. doi: 10.1002/rra.2914.
- ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES CANADA, 2013. Les milieux humides riverains du Saint-Laurent: des écosystèmes au contact de la terre et de l'eau. Une variété de milieux humides à préserver. Disponible en ligne à: <https://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=4710F858-1>. [Visité le 16-02-02].
- GERBER, E., C. KREBS, C. MURRELL, M. MORETTI, R. ROCKLIN et U. SCHAFFNER, 2008. Exotic invasive knotweeds (*Fallopia* spp.) negatively affect native plant and invertebrate assemblages in European riparian habitats. *Biological Conservation*, 141: 646-654.
- GROENEVELD, E., F. BELZILE et C. LAVOIE, 2014. Sexual reproduction of Japanese knotweed (*Fallopia japonica* s.l.) at its northern distribution limit: New evidence of the effect of climate warming on an invasive species. *American Journal of Botany*, 101: 459-466.
- GROVES, R.H., 2006. Are some weeds sleeping? Some concepts and reasons. *Euphytica*, 148: 111-120.
- LAVOIE, C., M. JEAN, F. DELISLE et G. LÉTOURNEAU, 2003. Exotic plant species of the St Lawrence River wetlands: A spatial and historical analysis. *Journal of Biogeography*, 30: 537-549.
- MDDDELCC (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques), 2014. Rapport sur l'état de l'eau et des écosystèmes aquatiques du Québec. Disponible en ligne à: <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/rapportsurleau/Etat-eau-ecosysteme-aquatique.htm>. [Visité le 16-02-04].
- MURRELL, C., E. GERBER, C. KREBS, M. PAREPA, U. SCHAFFNER et O. BOSSDORF, 2011. Invasive knotweed affects native plants through allelopathy. *American Journal of Botany*, 98: 38-43.
- PAINCHAUD, J. et S. VILLENEUVE, 2003. Portrait global de l'état du Saint-Laurent – L'eau, les sédiments, les ressources biologiques et les usages. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Québec, et Direction de la conservation de l'environnement, Environnement Canada, Québec, 18 p.
- ROUIFED, S., S. PUIJALON, M.R. VIRIVEL et F. PIOLA, 2011. Achene buoyancy and germinability of the terrestrial invasive *Fallopia x bohemica* in aquatic environment: A new vector of dispersion? *Ecoscience*, 18: 79-84.
- UICN (Union internationale pour la conservation de la nature), 2009. Vers une stratégie des Antilles françaises contre les espèces exotiques envahissantes. Atelier de travail sur les espèces exotiques envahissantes dans les Antilles françaises. Guadeloupe, 5 p.
- VANDERKLEIN, D.W., J. GALSTER et R. SCHERR, 2014. The impact of Japanese knotweed on stream baseflow. *Ecology*, 7: 881-886.
- WESTON, L.A., J.N. BARNEY et A. DITOMMASSO, 2005. A review of the biology and ecology of three invasive perennials in New York State: Japanese knotweed (*Polygonum cuspidatum*), mugwort (*Artemisia vulgaris*) and pale swallow-wort (*Vincetoxicum rossicum*). *Plant and soil*, 277: 53-69.



Indigo, la pépinière de plantes et de semences indigènes

*alpina, americana, borealis, canadensis, grandiflorum,
laurentiana, maritima, odoratus, palustris,
terrestris, versicolor et plus encore...*

horticulture-indigo.com

Virtuoso indigenae, parlez-nous latin!

Qualité de l'eau du Saint-Laurent de 2000 à 2014 : paramètres classiques, pesticides et contaminants émergents

Isabelle Giroux, Serge Hébert et David Berryman

Résumé

Selon l'indice de qualité bactériologique et physicochimique (IQBP₅), l'eau du Saint-Laurent est de bonne qualité en amont de Montréal, mais elle se détériore en aval, dans le chenal de navigation et dans la masse d'eau au nord de celui-ci, à cause de la contamination bactériologique provenant des stations d'épuration de Montréal, Longueuil et Repentigny. Au sud du chenal, la qualité est bonne ou satisfaisante tout au long du corridor fluvial. Dans la région de Québec, toutes les stations d'échantillonnage présentent une eau de bonne qualité ou à la limite de cette classe. De 2000 à 2014, le pourcentage de stations de qualité mauvaise ou très mauvaise a diminué, mais la fréquence de dépassement des critères de qualité pour le phosphore et les coliformes fécaux n'a pas montré de tendance significative. De 4 à 33 pesticides ont été détectés dans les tributaires du Saint-Laurent, selon le tributaire, et 20 de ces produits ont été détectés dans le lac Saint-Pierre. Les concentrations de clothianidine, de thiaméthoxame et d'atrazine dans le lac ont parfois dépassé les critères de qualité de l'eau pour la protection des espèces aquatiques. Les contaminants d'intérêt émergent comme les nonylphénols éthoxylés, les PBDE, les composés perfluorés et les produits pharmaceutiques et de soins personnels sont également présents dans le Saint-Laurent. Les concentrations de PBDE dans le poisson dépassent les critères pour la protection du poisson lui-même et ceux concernant la faune terrestre piscivore. Les concentrations de nonylphénols éthoxylés ont diminué à la suite de mesures de contrôle gouvernementales instaurées durant les années 2000. Après 2 décennies d'amélioration, la qualité de l'eau du Saint-Laurent est restée relativement stable entre 2000 et 2014. Cependant, de nouveaux pesticides et des contaminants d'intérêt émergents ont été détectés et, pour plusieurs d'entre eux, les connaissances actuelles ne permettent pas de cerner leurs effets potentiels sur l'écosystème.

MOTS CLÉS : coliformes fécaux, IQBP, lac Saint-Pierre, néonicotinoïdes, retardateurs de flamme

Abstract

According to the bacteriological and physicochemical water quality index IQBP₅, the water quality of the St. Lawrence River in Québec (Canada) is good upstream of Montreal, but deteriorates downstream, both in the northern water mass and the navigation channel. This is due to fecal contamination from the Montreal, Longueuil and Repentigny waste water treatment plants. South of the navigation channel, water quality is good throughout the river corridor. In the Québec region, water quality at all sampling stations was either good or at the limit of this class. Between 2000 and 2014, the number of sites with bad or very bad water quality decreased, but the frequency of water quality exceedances for phosphorus and fecal coliforms showed no significant trend. The various tributaries of the St. Lawrence that drain agricultural land contained between 4 and 33 pesticides, and 20 of these were also detected in the Lac Saint-Pierre (Lake Saint Pierre). In some of the lake samples, the concentrations of clothianidin, thiamethoxam and atrazine exceeded water quality criteria for the protection of aquatic life. Emerging contaminants, such as nonylphenol ethoxylates, polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), perfluorinated compounds and pharmaceutical and personal care products are also present in the St. Lawrence River. The concentrations of PBDEs found in fish exceed criteria for the protection of fish and fish-eating terrestrial wildlife. Concentrations of nonylphenol ethoxylates decreased as a result of government controls introduced during the period between 2000 and 2010. Following 2 decades of improvement, the water quality of the St. Lawrence River remained relatively stable between 2000 and 2014. However, new pesticides and contaminants of emerging concern are now being detected and, in many cases, the environmental significance of these new findings remains unclear.

KEYWORDS: emerging contaminants, fecal coliforms, neonicotinoids, St. Lawrence River, water quality

Introduction

Le Saint-Laurent, en plus d'être au cœur des activités économiques du Québec, constitue un habitat essentiel pour un grand nombre d'espèces animales et végétales. Il est également la source d'approvisionnement en eau potable de près de la moitié des Québécois. Au cours du 20^e siècle, l'urbanisation, l'industrialisation et l'intensification des activités agricoles ont contribué à la détérioration de la qualité de ses eaux. L'état de santé du Saint-Laurent a atteint un seuil critique au début des années 1970, mais il s'est amélioré au cours des

dernières décennies, sous l'effet des mesures d'assainissement municipales, industrielles et agricoles (Hébert et Belley, 2005). De nouvelles préoccupations concernant les pesticides et les contaminants émergents sont cependant apparues.

Les auteurs travaillent à la Direction générale du suivi de l'état de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

Isabelle.Giroux@mddelcc.gouv.qc.ca

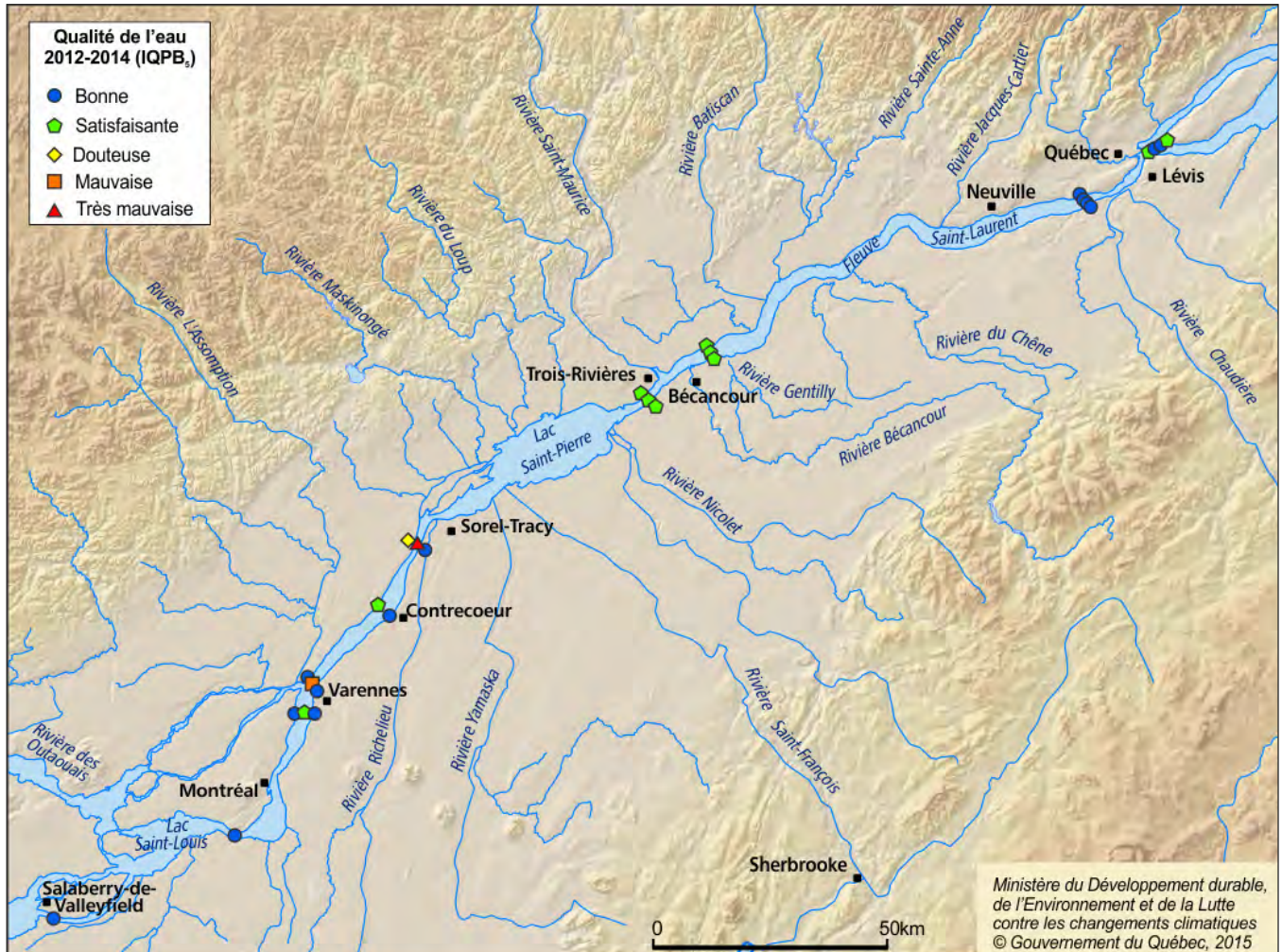


Figure 1. Qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent (IQBP₅) au cours des étés 2012 à 2014, selon le réseau de suivi du MDDELCC.

Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) réalise un suivi de base de la qualité de l'eau du Saint-Laurent à l'aide de paramètres liés à la pollution non toxique (nutriments, paramètres physicochimiques, coliformes fécaux) depuis 1990 à 27 stations d'échantillonnage réparties entre l'exutoire du lac Saint-François et la pointe ouest de l'île d'Orléans. De 2012 à 2014, les pesticides ont fait l'objet d'un suivi à l'embouchure de 17 tributaires agricoles du Saint-Laurent de même qu'à 5 sites dans le lac Saint-Pierre. Les contaminants « émergents » ont été caractérisés à 14 sites du Saint-Laurent entre 2000 et 2010. Nous résumons ici les résultats découlant de ces programmes de suivi.

Résultats et discussion

Qualité générale de l'eau

La figure 1 présente, à l'aide de l'IQBP₅, le portrait de la qualité de l'eau du Saint-Laurent réalisé à partir d'échantillons mensuels prélevés au cours des années 2012 à 2014 entre mai et octobre, période pour laquelle l'indice de qualité a été développé

et calibré. L'IQBP₅ permet d'évaluer la qualité de l'eau en tenant compte des concentrations de 5 paramètres (phosphore total, coliformes fécaux, azote ammoniacal, nitrites-nitrates et chlorophylle α) et de définir 5 classes de qualité d'eau : bonne, satisfaisante, douteuse, mauvaise et très mauvaise (Hébert, 1997). La qualité de l'eau du Saint-Laurent était auparavant évaluée avec l'IQBP₆ qui tenait aussi compte des matières en suspension (MES). Un bilan massif ayant démontré que les MES à la hauteur de Québec proviennent principalement de l'érosion du lit et des berges du fleuve (Rondeau et collab., 2000), les MES ne sont plus incluses dans le calcul de l'indice.

En amont de Montréal, la qualité de l'eau est bonne mais, plus en aval, entre Varennes et Sorel, elle se détériore dans le chenal de navigation et dans la masse d'eau au nord de celui-ci. Cette dégradation est causée par la contamination bactériologique provenant de Montréal, Longueuil et Repentigny, qui ne désinfectent pas leurs eaux usées. La qualité bactériologique s'améliore dans le lac Saint-Pierre pour devenir satisfaisante en aval de celui-ci. Par contre, la masse d'eau s'écoulant au sud du chenal de navigation affiche une qualité

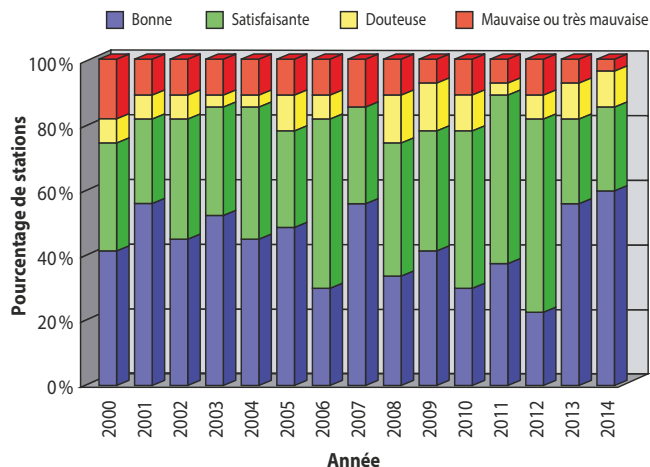


Figure 2. Pourcentage annuel de stations d'échantillonnage de l'eau du Saint-Laurent par classe de qualité (IQBP₅) entre 2000 et 2014.

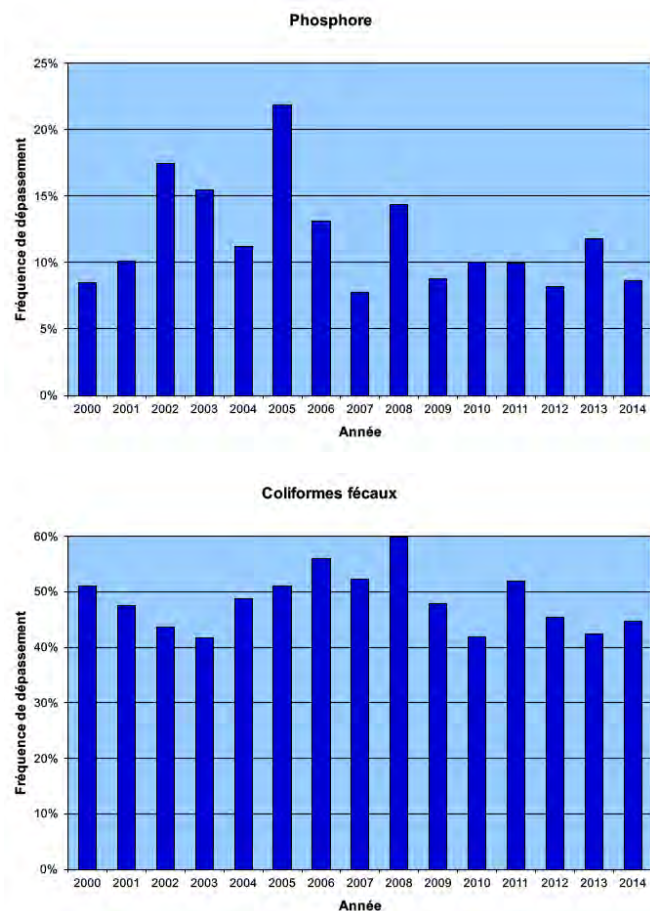


Figure 3. Évolution de la fréquence de dépassement des critères de qualité du phosphore et des coliformes fécaux pour l'ensemble des stations d'échantillonnage de l'eau du Saint-Laurent, de 2000 à 2014 (mai à octobre).

bonne ou satisfaisante tout au long du corridor fluvial. Dans la région de Québec, toutes les stations d'échantillonnage présentent une eau de bonne qualité ou à la limite de cette classe.

Entre 2000 et 2014, malgré quelques fluctuations interannuelles, on n'a observé aucune tendance statistiquement significative concernant le pourcentage de stations de qualité bonne ou satisfaisante (régression linéaire avec le temps, $P = 0,402$), pourcentage qui a été de 81 % en moyenne (figure 2). Les pourcentages annuels de stations de bonne qualité et de stations de qualité satisfaisante ont été très variables, plusieurs stations présentant un IQBP₅ à la limite de ces 2 classes. À noter qu'une station classée de qualité bonne ou satisfaisante peut présenter, à l'occasion, des dépassements de critères de qualité. Le pourcentage annuel de stations de qualité mauvaise ou très mauvaise a par contre diminué au cours de la période ($P = 0,004$), pour passer de 13 % en moyenne entre 2000 et 2007, à 8 % en moyenne entre 2008 et 2014.

Entre 2000 et 2014, la fréquence annuelle de dépassement des critères de qualité (MDDELCC, 2015a) pour le phosphore (0,030 mg/l) et les coliformes fécaux (200 c.f./100 ml), calculée pour l'ensemble des stations entre mai et octobre, n'a pas montré de tendance significative ($P = 0,214$ et $P = 0,609$; figure 3). Les fluctuations interannuelles seraient essentiellement liées à la variabilité des précipitations et du débit du fleuve, à l'importance du ruissellement de surface en provenance des terres agricoles ainsi qu'à la fréquence et à l'intensité des débordements des réseaux d'égouts municipaux (MDDELCC, 2015b).

Pesticides

Tributaires du Saint-Laurent

De 2012 à 2014, 17 tributaires agricoles du Saint-Laurent ont été échantillonnés 1 fois par semaine, de la fin mai à la fin août, pour l'analyse d'une centaine de pesticides. Des pesticides ont été détectés dans toutes ces rivières, mais généralement en plus grand nombre (figure 4; voir la figure 5 pour la localisation) et en concentrations plus élevées dans celles de la rive sud. Dans les rivières Mascouche et Chaloupe, sur la rive nord, et les rivières Saint-Régis, À la Tortue et Yamaska, sur la rive sud, plus de 20 pesticides ont été détectés. Plusieurs rivières comptent entre 11 et 20 pesticides. C'est le cas des rivières Châteauguay, Gentilly, Nicolet et Bécancour du côté sud du fleuve, et des rivières L'Assomption et Bayonne sur la rive nord.

Au total, plus de 30 pesticides et produits de dégradation ont été détectés dans ces rivières (tableau 1). D'une manière générale, le nombre de pesticides détectés et la fréquence de leur détection dans la rivière dépendent de l'importance des superficies des cultures de maïs et de soya dans le bassin versant (Giroux, 2015). Dans plusieurs bassins de la rive sud, ces cultures représentent plus de 30 % du territoire.

Plusieurs pesticides étaient présents simultanément dans les cours d'eau. Les pesticides détectés le plus souvent étaient

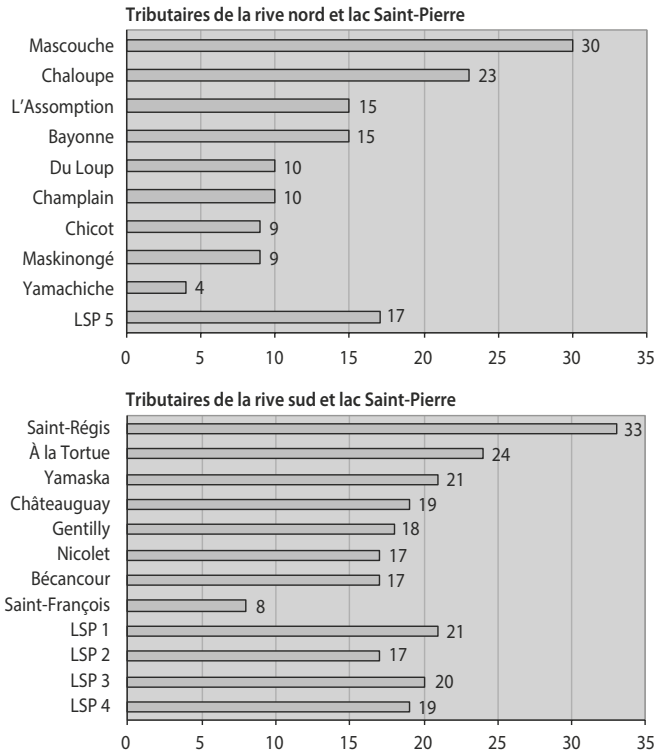


Figure 4. Nombre de pesticides détectés, entre 2012 et 2014, dans 17 tributaires agricoles des rives nord et sud du fleuve Saint-Laurent et dans le lac Saint-Pierre (LSP).

Tableau 2 Pesticides détectés en concentrations dépassant le critère de qualité de l'eau pour la protection des espèces aquatiques (CVAC) dans les tributaires ou le lac Saint-Pierre.

	CVAC µg/l	Concentration maximale mesurée	
		17 tributaires µg/l	Lac Saint-Pierre µg/l
INSECTICIDES			
Clothianidine	0,0083	0,37	0,077
Thiaméthoxame	0,0083	0,59	0,24
Imidaclopride	0,0083	0,11	NA ^a
Chlorpyrifos	0,002	0,3	–
Diazinon	0,004	0,07	–
Permethrine	0,004	0,15	–
Malathion	0,1	0,1	–
Carbaryl	0,2	2,9	–
HERBICIDES			
Métribuzine	1	3,3	0,28
Atrazine	1,8	3,3	1,8
S-Métolachlore	7,8	8,4	3,9
Dicamba	10	38	0,1

^a NA = non analysé; – = non détecté

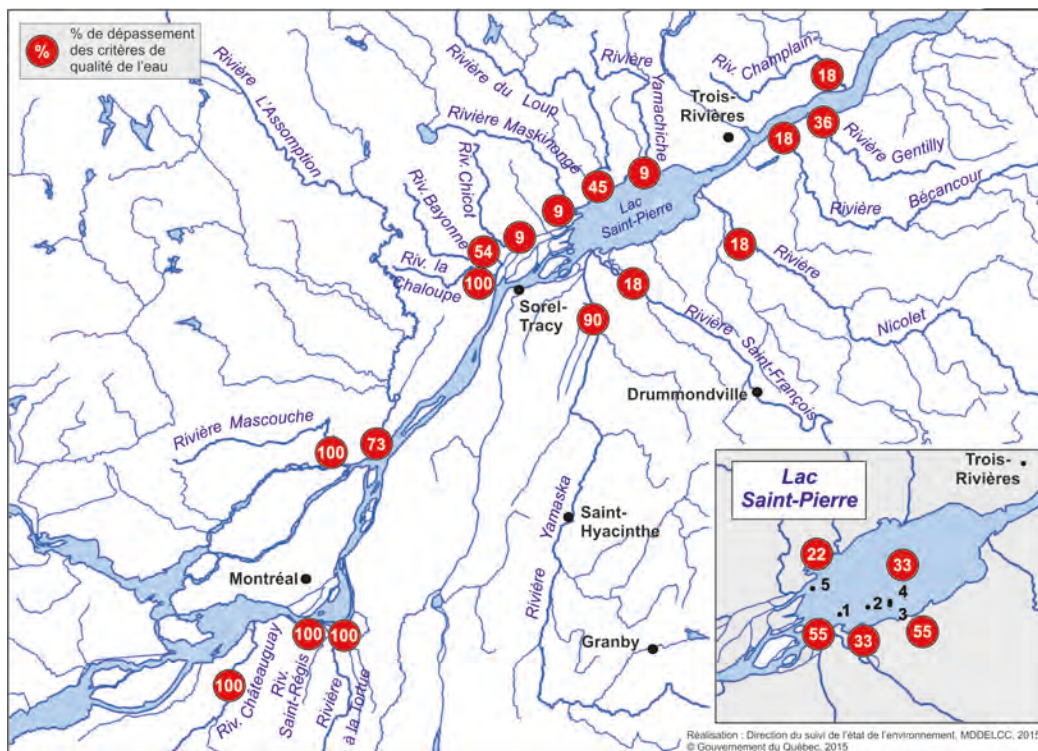


Figure 5. Pourcentage des échantillons prélevés dans 17 tributaires du Saint-Laurent et à 5 stations du lac Saint-Pierre présentant au moins un dépassement du CVAC pour un ou plusieurs pesticides, 2012 à 2014.

des herbicides associés aux cultures de maïs et de soya. On a notamment trouvé le S-métolachlore, l'atrazine, le glyphosate, le bentazone et l'imazéthapyr, mais aussi plusieurs autres herbicides. Quelques fongicides, comme le fénamidone, l'azoxystrobine et le boscalide, ont été détectés occasionnellement. La présence d'une dizaine d'insecticides a aussi été mise en évidence. La plupart d'entre eux, tels le chlorpyrifos, le diméthoate, le carbaryl et le diazinon, sont détectés dans moins de 30 % des échantillons et dans quelques cours d'eau seulement. Par contre, les insecticides de la famille des néonicotinoïdes, en particulier la clothianidine et le thiaméthoxame, ont été détectés dans toutes les rivières échantillonnées. Depuis quelques années, ces insecticides enrobent les semences de maïs et de soya (Giroux et Pelletier, 2012).

Le principal critère de qualité de l'eau utilisé pour les pesticides est le critère pour la protection de la vie aquatique – effet chronique (CVAC), qui correspond à la concentration maximale à laquelle les organismes aquatiques peuvent être exposés pendant toute leur vie sans subir d'effets néfastes (MDDELCC, 2015a). Comme ils sont plus toxiques pour les espèces aquatiques, les insecticides possèdent des critères plus bas que ceux des herbicides (tableau 2). Plusieurs CVAC ont été dépassés autant dans les tributaires du Saint-Laurent que dans le lac Saint-Pierre au cours de la période d'étude. La proportion des échantillons où les critères de qualité de l'eau ont été dépassés pour un ou plusieurs pesticides est importante pour plusieurs tributaires agricoles situés en amont du lac Saint-Pierre (figure 5).

Dans les tributaires, les insecticides néonicotinoïdes, en particulier la clothianidine et le thiaméthoxame, étaient responsables de la plupart des dépassements des critères de qualité de l'eau. Selon la rivière, le CVAC de 0,0083 µg/l a été dépassé dans 9 % à 100 % des échantillons pour la clothianidine et dans 18 à 100 % des échantillons pour le thiaméthoxame. Dans les 5 rivières où il a été analysé, l'imidaclopride, un autre néonicotinoïde, a été détecté en concentrations dépassant le critère dans 9 % à 80 % des échantillons. Le chlorpyrifos, le diazinon, le carbaryl, le malathion et la perméthrine dépassaient les critères dans 10 % ou moins des échantillons dans l'une ou l'autre des rivières. Les herbicides atrazine, S-métolachlore, métribuzine et dicamba ont montré quelques dépassements de leur critère respectif.

Lac Saint-Pierre

Le lac Saint-Pierre est caractérisé par des milieux humides et des herbiers aquatiques propices à une grande diversité biologique. Il est particulièrement exposé à l'apport en pesticides puisque plusieurs tributaires agricoles importants se jettent dans le fleuve en amont du lac ou s'y déversent directement. D'ailleurs, des suivis menés de 2003 à 2008 avaient déjà signalé la présence de plusieurs pesticides à l'embouchure des rivières Yamaska, Saint-François et Nicolet (Trudeau et collab., 2010). Avant de se mélanger, les eaux de ces tributaires, comme celles de la Yamaska, s'écoulent sur plusieurs kilomètres en des masses d'eau distinctes dont le panache se prolonge loin en aval dans la zone peu profonde bordant la rive du lac (MDDEFP, 2013).

En 2014, 9 prélèvements ont été faits à 5 stations dans le lac, 4 stations amont-aval sur la bordure sud et une près de la rive nord. Les résultats montrent que des pesticides étaient présents aux 5 stations (tableau 1) et qu'une vingtaine en tout ont été détectés dans le lac. Comme pour les tributaires, les herbicides et les insecticides néonicotinoïdes associés aux cultures de maïs et de soya ont été les principaux produits détectés à toutes les stations. Les 4 stations bordant la rive sud présentaient des concentrations plus élevées que celle de la rive nord et elles avaient toutes des concentrations relativement similaires. Le profil des concentrations de quelques pesticides (figure 6) pour les stations 1 et 3, situées respectivement à 7,2 km et à 14,4 km de l'embouchure de la Yamaska, montre que les concentrations n'étaient que légèrement inférieures à celles observées dans la rivière Yamaska elle-même. En 2014, c'est au mois de juin que les concentrations maximales de pesticides ont été mesurées dans le lac Saint-Pierre. Dans le lac, le critère de qualité de l'eau du thiaméthoxame était dépassé dans 22 à 55 % des échantillons selon la station et, dans le cas de la clothianidine, dans 22 à 44 % des échantillons. L'herbicide atrazine a présenté des concentrations voisines du critère de qualité de l'eau dans 11 à 22 % des échantillons, mais seulement à 3 des 5 stations échantillonnées. La présence

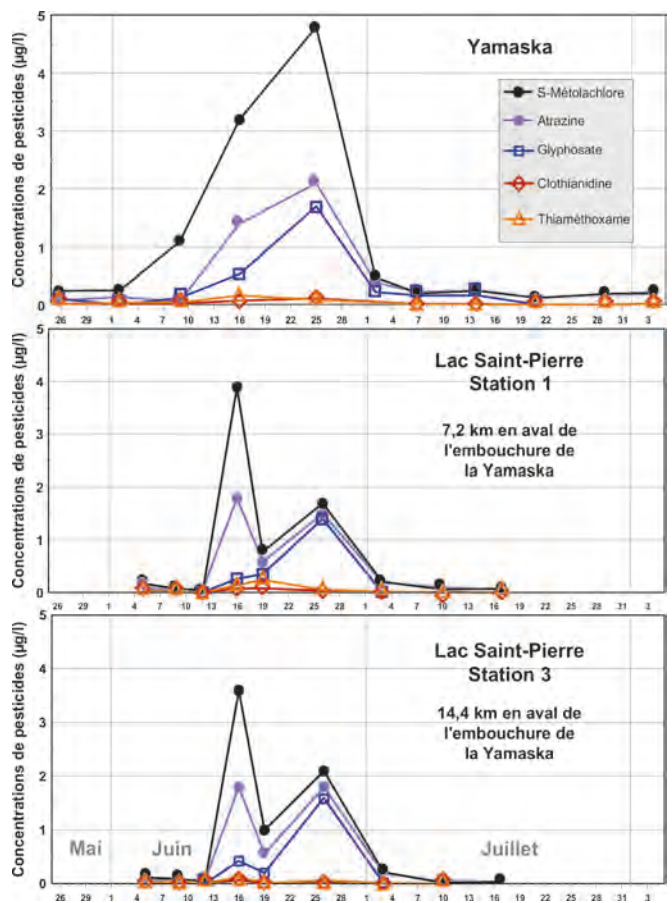


Figure 6. Profil des concentrations de quelques pesticides à l'embouchure de la rivière Yamaska et dans le lac Saint-Pierre, au printemps et au début de l'été.

conjuguée de plusieurs herbicides ainsi que les dépassements des critères de qualité de l'eau pour les néonicotinoïdes, des insecticides dont l'usage a augmenté en agriculture au cours des 10 dernières années (Giroux et Pelletier, 2012), pourraient avoir contribué à certains problèmes de dégradation observés au lac Saint-Pierre (MDDEFP, 2013).

Contaminants émergents

Environ 70 000 produits chimiques sont en usage commercial dans le monde (CCHST, 2015). Que ce soit au cours de leur utilisation ou à la fin de la vie utile des biens dans lesquels ils sont utilisés, plusieurs aboutissent dans l'environnement. Aux contaminants historiques (mercure, DDT, BPC, etc.) se sont ajoutés des détergents, des médicaments, des hormones, des constituants du plastique, des produits imperméabilisants, etc. La plupart de ces produits chimiques sont utilisés depuis longtemps, mais leur présence dans l'environnement n'est confirmée que depuis quelques années, grâce à l'évolution rapide de la chimie analytique. Quatre familles de contaminants émergents ont fait l'objet d'un suivi, entre 2000 et 2010, à l'une ou l'autre de 41 stations localisées dans les cours d'eau du Québec méridional, dont 14 dans le Saint-Laurent (figure 7) (Berryman et collab., 2012, 2014; MDDEP, 2012).

Nonylphénols éthoxylés

Les nonylphénols éthoxylés sont des surfactants utilisés notamment dans des détergents domestique, institutionnel ou industriel. Au Canada, le secteur des textiles était considéré comme l'un des principaux utilisateurs de ces produits (Environnement Canada et Santé Canada, 2001). Les nonylphénols éthoxylés sont des perturbateurs endocriniens reconnus qui ont des propriétés féminisantes pour les poissons (Environnement Canada et Santé Canada, 2001).

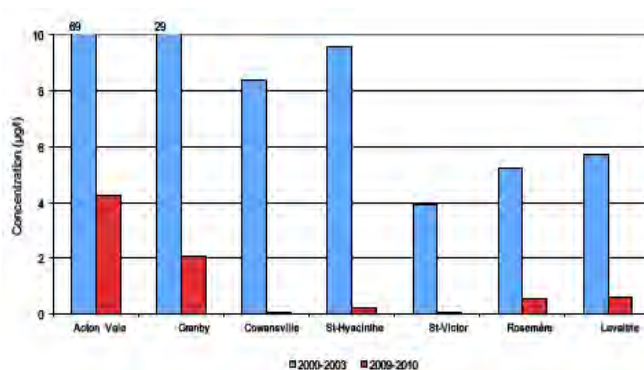


Figure 8. Concentrations médianes de nonylphénols éthoxylés et carboxylés totaux en 2000-2003 et en 2009-2010 à 7 stations d'échantillonnage dans le sud du Québec.

Il y a eu une diminution de plus de 90 % des concentrations de nonylphénols éthoxylés dans les cours d'eau du Québec à la suite de mesures de contrôle instituées par le gouvernement fédéral entre 2004 et 2009 (figure 8). Même là où les concentrations étaient les plus élevées, cette diminution a ramené les concentrations des différentes classes de nonylphénols éthoxylés sous les critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique. Dans le Saint-Laurent (Lavaltrie) et la rivière des Mille-Îles (Rosemère), les concentrations ne dépassaient pas les critères en 2000-2003, mais il y a eu, à ces stations aussi, une nette diminution des concentrations.

PBDE

Les polybromodiphényléthers (PBDE) sont des retardateurs de flammes ajoutés à une foule de produits de consommation courante afin d'en réduire l'inflammabilité: rembourrage des meubles, boîtiers d'appareils électroniques, pièces d'automobile, fils électriques, circuits imprimés, etc. (Environnement Canada, 2004a). Ces produits sont persistants, bioaccumulables et présentent un risque pour les espèces au sommet de la

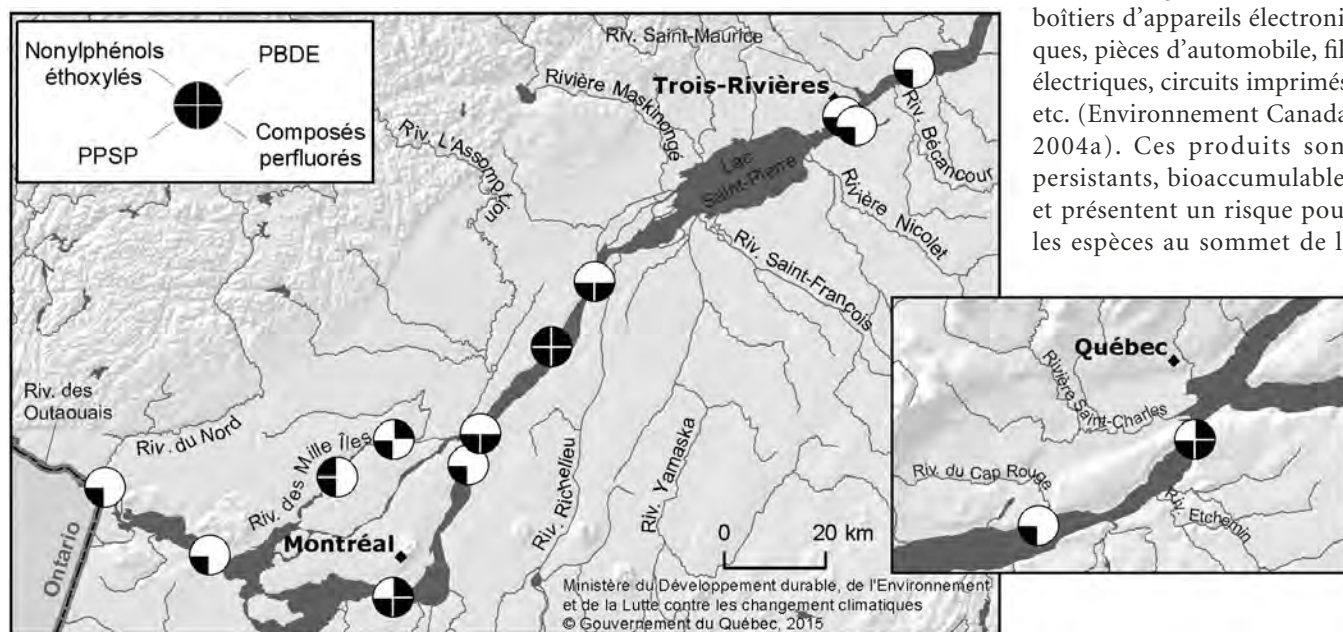


Figure 7. Localisation des sites d'échantillonnage ayant fait l'objet d'un suivi des contaminants émergents dans le Saint-Laurent, 2000 et 2010.

chaîne alimentaire. Ils ont été mis en marché au cours des années 1960 et leur volume de production a été en croissance constante jusqu'à l'instauration de mesures de contrôle dans plusieurs pays, dont le Canada, au cours des années 2000 (Environnement Canada, 2004a).

Les suivis réalisés par le MDDELCC démontrent que la grande agglomération urbaine de Montréal est une source de PBDE pour le fleuve Saint-Laurent. L'échantillonnage de l'eau par les techniques à grand volume montre qu'en amont de Montréal, la médiane pour les PBDE totaux était de seulement 14 pg/l et le maximum enregistré a été de 24 pg/l. Plus en aval, à Lavaltrie, la médiane était de 864 pg/l et, à la hauteur de Lévis, elle était de 629 pg/l. Les résultats démontrent que l'eau potable est une voie négligeable d'exposition humaine à ces substances et que les stations d'eau potable échantillonnées sont efficaces pour éliminer les PBDE, ces derniers ayant tendance à adhérer aux particules en suspension retenues lors de la filtration. Cependant, les teneurs dans le poisson, elles aussi plus élevées en aval qu'en amont de Montréal, entraînent dans le lac Saint-Pierre et plus en aval, des dépassements des critères d'Environnement Canada (2013a) pour la protection des poissons et de la faune terrestre piscivore (Laliberté, 2011). Ces critères ne comprennent pas de valeur concernant la protection de la santé humaine. En plus des concentrations dans l'eau et les poissons, celles dans les matières en suspension et les sédiments confirment que l'agglomération de Montréal est une source de PBDE pour le Saint-Laurent (Pelletier et Rondeau, 2013).

Composés perfluorés

Les composés perfluorés sont utilisés dans des enduits protecteurs et antisalissures pour les tissus, les meubles, les tapis (Scotchguard^{MC}), le béton et les papiers d'emballage commerciaux ou alimentaires. Ils servent aussi à la fabrication de mousses extinctrices, de détergents industriels, du Teflon^{MC}, du Gore-Tex^{MC}, etc. et ils sont persistants dans l'environnement (Environnement Canada, 2004b). En mai 2008, le gouvernement fédéral a promulgué des mesures limitant l'usage de certains composés perfluorés.

Un total de 78 échantillons d'eau provenant du Saint-Laurent (figure 7) ont été analysés pour 13 composés perfluorés. L'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et le sulfonate de perfluorooctane (PFOS) ont été détectés dans la majorité des échantillons. D'autres composés de cette famille ont été détectés moins fréquemment. Les concentrations de PFOA et de PFOS mesurées dans le Saint-Laurent variaient de < 0,5 ng/l à 13 ng/l. Il y a peu de différence entre les teneurs mesurées en amont et en aval de Montréal. Des concentrations plus élevées ont été mesurées dans d'autres cours d'eau du Québec (MDDEP, 2012), mais le maximum mesuré pour le PFOS demeure largement inférieur au critère de qualité de l'eau de 6 000 ng/l pour la protection de la vie aquatique (Environnement Canada, 2013b). Il n'y a pas de critères pour les autres composés perfluorés.

Les concentrations de composés perfluorés dans l'eau brute et dans l'eau traitée des usines d'eau potable

échantillonnées sont les mêmes, ce qui démontre que le traitement de l'eau n'arrive pas à éliminer ces substances (MDDEP, 2012). Cependant, les concentrations mesurées (maximum de 73 ng/l pour le PFOA) sont plus basses que le critère américain (400 ng/l) et britannique (300 ng/l) pour ces substances dans l'eau potable (MDDEP, 2012). Il n'y a pas encore de critères québécois ou canadiens pour les composés perfluorés dans l'eau potable.

Médicaments et autres contaminants émergents

Une part importante des produits pharmaceutiques et de soins personnels (PPSP) utilisés par la population se retrouvent dans les eaux usées. Les stations municipales de traitement des eaux usées éliminent partiellement les PPSP, mais une partie est rejetée dans les cours d'eau.

Jusqu'à 44 substances, comprenant 30 PPSP, ont été mesurées à 14 sites d'échantillonnage du Saint-Laurent (figure 7), échantillonnés 4 à 14 fois selon le site. Des concentrations supérieures aux limites de détection ont été mesurées pour 27 substances, soit 5 analgésiques/anti-inflammatoires, 7 antibiotiques, 2 autres médicaments, le cholestérol et ses 3 produits de dégradation, 5 hormones, la caféine, le Triclosan^{MC} (un désinfectant) et le bisphénol A (un plastique). Parmi les médicaments, ce sont des analgésiques / anti-inflammatoires courants et disponibles en vente libre qui ont été détectés le plus souvent dans le Saint-Laurent, soit l'acétaminophène (p. ex. : Tylenol^{MC}), dans 4 échantillons sur 5, l'ibuprofène (p. ex. : Advil^{MC}, Motrin^{MC}), dans les 2/3 des échantillons, le naproxène (p. ex. : Anaprox^{MC}), dans 1/3 des échantillons et l'acide salicylique (p. ex. : Aspirin^{MC}), dans 1 échantillon sur 6. La caféine, le Triclosan^{MC} et le bisphénol A ont eux aussi été détectés couramment, soit dans 85, 47 et 80 % des échantillons (n = 91, 91 et 103) respectivement. Les antibiotiques, les autres médicaments et les hormones furent détectés dans moins de 10 % des échantillons. Le nombre et les concentrations des produits détectés sont plus élevés en aval ou à proximité des agglomérations urbaines de Montréal, de Québec et de Trois-Rivières (Berryman et collab., 2014).

Selon les substances, les concentrations mesurées varient entre les limites de détection (0,5 à 20 ng/l) et quelques centaines de ng/l. Il n'existe pas de critères de qualité de l'eau pour les substances analysées, sauf pour le Triclosan^{MC}, le bisphénol A et le 17A-éthynylestradiol, une hormone synthétique utilisée notamment dans les contraceptifs oraux. Les concentrations mesurées dans le Saint-Laurent pour le Triclosan^{MC} et le bisphénol A sont inférieures aux critères disponibles. Pour le 17A-éthynylestradiol, la vérification de la conformité aux critères est impossible, car ces derniers sont inférieurs aux limites de détection des méthodes d'analyse disponibles. Dans l'ensemble, les concentrations de PPSP mesurées dans le Saint-Laurent sont comparables ou inférieures à celles mesurées dans d'autres cours d'eau en Amérique du Nord et en Europe (Berryman et collab., 2014).

Conclusion

Après deux décennies d'amélioration en ce qui a trait aux paramètres classiques, la qualité de l'eau du Saint-Laurent a peu évolué entre 2000 et 2014 et une mauvaise qualité bactériologique était encore observée en aval de Montréal. Ce problème devrait grandement se résorber lorsque la ville de Montréal réalisera la désinfection de ses eaux usées en 2018. Par contre, avec l'avancée rapide des méthodes d'analyse en laboratoire, de nouveaux pesticides et des contaminants émergents sont détectés. Certains de ces contaminants présentent des concentrations qui dépassent les critères de qualité pour la protection de la vie aquatique. Toutefois, pour plusieurs de ces substances, il n'existe aucun critère permettant d'évaluer leurs risques potentiels pour la vie aquatique. ◀

Références

- BERRYMAN, D., B. SARRASIN et C. DEBLOIS, 2012. Diminution des concentrations de nonylphénols éthoxylés dans les cours d'eau du Québec méridional de 2000 à 2010. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 20 p.
- BERRYMAN, D., M. RONDEAU et V. TRUDEAU, 2014. Concentrations de médicaments, d'hormones et de quelques autres contaminants d'intérêt émergent dans le Saint-Laurent et dans trois de ses tributaires. Environnement Canada et ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec, 14 p.
- CCHST (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail), 2015. FAQ - CHEMPendium™. Disponible en ligne à : <http://cchst.ca/products/faqs/chempen.html>. [Visité le 15-12-14].
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2004a. Rapport d'évaluation environnementale préalable des polybromodiphénylséthers (PBDE). Disponible en ligne à : http://www.ec.gc.ca/RegistreLCPE/documents/subs_list/PBDE_draft/pbde_TOC.CFM. [Visité le 08-06-03].
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2004b. Rapport d'évaluation préalable des effets sur l'environnement du sulfonate de perfluorooctane, de ses sels et de ses précurseurs contenant les groupes fonctionnels C₈F₁₇SO₂ ou C₈F₁₇SO₃. Disponible en ligne à : http://www.ec.gc.ca/RegistreLCPE/documents/subs_list/PFOS/PFOS_TOC.cfm. [Visité le 09-02-04].
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2013a. Recommandations fédérales pour la qualité de l'environnement. Polybromodiphénylséthers (PBDE). Environnement Canada, Ottawa, 28 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2013b. Sulfonate de perfluorooctane dans l'environnement canadien. Environnement Canada, Ottawa, 25 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA ET SANTÉ CANADA, 2001. Le nonylphénol et ses dérivés éthoxylés, rapport d'évaluation, Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999), Liste des substances d'intérêt prioritaire, rapport n° EN 40-215/57F, Ottawa, 105 p.
- GIROUX, I., 2015. Présence de pesticides dans l'eau au Québec : portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya – 2011 à 2014. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec, 47 p. + 5 annexes.
- GIROUX, I. et L. PELLETIER, 2012. Présence de pesticides dans l'eau au Québec. Bilan dans quatre cours d'eau de zones en culture de maïs et de soya en 2008, 2009 et 2010. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec, 46 p. + 3 annexes.
- HÉBERT, S., 1997. Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau pour les rivières du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Québec, 20 p. + 4 annexes
- HÉBERT, S. et J. BELLEY, 2005. Le Saint-Laurent – La qualité des eaux du fleuve 1990-2003. Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, n° QE/156, Québec, 25 p. + 3 annexes.
- LALIBERTÉ, D., 2011. Teneurs en polybromodiphénylséthers (PBDE) dans les poissons du fleuve Saint-Laurent et des lacs et rivières du Québec (2002-2008). Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 48 p.
- MDDEFP, 2013. Le lac Saint-Pierre, un joyau à restaurer. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 28 p.
- MDDELCC, 2015a. Critères de qualité de l'eau de surface. Disponible en ligne à : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp. [Visité le 15-08-18].
- MDDELCC, 2015b. Rapport sur l'état de l'eau et des écosystèmes aquatiques au Québec. Disponible en ligne à : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/rapportsurleau/Etat-eau-ecosysteme-aquatique-qualite-eau-Quelle-situation_Rivieres-Fleuve.htm. [Visité le 15-08-18].
- MDDEP, 2012. Portrait de la qualité des eaux de surface au Québec 1999-2008. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 97 p.
- PELLETIER, M. et M. RONDEAU, 2013. Les polybromodiphénylséthers (PBDE) dans les matières en suspension et les sédiments du Saint-Laurent. Environnement Canada. Fiche Suivi de l'état du Saint-Laurent, Montréal, 12 p.
- RONDEAU, B., D. COSSA, P. GAGNON et L. BILODEAU, 2000. Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada. Hydrological Processes, 14 : 21-36.
- TRUDEAU, V., M. RONDEAU et A. SIMARD, 2010. Pesticides at the mouths of Lake Saint-Pierre tributaries (2003-2008). Environment Canada, Water Science and Technology Directorate, Quebec Water Quality Monitoring and Surveillance Section, Montréal, xiv + 58 p.

Selection
Laminard inc.

Diane Lemay et Pierre Savard, prop.

- Encadrement
- Laminage
- Matériel d'artiste
- Cours de peinture
- Galerie d'art

254, rue Racine
Loretteville (Québec)
G2B 1E6

Tél. : (418) 843-6308
Fax : (418) 843-8191

Courriel : selection.laminard@videotron.ca
www.selectionart.com

www.iagto.ca

INDUSTRIELLE ALLIANCE
VALEURS MOBILIÈRES INC.

Gervais Comeau
Conseiller en placement

1040, avenue Belvédère, bureau 101
Québec (Québec) G1S 3G3

Téléphone : 418 681-2442
Sans frais : 1 800 207-2445
Cellulaire : 418 882-8282
Télocopieur : 418 681-7710
gervais.comeau@iagto.ca



MEMBRE
Industrielle Alliance
Valeurs mobilières inc.
est membre du FCPE.

VOTRE PARTENAIRE DE CONFIANCE.

Risques et impacts associés à l'exploration et à l'exploitation des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent

Sylvain Archambault et Jean-Patrick Toussaint

Résumé

Le golfe du Saint-Laurent ne fait présentement l'objet d'aucune exploitation pétrolière et gazière en mer, ni même d'exploration active, mais cette situation pourrait changer au cours des prochaines années. Toutefois, contrairement à l'exploitation pétrolière qui se pratique sur les Grands Bancs, au large de Terre-Neuve, les conséquences de tout incident dans le golfe du Saint-Laurent pourraient être amplifiées par les caractéristiques particulières de celui-ci, qu'elles soient physiographiques, océanographiques, climatiques, biologiques ou autres. Bien que le golfe ait été étudié sous plusieurs angles, il y a encore de grandes lacunes de connaissances, notamment sur le mode de dispersion des hydrocarbures en cas de déversement dans le golfe, sur les techniques de récupération de pétrole en présence de glaces ou sur la caractérisation de la microflore du golfe quant à sa capacité de dégradation des hydrocarbures en eaux froides. Dans cet article, nous dressons donc un portrait sommaire des principaux risques et impacts qui pourraient être associés à l'arrivée de l'industrie pétrolière dans le golfe du Saint-Laurent, un écosystème bordé par 5 provinces côtières.

MOTS CLÉS : déversement, extracôtier, forages, impacts environnementaux, pétrole et gaz

Abstract

Although the Gulf of St. Lawrence is not currently under exploration or exploitation for its potential oil and gas resources, the situation could well change in the coming years. However, in contrast to the oil and gas exploitation in the Canadian Atlantic, the consequences of an incident in the Gulf of St. Lawrence could be amplified by its particular characteristics - may they be physiographic, oceanographic, climatic or biological. Even if numerous aspects of the Gulf have been studied, there are still considerable knowledge gaps remaining: dispersion of oil slicks in case of spills, cleanup of spills in the presence of ice, characterisation of the microflora of the Gulf with respect to its capacity to degrade hydrocarbons in cold water, etc. In this paper, we present a brief portrait of the main risks and impacts related to the opening of the Gulf to oil and gas exploration and offer future perspectives for this ecosystem bordered by 5 coastal provinces.

KEYWORDS: drilling, environmental impacts, offshore, oil and gas, spill

Introduction

Dans l'Est du Canada, la totalité de la production pétrolière et gazière en mer s'effectue dans l'océan Atlantique, au large de Terre-Neuve-et-Labrador (pétrole) et de la Nouvelle-Écosse (gaz naturel). Le golfe du Saint-Laurent ne fait, pour l'instant, l'objet d'aucune production d'hydrocarbures, ni même d'exploration active. Toutefois, les choses pourraient éventuellement changer. En effet, la Nouvelle-Écosse ainsi que Terre-Neuve-et-Labrador bénéficient toutes deux d'ententes avec le gouvernement fédéral depuis le milieu des années 1980. Ces ententes leur permettent d'autoriser, conjointement avec le gouvernement fédéral, des projets d'exploration dans leurs propres secteurs du golfe, représentant respectivement 7,2 % et 18,7 % de la superficie totale. Quant au gouvernement du Québec, il est en train de se doter, conjointement avec le gouvernement fédéral, d'une loi similaire lui permettant d'entamer l'exploration de sa propre section du golfe, correspondant à 55,9 % de sa superficie (Archambault et collab., 2014). D'ici peu, c'est donc 81,8 % de la superficie du golfe qui pourraient être disponibles à l'industrie pétrolière et gazière. Même si le seul projet de forage en mer actuellement

à l'étude dans le golfe du Saint-Laurent, le projet Old Harry de la firme Corridor Resources, tarde à se réaliser, d'autres projets pourraient éventuellement voir le jour.

L'arrivée potentielle de cette industrie n'est pas sans poser des risques environnementaux importants. La catastrophe de la plateforme de forage *Deepwater Horizon* dans le golfe du Mexique, en 2010, vient immédiatement à l'esprit et outre les impacts de tels accidents majeurs (Lee et collab., 2015), les opérations régulières, que ce soit au stade d'exploration ou d'exploitation peuvent, elles aussi, avoir des impacts significatifs (Bakke et collab., 2013).

Dans le golfe du Saint-Laurent, la complexité des caractéristiques physiographiques, océanographiques ou climatiques (Dufour et Ouellet, 2007) pourrait amplifier les

Sylvain Archambault est biologiste à la Société pour la nature et les parcs (SNAP) et Jean-Patrick Toussaint, biologiste, est chef des projets scientifiques à la Fondation David Suzuki. Tous deux sont membres de la Coalition Saint-Laurent.

s.arch@videotron.ca

conséquences de tout incident, au moment de l'exploration ou de l'exploitation. De plus, le golfe est encore mal connu et de nombreuses lacunes pourraient compliquer la prise de décision en cas d'accident (GENIVAR, 2013a). Nous nous proposons donc de dresser un portrait sommaire des principaux risques et impacts qui pourraient être associés à l'arrivée de l'industrie pétrolière dans le golfe du Saint-Laurent.

Les caractéristiques du golfe du Saint-Laurent

L'estuaire et le golfe du Saint-Laurent comptent parmi les plus grands systèmes estuaire/golfe au monde et représentent l'un des écosystèmes les plus productifs du Canada (Benoît et collab., 2012). Toutefois, plusieurs caractéristiques de cet écosystème le rendent particulièrement vulnérable aux déversements pétroliers. Le golfe du Saint-Laurent a d'ailleurs été évalué par GENIVAR (2013b) comme étant 1 des 2 zones marines canadiennes au sud du 60° lat. N. où les répercussions en cas de déversement pétrolier risquent d'être les plus grandes. Un indice de sensibilité environnementale (ISE) a été estimé en combinant la difficulté de procéder au nettoyage des côtes, la sensibilité des ressources fauniques et des habitats affectés, ainsi que l'évaluation des pertes potentiellement subies par les activités commerciales, entre autres, la pêche et le tourisme (figure 1).

Formant une petite mer intérieure, le golfe du Saint-Laurent ne s'ouvre à l'Atlantique que sur 6 % de son périmètre par 2 goulets d'étranglement, le détroit de Cabot, une ouverture de 104 km de largeur, et le détroit de Belle-Isle, d'une largeur de 16 km. Peu profond (150 m en moyenne), le golfe du Saint-Laurent est traversé par le chenal Laurentien, une vallée sous-marine atteignant par endroits plus de 400 m de profondeur et s'allongeant sur 1 500 km jusqu'à l'embouchure du Saguenay (figure 2). Le chenal Laurentien joue un rôle central dans la dynamique océanographique du golfe en permettant à d'importantes quantités d'eau salée et froide de pénétrer loin à l'intérieur du continent, faisant de ce chenal une zone de confluence particulièrement complexe au point de vue hydrodynamique (Dufour et Ouellet, 2007). Le caractère semi-fermé du golfe et les courants marins qui le caractérisent font en sorte que les masses d'eau peuvent y demeurer confinées pendant plusieurs mois (couche d'eau intermédiaire, de 20 à 150 m de profondeur) et même quelques années (couche d'eau profonde à plus de 150 m) (Dufour et Ouellet, 2007). Ainsi, tout déversement d'hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent serait influencé par ces courants complexes, sans compter les vagues, vents et conditions d'englacement hivernal (Bourgault et collab., 2014).

La productivité primaire du golfe est très variable, avec des zones de forte productivité dans l'estuaire maritime, aux pointes ouest et sud d'Anticosti ainsi que le long de la côte Nord (Dufour et Ouellet, 2007). Cette productivité primaire, à la base de la chaîne alimentaire, soutient une variété de poissons, d'importantes colonies d'oiseaux (Dufour et Ouellet, 2007), en plus des mammifères marins tels que le rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*) et le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), qui pénètrent jusque dans l'estuaire, 1 200 km à l'intérieur du continent (Dufour et Ouellet, 2007). Cette productivité soutient aussi des industries telles que la pêche et le tourisme, qui contribuent pour plus de 2 milliards de dollars par année à l'économie des provinces bordant le golfe (Alexander et collab., 2010).

L'ensemble de ces caractéristiques – couvert de glace, courants, eaux froides, écosystème relativement fermé – contribuent à hausser la sensibilité environnementale du golfe et rendent complexe la modélisation de la dispersion de nappes de pétrole dans le golfe du Saint-Laurent.

Finalement, cet écosystème marin est déjà exposé à une gamme de pressions humaines posant d'importantes contraintes à son intégrité, telles que la navigation intensive, la pêche, les utilisations récréatives, les activités humaines terrestres (industrielles, municipales, agricoles) couplées aux pressions émergentes tels les changements climatiques (Benoît et collab., 2012). À ces pressions pourraient éventuellement s'ajouter l'exploration et l'exploitation d'hydrocarbures, avec des effets cumulatifs encore inconnus (Archambault et collab., 2014).

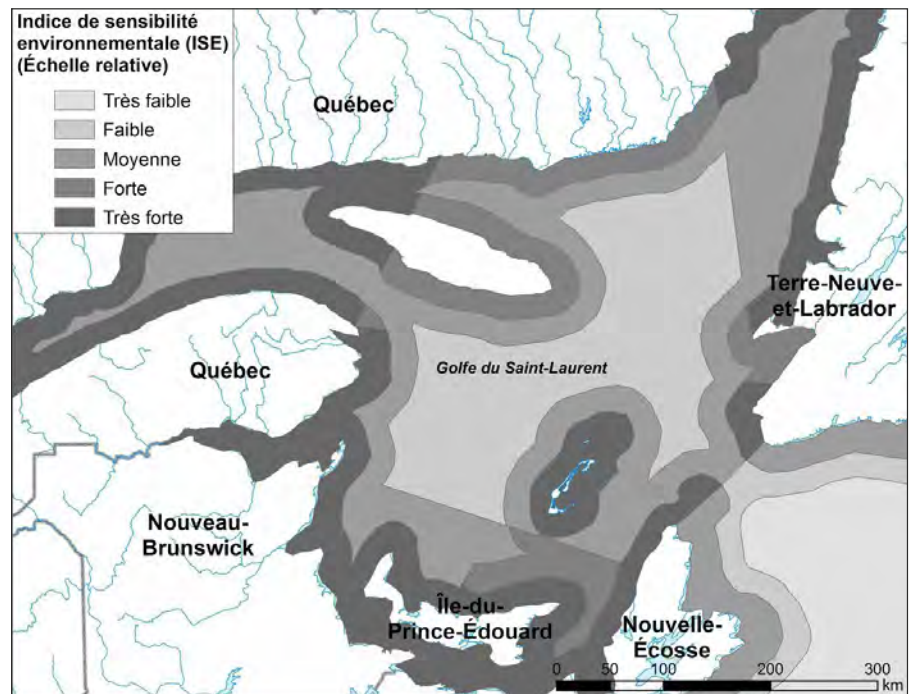


Figure 1. Indice de sensibilité environnementale (ISE) aux déversements pétroliers dans le golfe du Saint-Laurent (d'après GENIVAR 2013b).



Figure 2. Le golfe du Saint-Laurent est peu profond sauf dans le chenal laurentien, où la profondeur dépasse parfois 400 m; il s'ouvre sur la mer par 2 détroits. La structure géologique de Old Harry se situe au milieu du chenal laurentien.

Méconnaissance des méthodes d'intervention en présence de glace

L'englacement du golfe, bien que variable, est quand même très important et a atteint une couverture médiane de 80 à 90 % de la mi-février à la mi-mars, entre 1981 et 2010 (Environnement Canada, 2015). Cette caractéristique pose des défis énormes pour toute exploitation pétrolière dans le golfe. En effet, les connaissances quant aux méthodes de récupération des hydrocarbures en cas de déversement en présence de glaces sont nettement insuffisantes (Goodyear et Clusen, 2012; Pew, 2013; MDDELCC, 2015). Ainsi, les déversements en présence de glaces sont difficiles à maîtriser, particulièrement s'ils sont de grande envergure (Goodyear et Clusen, 2012), sans compter que la localisation d'une nappe de pétrole sous couvert de glace demeure techniquement très problématique (Lee et collab., 2015).

Lacunes de connaissances

Bien que le golfe du Saint-Laurent ait été étudié depuis plusieurs décennies, tant au niveau de sa biodiversité, de son océanographie que des impacts des facteurs anthropiques sur son état général (Dufour et Ouellet, 2007; GENIVAR 2013a), il subsiste toujours de nombreuses lacunes quant à nos connaissances de ce vaste écosystème, particulièrement en ce qui a trait aux impacts que l'industrie pétrolière pourrait y avoir (GENIVAR, 2013a).

Méconnaissance des modèles de dispersion d'hydrocarbures

En cas de déversement, l'efficacité des opérations d'urgence repose sur la capacité à prédire correctement le comportement des nappes de pétrole. Toutefois, ce comportement dépend de nombreux processus physiques complexes et encore mal connus, tels que les vagues de surface ou les ondes de marées internes (Bourgault et collab., 2014). De surcroît, il n'existerait aucune étude océanographique indépendante sur la dispersion des nappes de pétrole dans le golfe du Saint-Laurent (Bourgault et collab., 2014). Pour y remédier, ces auteurs ont réalisé des simulations permettant de suivre la trajectoire d'un traceur passif afin d'anticiper le comportement des courants autour de la structure géologique Old Harry. Les résultats de cette étude suggèrent que les côtes les plus susceptibles d'être touchées par un déversement à Old Harry seraient celles du cap Breton, de l'ouest et du sud-ouest de Terre-Neuve et, dans une moindre mesure, des îles de la Madeleine.

Eaux froides et dégradation bactérienne

Certaines bactéries indigènes dites hydrocarbonoclastes peuvent utiliser les hydrocarbures comme source de carbone et participer ainsi à leur dégradation (Lemarchand et Desbiens, 2015). Leur présence dans les eaux froides de l'estuaire du Saint-Laurent a été démontrée (Delille et Siron, 1993) et pourrait être liée aux quelque 1 900 événements naturels de méthane répertoriés par Lavoie et collab. (2010) dans l'estuaire.

Ces microorganismes hydrocarbonoclastes indigènes peuvent jouer un grand rôle dans la biodégradation des hydrocarbures lors de déversements pétroliers (American Academy of Microbiology, 2011). Toutefois, très peu de choses sont connues sur leur présence dans le golfe du Saint-Laurent, leur abondance, leur diversité, leur efficacité en eau froide ou leur évolution saisonnière. Ce manque de connaissances sur la caractérisation des communautés microbiennes indigènes du golfe du Saint-Laurent, et particulièrement sur celles qui pourraient contribuer à la biodégradation de nappes de pétrole, fait en sorte qu'il est impossible d'évaluer de façon fiable la capacité de résilience de cet écosystème face à un déversement d'hydrocarbures (Lemarchand et Desbiens, 2015).

Méconnaissances sur l'impact de l'utilisation de dispersants chimiques

Dans l'ensemble, l'état actuel des connaissances demeure insuffisant en ce qui concerne l'écotoxicologie des dispersants et le milieu marin (Lee et collab., 2015 ; MDDELCC, 2015). Dans

le cas de l'accident récent survenu dans le golfe du Mexique, Rico-Martinez et collab. (2013) ont observé que le mélange du dispersant Corexit 9500A avec le pétrole semble être 52 fois plus toxique que le pétrole seul lors de tests en laboratoire sur l'organisme marin *Brachionus plicatilis*. Qui plus est, Kleindienst et collab. (2015) faisaient récemment état du fait que les résultats scientifiques publiés demeurent controversés quant à l'impact des dispersants sur la composition et l'activité microbienne en milieu marin. Les auteurs soulignent ainsi qu'une évaluation en profondeur de l'impact des dispersants sur les microorganismes est nécessaire afin de mieux évaluer et planifier leur utilisation lors de déversements de pétrole. Alors que les dispersants sont maintenant autorisés au Canada avec l'entrée en vigueur récente du projet de loi C-22, aucun ordre de gouvernement ne serait en mesure d'affirmer qu'un réel bénéfice environnemental net découle de l'utilisation de dispersants ou d'autres agents de traitement (MDDELCC, 2015).

L'ensemble de ces lacunes dans nos connaissances générales du golfe du Saint-Laurent, particulièrement en ce qui a trait aux activités pétrolières en haute mer, mettent en lumière la question des risques et impacts environnementaux qu'une telle industrie pourrait avoir sur cet écosystème et les communautés qui en dépendent. À cet effet, il importe de mentionner l'initiative « Notre golfe », pilotée par un collectif de chercheurs, dont la mission consiste à élaborer et mettre en œuvre des projets de recherche interdisciplinaires ciblant des questions prioritaires en lien avec une éventuelle exploitation des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent (Archambault et collab., 2016). Une telle initiative devrait contribuer à améliorer l'état des connaissances relatives au golfe, ce qui permettra ensuite de venir en appui à la prise de décision gouvernementale.

Risques et impacts environnementaux

Les risques et impacts environnementaux liés à l'activité pétrolière en mer doivent être analysés en 2 temps, correspondant aux différentes étapes menant à l'exploitation d'hydrocarbures : les levés sismiques, lors de la phase exploratoire, ainsi que les forages pétroliers eux-mêmes, lors des phases exploratoires et d'exploitation.

Levés sismiques

Nous ignorons toujours l'ensemble des impacts des levés sismiques lors de l'exploration d'hydrocarbures. La littérature scientifique sur le sujet indique qu'il existe une variété d'impacts liés à de telles activités (McCauley et collab., 2000), impacts qui sont principalement biologiques (Weilgart, 2007). Puisque le son se propage beaucoup plus facilement dans l'eau que dans l'air, le bruit d'un seul levé sismique peut couvrir plusieurs dizaines de milliers de km² (Weilgart, 2007). Ainsi, les incidences biologiques des levés sismiques sur la vie marine sont habituellement d'ordre physique, physiologique et comportemental (Payne et collab., 2007).

De plus en plus de preuves scientifiques indiquent que ces levés perturbent la communication, l'orientation ainsi que les habitudes alimentaires chez la faune marine (Popper et

collab., 2003). Une revue récente de la littérature scientifique sur le sujet suggère que les levés sismiques sont la deuxième cause en importance en termes de perturbations sonores sous-marines (Nowacek et collab., 2013). Les impacts des levés sismiques réalisés par le passé dans le golfe du Saint-Laurent n'ont jamais été étudiés scientifiquement, entre autres parce qu'aucune évaluation environnementale n'était requise à l'époque.

Forages pétroliers et déversements

La seule façon de confirmer la présence de pétrole et de gaz est de forer un puits exploratoire, étape qui est jugée une des plus risquées du cycle de développement d'hydrocarbures (Ross et collab., 1977). En effet, puisqu'un forage exploratoire vise principalement des couches géologiques où l'on possède peu d'informations et où les pressions internes sont mal connues, une poche de gaz insoupçonnée peut provoquer une explosion lorsqu'on la traverse (Ross et collab., 1977; Lee et collab., 2015). D'ailleurs, les 2 plus importantes marées noires de l'histoire issues de plateformes en mer (*Deepwater Horizon* en 2010 et *Ixtoc I* en 1979) sont survenues lors de forages exploratoires, tout comme ce fut le cas pour les 2 plus gros incidents en eaux canadiennes (Uniacke G-72 et West Venture N-91 : Clancy, 2011).

Les impacts du déversement de *Deepwater Horizon* sont multiples, touchent autant les écosystèmes côtiers, les fonds marins que des organismes aussi variés que les dauphins, les oiseaux marins ou les coraux (Lee et collab., 2015). De surcroît, les impacts de cet incident pourraient se répercuter encore pendant de nombreuses années (Lee et collab., 2015). Selon ces auteurs, un des grands problèmes liés au déversement dans le golfe du Mexique aura été la faiblesse des données sur l'état initial des écosystèmes touchés. Ces auteurs croient également que de grandes lacunes de connaissances persistent aussi au Canada concernant les impacts potentiels sur les écosystèmes benthiques, sur les pêches commerciales ou sur la dynamique des réseaux trophiques.

Boues de forage et eaux de production

Outre les accidents exceptionnels tels que celui de *Deepwater Horizon*, de nombreux déversements mineurs (fuites de diésel, bris divers, etc.) peuvent se produire lors des opérations quotidiennes sur une plateforme de forage (Bakke et collab., 2013). À ces déversements accidentels s'ajoutent les rejets autorisés par règlement tels que les boues et déblais de forage ainsi que les eaux de production, tous ces rejets étant retournés à la mer après une certaine décontamination (Bakke et collab., 2013). L'étendue des effets de ces rejets routiniers sur les organismes benthiques peut se faire ressentir sur une période de 4 à 10 ans et toucher une surface de 1 à 15 km² (Bakke et collab., 2013). Tout comme les boues et déblais de forage, l'eau de production, qui remonte à la surface en même temps que le pétrole pompé, est retournée à la mer après une certaine décontamination. Dans le cas de la plateforme Hibernia, il s'agit de 14 300 000 l d'eau contaminée qui sont rejetés chaque jour, totalisant 1 200 l d'hydrocarbures soit

1,2 tonne (Fraser et collab., 2006). Les concentrations toxiques de ces hydrocarbures peuvent se rencontrer dans la colonne d'eau jusqu'à 2 km de la source (Bakke et collab., 2013). De plus, les hydrocarbures ainsi rejetés forment des films en surface et peuvent avoir un effet important sur le plumage des oiseaux marins, affectant ainsi leur capacité thermorégulatrice (O'Hara et Morandin, 2010).

À l'heure actuelle, il ne semble pas y avoir de littérature disponible sur les impacts cumulatifs que pourrait avoir l'ensemble de ces rejets opérationnels sur les populations d'organismes marins (Bakke et collab., 2013).

Attirance des oiseaux pour les plateformes

Les oiseaux marins sont fréquemment attirés par les structures pétrolières en mer, entre autres à cause de la lumière produite par les systèmes d'éclairage ou par le brûlage du gaz (torchage). Cela a pour conséquence de changer les patrons migratoires des oiseaux, provoquant parfois des collisions mortelles (Ronconi et collab., 2015). De plus, les oiseaux risquent d'entrer en contact avec les films d'hydrocarbures à la surface de l'eau, dans le voisinage des plateformes (Fraser et collab., 2006). Les mortalités d'oiseaux marins reliées aux opérations pétrolières sur les Grands Bancs de Terre-Neuve varient de 188 à 4 494 par année (Ellis et collab., 2013). Il importe donc de mieux étudier l'importance de ce phénomène et de mettre en place des mesures d'atténuation en modifiant l'intensité, l'orientation ou la couleur de l'éclairage sur les plateformes.

Impacts sur les humains

Outre les impacts strictement environnementaux, les activités pétrolières en mer peuvent avoir un impact marqué sur les humains, que ce soit lors de grands déversements ou lors des opérations quotidiennes. Cette préoccupation concerne notamment la santé humaine, sur laquelle se sont penchés Goldstein et collab. (2011). À partir d'une vaste compilation d'études menées à la suite de divers incidents, les auteurs ont répertorié un certain nombre d'impacts; parmi ceux-ci, notons les conséquences toxicologiques sur la santé humaine, les atteintes à la sécurité des travailleurs, les conséquences sur la santé mentale ainsi que les impacts sur la santé humaine liés à une dégradation des écosystèmes. D'autres auteurs (Ismail et collab., 2014) ont également rapporté plus de 1 100 accidents mortels survenus sur des plateformes de forage en mer depuis 1956.

La dimension socioéconomique de l'implantation de l'industrie pétrolière dans le golfe du Saint-Laurent se doit aussi d'être considérée dans les prises de décisions politiques (Mukherjee et Rahman, 2016), puisqu'une telle activité extracôtière s'accompagne généralement d'une altération de l'esthétique des lieux et de l'environnement dans lequel les communautés vivent, qu'il s'agisse d'infrastructures en mer, portuaires ou routières (Depellgrin, 2016). Enfin, l'implantation d'une industrie pétrolière en mer pourrait créer des conflits d'usage avec les utilisateurs de longue date que sont les pêcheurs, comme ce fut le cas en Norvège (Arbo et Thanh Thù, 2016).

Conclusion

Si l'intérêt envers le golfe du Saint-Laurent pour ses ressources potentielles en hydrocarbures se fait de plus en plus sentir au niveau politique, les informations sommaires présentées ci-haut soulignent le manque de connaissances scientifiques en ce qui a trait aux impacts et risques associés à l'implantation de cette industrie. L'ensemble de ces lacunes se doit donc d'être mieux documenté, mais aussi étudié de manière intégrée avec les nombreuses autres activités anthropiques ayant cours dans le golfe afin de mieux comprendre les effets cumulatifs potentiels (Dufour et Ouellet, 2007; Depellgrin, 2016). La compréhension des effets cumulatifs sur les écosystèmes est en effet un des grands défis scientifiques actuels. De plus, depuis 1998, les gouvernements du Québec et du Canada ont investi 716 millions de dollars dans la conservation, la restauration, la protection et la mise en valeur du Saint-Laurent par l'intermédiaire du Plan d'action Saint-Laurent (Plan d'action Saint-Laurent, 2014). Compte tenu des efforts consentis ainsi que des lacunes soulevées dans cet article, il s'avérera important de bien cerner l'ensemble des impacts associés à une possible implantation de l'industrie pétrolière dans le golfe du Saint-Laurent afin d'en assurer l'intégrité écologique et socioéconomique. ◀

Références

- ALEXANDER, D.W., D.R. SOOLEY, C.C. MULLINS, M.I. CHIASSON, A.M. CABANA, I. KLVANA et J.A. BRENNAN, 2010. Gulf of St. Lawrence: Human systems overview report. Pêches et Océans Canada, Oceans, Habitat and Species at Risk Publication Series, Newfoundland and Labrador Region, St-John's, xiv + 154 p.
- AMERICAN ACADEMY OF MICROBIOLOGY, 2011. Microbes and oil spills – FAQ. Washington, 16 p.
- ARBO, P. et P.T. THANH THÙY, 2016. Use conflicts in marine ecosystem-based management – The case of oil versus fisheries. *Ocean & Coastal Management*, 122 : 77-86.
- ARCHAMBAULT, P., C. GRANT, R. AUDET, B. BADER, D. BOURGAULT, M. CUSSON, S. DOYON, D. DUMONT, S. LAMALLE, M. LEVASSEUR, É. MORIN, É. PELLETIER, I. SCHLOSS, G. ST-ONGE, G. THERRIAULT, H. TREMBLAY, J.-É. TREMBLAY, R. TREMBLAY et S. PLANTE, 2016. *Notre Golfe* : l'émergence d'un réseau multisectoriel pour l'étude de l'environnement socioécologique du golfe du Saint-Laurent. *Le Naturaliste canadien*, 140 (2) : 41-44.
- ARCHAMBAULT, S., D. GIROUX et J.-P. TOUSSAINT, 2014. Golfe 101 – Pétrole dans le golfe du Saint-Laurent : faits, mythes et perspectives d'avenir. Coalition Saint-Laurent, Montréal, 78 p.
- BAKKE, T., J. KLONSGØYR et S. SANI, 2013. Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine Environmental Research*, 92 : 154-169.
- BENOÎT, H.P., J.A. GAGNÉ, C. SAVENKOFF, P. OUELLET et N.-M. BOURASSA (édit.), 2012. Rapport sur l'état des océans pour la zone de gestion intégrée du golfe du Saint-Laurent (GIGSL). Pêches et Océans Canada, Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2986, Moncton et Mont-Joli, ix + 79 p.
- BOURGAULT, D., F. CYR, D. DUMONT et A. CARTER, 2014. Numerical simulations of the spread of floating passive tracer released at the Old Harry prospect. *Environmental Research Letters*, 9 : 054001. doi:10.1088/1748-9326/9/5/054001.
- CLANCY, P., 2011. Offshore petroleum politics; Regulation and risk in the Scotian Basin. UBC Press, Vancouver. 419 p.
- DELILLE, D. et R. SIRON, 1993. Effect of dispersed oil on heterotrophic bacterial communities in cold marine waters. *Microbial Ecology*, 25 : 263-273.

- DEPELLGRIN, D., 2016. Assessing cumulative visual impacts in coastal areas of the Baltic Sea. *Ocean & Coastal Management*, 119: 184-198.
- DUFOUR, R. et P. OUELLET, 2007. Rapport d'aperçu et d'évaluation de l'écosystème marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Pêches et Océans Canada, Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2744F, Mont-Joli, vii + 123 p.
- ELLIS, J.I., S.I. WILHELM, A. HEDD, G.S. FRASER, G.J. ROBERTSON, J.-F. RAIL, M. FOWLER et K.H. MORGAN, 2013. Mortality of migratory birds from marine commercial fisheries and offshore oil and gas production in Canada. [En ligne] *Avian Conservation and Ecology* 8(2): 4. <http://dx.doi.org/10.5751/ACE-00589-080204>
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2015. Atlas climatique des glaces de mer pour la Côte Est 1981-2010. Disponible en ligne à : <https://ec.gc.ca/glaces-ice/default.asp?lang=Fr&n=AE4A459A-1>. [Visité le 16-01-20].
- FRASER, G.L., J. RUSSELL, et W.M. VON ZHAREN, 2006. Produced water from offshore oil and gas installations on the Grand Banks, Newfoundland and Labrador: Are the potential effects to sea birds sufficiently known? *Marine Ornithology*, 34: 147-156.
- GENIVAR, 2013a. Évaluation environnementale stratégique sur la mise en valeur des hydrocarbures dans les bassins d'Anticosti, de Madeleine et de la baie des Chaleurs. Rapport de GENIVAR au ministre des Ressources naturelles, Québec, 660 p. + annexes.
- GENIVAR, 2013b. Risk assessment for marine spills in Canadian waters: Phase 1, Oil spills south of the 60th parallel. Rapport de GENIVAR à Transports Canada, Québec, 172 p. + annexes.
- GOLDSTEIN, B.D., H.J. OSOFSKY et M.Y. LICHTVELD, 2011. The Gulf oil spill. *The New England Journal of Medicine*, 364: 1334-1348.
- GOODYEAR, J. et C. CLUSEN, 2012. Environmental risks with proposed offshore oil and gas development off Alaska's North Slope. Natural Resources Defense Council, NRDC Issue Paper IP: 12-08-A, Washington 20 p.
- ISMAIL, Z., K.K. KONG, S.Z. OTHMAN, K.H. LAW, S.Y. KHOO, Z.C. ONG et S.M. SHIRAZI, 2014. Evaluating accidents in the offshore drilling of petroleum: Regional picture and reducing impact. *Measurement*, 51: 18-33.
- KLEINDIENST, S., J.H. PAUL et S.B. JOYE, 2015. Using dispersants after oil spills: Impacts on the composition and activity of microbial communities. *Nature Reviews Microbiology*, 13: 388-396.
- LAVOIE, D., N. PINET, M. DUCHESNE, A. BOLDOC et R. LAROCQUE, 2010. Methane-derived authigenic carbonates from active hydrocarbon seeps of the St. Lawrence Estuary, Canada. *Marine and Petroleum Geology*, 27: 1262-1272.
- LEE, K., M. BOUFADEL, B. CHEN, J. FOGHT, P. HODSON, S. SWANSON et A. VENOSA, 2015. Expert panel report on the behaviour and environmental impacts of crude oil released into aqueous environments. Royal Society of Canada, Ottawa. 450 p.
- LEMARCHAND, K. et I. DESBIENS, 2015. Revue des connaissances sur les capacités potentielles de dégradation des hydrocarbures dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent par les communautés bactériennes indigènes. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Rapport GENV32, Québec, 31 p.
- MCCAULEY, R.D., J. FEWTRILL, A.J. DUNCAN, C. JENNER, M.-N. JENNER, J.D. PENROSE, R.I.T. PRINCE, A. ADHITYA, J. MURDOCH et K. MCCABE, 2000. Marine seismic surveys - a study of environmental implications. *APPEA Journal*, 40: 692-706.
- MDDELCC (Ministère du développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques), 2015. État de situation des mesures d'urgence au Québec: le cas du milieu marin. MDDELCC, Rapport GENV29, Québec, 14 p.
- MUKHERJEE, D. et M.A. RAHMAN, 2016. To drill or not to drill? An econometric analysis of public opinion. *Energy Policy*, 91: 341-351.
- NOWACEK, D.P., K. BRÖKER, G. DONOVAN, G. GAILEY, R. RACCA, R.R. REEVES, A.I. VEDENEV, D.W. WELLER et B.L. SOUTHWALL, 2013. Responsible practices for minimizing and monitoring environmental impacts of marine seismic surveys with an emphasis on marine mammals. *Aquatic Mammals*, 39: 356-377.
- O'HARA, P.D. et L.A. MORANDIN, 2010. Effects of sheens associated with offshore oil and gas development on the feather microstructure of pelagic seabirds. *Marine Pollution Bulletin*, 60: 672-678.
- PAYNE, J.F., C.A. ANDREWS, L.L. FANCEY, A.L. COOK et J.R. CHRISTIAN, 2007. Pilot study of the effects of seismic air gun noise on lobster (*Homarus americanus*). Pêches et Océans Canada, Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences no. 2712, 53 p.
- PEW, 2013. Arctic standards – Recommendations on oil spill prevention, response, and safety in the U.S. Arctic Ocean. The Pew Charitable Trusts, Washington, 133 p.
- PLAN D'ACTION SAINT-LAURENT, 2012. Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026. Gouvernement du Canada et Gouvernement du Québec, Ottawa et Québec, 52 p.
- POPPER, A.N., J. FEWTRILL, M.E. SMITH et R.D. MCCAULEY, 2004. Anthropogenic sound: Effects on the behavior and physiology of fishes. *Marine Technology Society Journal*, 37: 35-40.
- RICO-MARTINEZ, R., T.W. SNELL et T.L. SHEARER, 2013. Sinergistic toxicity of Macondo crude oil and dispersant Corexit 9500A to the *Brachionus plicatilis* complex (Rotifera). *Environmental Pollution*, 173: 5-10.
- RONCONI, R.A., K.A. ALLARD et P.D. TAYLOR, 2015. Bird interactions with offshore oil and gas platforms: Review of impacts and monitoring techniques. *Journal of Environmental Management*, 147: 34-45.
- ROSS, S.L., W.J. LOGAN et W. ROWLAND, 1977. Oil spill countermeasures. The Beaufort Sea and the search for oil. Department of Fisheries and the Environment, Sidney, 67 p.
- WEILGART, L.S., 2007. The impact of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implication for management. *Canadian Journal of Zoology*, 85: 1091-1116.



Aubé
Ancil
Pichette
& Associés

Comptables agréés | Société en nom collectif

5300, boul. des Galeries, bur. 200, Québec QC G2K 2A2
Tél.: 418 622-4804 | Téléc.: 418 622-2681

Notre Golfe: l'émergence d'un réseau intersectoriel pour l'étude de l'environnement socioécologique du golfe du Saint-Laurent

Philippe Archambault, Cindy Grant, René Audet, Barbara Bader, Daniel Bourgault, Mathieu Cusson, Sabrina Doyon, Dany Dumont, Sandy Lamalle, Maurice Levasseur, Émilie Morin, Émilien Pelletier, Irene Schloss, Guillaume St-Onge, Geneviève Therriault, Hugo Tremblay, Jean-Éric Tremblay, Réjean Tremblay et Steve Plante

Résumé

Notre Golfe est un réseau d'innovation intersectoriel pour l'étude de l'environnement socioécologique du golfe du Saint-Laurent. Issu d'un partenariat entre organisations publiques et privées, le réseau a pour objectif de favoriser l'élaboration et la mise en œuvre des projets de recherche interdisciplinaire ciblant des questions prioritaires en lien avec une éventuelle exploration et exploitation des hydrocarbures. Parallèlement, les membres du réseau rédigeront un ouvrage sur l'état des connaissances en appui à la prise de décisions dans le cas d'un éventuel développement de cette filière.

MOTS CLÉS : environnement, golfe du Saint-Laurent, hydrocarbures, interdisciplinarité, intersectorialité

Abstract

Notre Golfe (Our Gulf) is a cross-sectoral innovation network for studying the socio-ecological environment of the Gulf of St. Lawrence (Canada). The network, which is a partnership between public and private organizations, aims to promote the development and implementation of interdisciplinary research projects targeting priority issues related to the possible exploitation of oil and gas. In parallel, the members of the network will produce a report on the state of knowledge to support decision making in the context of a possible development of this industry.

KEYWORDS: environment, Gulf of St. Lawrence, interdisciplinarity, intersectoral, oil and gas

Bref historique et mise en contexte

Dans le cadre de la stratégie énergétique du Québec 2006-2015 (Gouvernement du Québec, 2006) et afin d'encadrer adéquatement les activités éventuelles d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures dans le fleuve Saint-Laurent, le gouvernement québécois a amorcé, en 2009, un programme d'évaluations environnementales stratégiques (ÉES). La première ÉES, rendue publique par l'Office Canada-Terre-Neuve-et-Labrador des hydrocarbures extracôtiers (OCTNL) et couvrant le bassin de l'estuaire maritime et du nord-ouest du golfe du Saint-Laurent, a révélé un manque important de connaissances sur cet écosystème (AECOM TecSult Inc, LGL Limitée et Transfert Environnement, 2010). Un second rapport concernant ce secteur, celui-ci produit par le commissaire fédéral à l'environnement et au développement durable, a révélé un nombre important de lacunes quant au processus décisionnel de l'OCTNL, découlant, entre autres, de ce manque de connaissances globales sur le golfe du Saint-Laurent (Gouvernement du Canada, 2012). En septembre 2013, la seconde ÉES sur la mise en valeur des hydrocarbures, cette fois dans les bassins d'Anticosti, de Madeleine et de la baie des Chaleurs, a également identifié plusieurs lacunes sur le plan des connaissances. Ces lacunes devraient être comblées afin d'assurer une gestion responsable et durable des activités d'exploration ou d'exploitation des hydrocarbures en milieu

marin dans les secteurs visés du golfe du Saint-Laurent (GENIVAR, 2013).

À l'heure actuelle, le gouvernement du Québec n'autorise aucune activité d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures dans le bassin de l'estuaire maritime et du nord-ouest du golfe du Saint-Laurent. Une évaluation environnementale des impacts possibles de forages exploratoires d'hydrocarbures dans le golfe, du côté terre-neuvien du prospect Old Harry, a été réalisée par l'industrie et remise à l'Office Canada-Terre-Neuve-et-Labrador des hydrocarbures extracôtiers en 2011 (Stantec Consulting Ltd, 2011). Environnement Canada et Pêches et Océans Canada ont par la suite réalisé des revues critiques de cette évaluation environnementale (MPO 2013a, b; Bourgault et collab., 2014) dans lesquelles plusieurs lacunes ont été soulevées.

Tous les auteurs sont membres du réseau Notre Golfe, duquel Philippe Archambault (philippe_archambault@uqar.ca) et Steve Plante (steve_plante@uqar.ca) assument la direction.

Les auteurs sont rattachés à l'Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer (PA, CG, DB, DD, ÉP, IS, GSt-O, RJ), à l'Université du Québec à Montréal (RA), à l'Université Laval (BB, ML, ÉM, JÉT), à l'Université du Québec à Rimouski (ÉM, GT, SP), à l'Université du Québec à Chicoutimi (MC) et à l'Université de Montréal (SL, HT).

Ces lacunes, la complexité du processus d'évaluation ainsi que l'absence de contribution scientifique indépendante à cette évaluation environnementale produite par l'industrie ont motivé Bourgault et collaborateurs (2014) à faire la synthèse et l'historique du processus de réglementation entourant la question des hydrocarbures du côté terre-neuvien du golfe. Ils ont alors produit la première étude scientifique indépendante sur la dispersion de polluants de surface qui pourrait émaner du prospect Old Harry.

Ainsi, si le gouvernement du Québec entend mettre en valeur le potentiel des hydrocarbures dans la partie québécoise du golfe, un état global des connaissances issues des sciences océaniques et des sciences sociales s'impose, de manière à combler les lacunes identifiées précédemment. Cette initiative contribuerait aussi à définir et mettre en place une réglementation suivant les standards les plus élevés en matière de santé, de sécurité et de protection de l'environnement du golfe. En matière d'éducation et de formation des générations futures, ce sont tout autant les connaissances scientifiques, les préoccupations et les prises de position sur la question de l'exploitation des hydrocarbures dans le golfe qui sont à relever. Notamment, il importe d'adopter les contenus scientifiques les plus à jour et les pratiques éducatives les plus pertinentes afin de renforcer les connaissances et les conceptions des jeunes de manière pertinente. Dès lors, une réflexion sur l'état des connaissances océanographiques, sociales et éducatives du golfe doit donc d'ores et déjà être entreprise.

Objectifs du réseau

Le golfe du Saint-Laurent forme un système socio-écologique complexe et fragile tant du point de vue océanographique, écosystémique qu'humain. Situé à la limite sud de la frontière subarctique, le golfe est soumis à de fortes pressions naturelles et anthropiques, lesquelles risquent de s'intensifier dans un proche avenir (Gouvernement du Québec, 2015). En tant que société, il est de notre devoir de comprendre le fonctionnement et les multiples interactions qui régissent la dynamique du golfe du Saint-Laurent de manière à mieux le gérer. Cette compréhension est essentielle pour affronter les pressions anthropiques et environnementales grandissantes (changements climatiques, acidification, exploitation des ressources, érosion côtière, protection des espèces en péril, apparition d'espèces envahissantes, exploitation des hydrocarbures, etc.). Cette compréhension est également indispensable pour répondre aux enjeux sociaux découlant du rapport entre le milieu et les ressources naturelles. Aussi, le manque de connaissances permettant d'évaluer les impacts socioécologiques associés aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures, l'absence de concertation intersectorielle pour les questions touchant le golfe du Saint-Laurent, la déstructuration des instances de gouvernance et de concertation régionale (par l'abolition des Conférences régionales des élus et des centres locaux de développement, lesquels agissaient comme liant entre les acteurs du développement) et la centralisation des pouvoirs

par le gouvernement du Québec doivent être identifiés et des pistes de solutions doivent être proposées.

L'urgence de mettre sur pied un réseau d'experts aux compétences diversifiées et de disciplines variées provient de multiples considérations d'ordre socioéconomique et scientifique. D'abord, il y a des pressions politiques, économiques et industrielles en faveur de l'émergence, à court terme, d'une nouvelle filière d'extraction des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent. Il faut aussi considérer le manque important de connaissances concernant la dynamique actuelle du système socioécologique ainsi que les risques associés à l'exploitation des hydrocarbures. Enfin, il ne faut pas oublier de considérer le besoin de développer, au Québec, une expertise scientifique interdisciplinaire et intersectorielle englobant les sphères juridique, décisionnelle, opérationnelle, éducative et sociale. Le réseau *Notre Golfe* (figure 1) se donne pour mission d'aborder la question des hydrocarbures de manière originale et innovante. C'est cette volonté largement partagée au sein de la communauté scientifique qui a mené à la mise en place du réseau.



Figure 1. *Notre Golfe*, un réseau interdisciplinaire et intersectoriel.

L'objectif général du réseau *Notre Golfe* consiste à développer et coordonner un programme d'acquisition de connaissances portant sur les principaux enjeux liés aux activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent (*Notre Golfe*, 2016). Plus spécifiquement, les objectifs sont de :

1. formuler des questions de recherche prioritaires à partir d'une synthèse des connaissances actuelles sur le système socioécologique du golfe, allant de l'écosystème marin du Saint-Laurent jusqu'aux impacts sociaux chez les communautés dans le contexte d'une éventuelle exploitation des hydrocarbures;
2. faciliter la mise en œuvre de projets de recherche concertés interdisciplinaires et intersectoriels s'attaquant à ces questions prioritaires;

3. rédiger, sur un horizon de 3 ans, un ouvrage destiné à tous et faisant état des connaissances concernant les enjeux et les impacts de l'exploitation des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent, avec un accent sur le développement durable des usages et des activités économiques du système socioécologique du golfe du Saint-Laurent.

Un premier colloque sur le thème des hydrocarbures lors du congrès de l'ACFAS 2015

La toute première rencontre des membres du réseau *Notre Golfe* s'est tenue à l'Université du Québec à Rimouski, en mai 2015, lors du 83^e congrès de l'Association francophone pour le savoir (ACFAS). Une grande partie de la communauté scientifique francophone était présente et la couverture médiatique de l'évènement fut importante. Le colloque posait la question : *Environnement socioécologique du golfe du Saint-Laurent : sommes-nous prêts pour l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures?* À la suite d'une série de conférences et d'un atelier de travail portant sur les enjeux sociaux, économiques, politiques et environnementaux, les participants ont identifié plus de 70 enjeux d'importance liés à l'exploration et à l'exploitation éventuelle d'hydrocarbures dans le Saint-Laurent. De ce nombre, 5 furent considérés prioritaires :

- développer une approche globale de l'évaluation des impacts d'une éventuelle exploration et exploitation;
- investir dans les économies vertes porteuses d'avenir (ressources renouvelables);
- prioriser des projets pour le bien commun;
- développer une gouvernance et une responsabilité à plusieurs niveaux;
- combler les lacunes en termes de connaissances préalablement à toute activité d'exploration ou d'exploitation des hydrocarbures.

La diversité des participants ayant pris part au colloque révèle l'importance de ce thème de recherche, qui fait également l'objet de débats et de controverses : scientifiques de disciplines diverses, citoyens et citoyennes, représentants gouvernementaux et d'organisations à but non lucratif et étudiants de niveaux secondaire et postsecondaire. Les échanges bien nourris ont permis de dresser un portrait des principaux enjeux. Le travail amorcé lors de ce colloque a également permis aux chercheurs du réseau *Notre Golfe* de formuler des questions prioritaires, lesquelles seront documentées dans un premier ouvrage (encadré).

Les travaux en cours du réseau *Notre Golfe*

Les activités menées par le réseau *Notre Golfe* visent à dresser un portrait des connaissances et à valoriser les résultats des activités scientifiques qui sont issus des sciences naturelles et sociales. Les activités du réseau visent également à montrer l'importance des représentations sociales des acteurs concernés dans le traitement des enjeux liés à l'exploitation des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent. Ces informations permettront, par exemple, de documenter les

Rédaction du premier tome d'un ouvrage sur l'état des connaissances et le développement durable des systèmes socioécologiques du golfe du Saint-Laurent

Des membres du réseau *Notre Golfe* et des experts de diverses disciplines travaillent, en 2016, à la rédaction d'un ouvrage synthétisant les enjeux formulés lors du colloque de 2015. Notons, parmi ceux-ci, ces quelques titres faisant appel à des horizons disciplinaires très variés :

Quels sont les mécanismes existants qui assurent un accès adéquat à l'information et la participation à la prise de décisions concernant l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures dans le monde? Comment s'en inspirer pour le golfe? Quel est le coût du développement de la filière des hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent? De quelle manière la qualité du développement de l'exploitation des hydrocarbures est-elle liée aux juridictions transfrontalières dans le golfe du Saint-Laurent? Quels sont les impacts potentiels sur l'environnement de l'exploration et de l'exploitation des hydrocarbures? Quels sont les impacts potentiels des activités humaines cumulées sur l'écosystème du Saint-Laurent?

La réflexion concernant ces enjeux se poursuivra lors du 84^e congrès de l'ACFAS, à Montréal, en mai 2016 (*Notre Golfe*, 2016).

enjeux, les défis et les mécanismes de consultation. Les activités du réseau permettront également de cerner, dans un contexte de commercialisation des hydrocarbures et de développement économique, les connaissances les plus pertinentes à considérer, tant en sciences naturelles qu'en sciences sociales, à un enseignement des sciences et à une éducation à l'environnement et au développement durable bien documentée, concernant les enjeux que soulèvent la protection et le développement durable du golfe du Saint-Laurent. Ces connaissances seront transposées ensuite de manière interdisciplinaire en classe auprès des jeunes, en fonction des programmes scolaires correspondants. Par ailleurs, dès la fin de l'école primaire, des exemples d'engagement écocitoyen qui ont permis des avancées au Québec en matière de préservation de l'environnement serviront à illustrer comment des acteurs peuvent se faire entendre dans l'espace public, et utilisent les lois et les règlements existants ou les font évoluer, pour préserver des écosystèmes fragiles ou des populations vulnérables, notamment celles du Saint-Laurent. Par exemple, le développement d'une pensée interdisciplinaire et intersectorielle débute par la valorisation, dès l'école primaire et secondaire, de l'engagement citoyen des jeunes Québécois autour des situations abordant la relation nature-sociétés, comme l'exploitation des hydrocarbures. Concrètement, dans un cadre scolaire et dans des lieux d'éducation non formelle, la participation active d'élèves et d'étudiants, ou d'autres membres de la communauté, à des démarches de recherche

action-communautaire dans lesquelles ils sont encadrés et au cours desquelles ils documentent sur le terrain avec d'autres acteurs une problématique particulière pour générer des solutions, s'est avérée particulièrement féconde. Ce type d'approche qui valorise les positions et les préoccupations des jeunes s'inscrit dans un des courants actuels de l'éducation aux sciences citoyenne et de l'éducation au développement durable qui préconise des dialogues entre experts et citoyens sans minimiser l'importance des positions de ces derniers (Blaze et Osano, 2009; Stevenson et collab., 2013).

À terme, les travaux de ce réseau pourraient ainsi contribuer à renouveler la manière de traiter d'enjeux environnementaux contemporains tout en demeurant ancrés dans les réalités régionales et ainsi stimuler l'intérêt des citoyens, jeunes et moins jeunes, pour les questions de protection environnementale et de développement durable du golfe du Saint-Laurent. Une piste à explorer en ce sens concerne l'ancrage des préoccupations environnementales des jeunes en fonction des territoires qu'ils fréquentent et de leur attachement à ces lieux. De plus, inclure en enseignement des sciences une présentation régulière des enjeux sociaux, économiques, environnementaux, culturels et éthiques, auxquels le développement des sciences est rattaché dans notre société industrielle, tout en privilégiant une préoccupation de justice sociale, est également une manière de redonner un sens aux connaissances scolaires et de développer le jugement critique des jeunes (Levinson, 2014). L'explicitation de préoccupations sociétales dès l'amont du questionnement permettra une meilleure appropriation des connaissances, tant scientifique que profane, par les acteurs concernés (p. ex. : décideurs, scientifiques, citoyens ou groupes engagés, enseignants et élèves, etc.) qui seraient dès lors en mesure de porter des projets de société respectueux des communautés et de l'environnement. Le réseau aurait ainsi pour vocation de générer un processus de coopération et de réflexion.

Conclusion

Notre Golfe est un réseau où l'identification des enjeux guide l'acquisition des connaissances, dans le cadre d'une approche interdisciplinaire et intersectorielle. Le transfert des connaissances entre scientifiques, décideurs, groupes de citoyens et grand public ainsi que leur transmission aux générations futures doit être accessible sans toutefois compromettre leurs valeurs scientifiques. Un tel dispositif de réflexion critique et scientifique est essentiel pour le développement durable de l'environnement socioécologique du golfe du Saint-Laurent. Après tout, il s'agit là de *Notre Golfe* !

Remerciements

Le réseau *Notre Golfe* bénéficie du soutien financier du programme d'appui aux réseaux d'innovation du Fonds de recherche du Québec - Nature et technologies ainsi que

de nombreux partenaires : les ministères de l'Énergie et des Ressources naturelles, du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, les regroupements stratégiques Québec-Océan, Ressources Aquatiques Québec et Geotop, l'Association de gestion halieutique autochtone Mi'gmaq et Malécite ainsi que l'Observatoire global du Saint-Laurent. Les auteurs remercient chaleureusement tous les participants au colloque tenu à Rimouski en mai 2015. Un merci particulier aux élèves de cinquième secondaire de l'École secondaire Paul-Hubert de Rimouski ainsi qu'à leur enseignant accompagnateur. ◀

Références

- AECOM TECSULT INC., LGL LIMITÉE ET TRANSFERT ENVIRONNEMENT, 2010. Évaluation environnementale stratégique de la mise en valeur des hydrocarbures dans le bassin de l'estuaire maritime et du nord-ouest du Golfe du Saint-Laurent. Québec, 48 p.
- BLAZE CORCORAN, P. et P.M. OSANO, 2009. Young people, education, and sustainable development. Exploring principles, perspectives, and praxis. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 416 p.
- BOURGAULT, D., F. CYR, D. DUMONT et A. CARTER, 2014. Numerical simulations of the spread of floating tracer released at the Old Harry prospect. *Environmental Research Letters*, 9, 054001. doi:10.1088/1748-9326/9/5/054001.
- GENIVAR, 2013. Évaluation environnementale stratégique sur la mise en valeur des hydrocarbures dans les bassins d'Anticosti, de Madeleine et de la baie des Chaleurs (EES2). Rapport d'études. Québec, 802 p.
- GOVERNEMENT DU CANADA, 2012. Rapport du commissaire à l'environnement et au développement durable. Chapitre 1 : Les activités liées au pétrole et gaz extracôtiers dans l'Atlantique. Bureau du vérificateur général du Canada, Ottawa, 36 p.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC, 2006. Stratégie énergétique du Québec 2006-2015 : l'énergie pour construire le Québec de demain. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, 138 p.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC, 2015. La stratégie maritime à l'horizon 2030 – Plan d'action 2015-2020. Québec, 64 p.
- LEVINSON, R. 2014. Undermining neo-liberal orthodoxies in school science: Telling the story of aluminum. Dans : Bencze, J.L. et S. Alsop (édit). *Activist Science and Technology Education*. Springer, Dordrecht, p. 381-397.
- NOTRE GOLFE, 2016. Disponible en ligne à : <http://www.notregolfe.ca>. [Visité le 16-03-11].
- MPO, 2013a. Examen scientifique du programme de forage d'exploration de la zone prometteuse de Old Harry. Secrétariat canadien de consultation scientifique. Pêches et Océans Canada. Réponse des Sciences. 2013/014. Disponible en ligne à : http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ScR-RS/2013/2013_014-fra.html. [Visité le 16-03-11].
- MPO, 2013b. Examen scientifique du programme de forage d'exploration de la zone prometteuse de Old Harry révisé. Secrétariat canadien de consultation scientifique. Pêches et Océans Canada. Réponse des Sciences. 2013/018. Disponible en ligne à : http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ScR-RS/2013/2013_018-fra.html. [Visité le 16-03-11].
- STANTEC CONSULTING LTD, 2011. Environmental assessment of the Old Harry Prospect exploration drilling program. Technical Report File 121510468.500, St. John's, 485 p. + annexes.
- STEVENSON, R.B., M. BRODY, J. DILLON et A.E.J. WALSH. 2013. *International handbook of research on environmental education*. Routledge, New York et London, 592 p.

L'évaluation des impacts cumulés dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent: vers une planification systémique de l'exploitation des ressources

David Beaudesne, Cindy Grant, Dominique Gravel et Philippe Archambault

Résumé

L'intensification de l'empreinte humaine dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent impose une planification systémique de l'exploitation des ressources marines. Une évaluation régionale des impacts cumulés dans le Saint-Laurent demeure pourtant encore attendue. Un nombre important d'activités (p. ex. transport maritime, pêche, aquaculture) caractérise l'exploitation humaine du Saint-Laurent. Ces activités imposent plusieurs stressseurs environnementaux (p. ex. destruction de l'habitat) affichant un chevauchement spatial croissant. Individuellement, ils peuvent affecter la structure et le fonctionnement des écosystèmes. Imposés simultanément, les stressseurs peuvent agir en synergie et entraîner des effets non linéaires imprévisibles. Ces effets demeurent largement incompris et conséquemment ignorés lors d'évaluations d'impacts environnementaux, qui demeurent orientées sur des espèces ou secteurs uniques et l'approbation de projets. Plusieurs défis relatifs aux impacts cumulés dans le Saint-Laurent doivent être relevés: 1) améliorer l'état des connaissances des impacts de multiples stressseurs sur les écosystèmes, 2) améliorer l'applicabilité des méthodes d'évaluation d'impacts cumulés, 3) identifier des indicateurs d'impacts cumulés, 4) créer un protocole de suivi environnemental et d'impacts humains, et de partage de données et 5) développer une capacité de gestion adaptative pour le Saint-Laurent. La planification systémique de l'utilisation des ressources naturelles au sein du Saint-Laurent nécessitera une vision intégrative de la structure et du fonctionnement des écosystèmes ainsi que des vecteurs de stress qui leur sont imposés. Une telle approche ne sera réalisable que lorsque nous aurons développé les infrastructures et les outils nécessaires à une gestion écosystémique du Saint-Laurent.

MOTS CLÉS : activités humaines, effets non linéaires, gestion adaptative, stressseurs environnementaux, synergie

Abstract

The intensification of human activity in the Estuary and Gulf of St. Lawrence (Canada) imposes the need for a systematic planning approach for the use of marine resources. There is, however, currently no regional cumulative impact assessment for the St. Lawrence. Many of the human activities in this area (e.g., shipping, fisheries and aquaculture) impose environmental threats (e.g., habitat destruction) that may jeopardize ecosystem structure and function. Increasingly, these threats are overlapping spatially, which induces synergies causing unpredictable non-linear effects on ecosystems. These effects are still poorly understood and consequently neglected in environmental impact assessments, which remain focused on single species or sectors, and on the approval of specific projects. To efficiently evaluate cumulative impacts in the St. Lawrence, it will be important to: 1) improve our knowledge concerning the impacts of multiple threats to ecosystems; 2) improve the accessibility to, and the applicability of, cumulative impact tools; 3) identify relevant human and environmental indicators of cumulative impacts; 4) create a data sharing, and human impact and environmental monitoring protocol; and 5) develop an adaptive management approach for the St. Lawrence. Systematic planning of the use of natural resources in the St. Lawrence will require an integrated overview of the structure and function of its ecosystems, and of the sources of stresses affecting them. Such an approach will only be feasible once the necessary infrastructures and tools for ecosystem-based management of the area have been developed.

KEYWORDS: adaptive management; environmental stressors; human activities; non-linear effects; synergy

Introduction

Que ce soit à travers des activités comme la pêche ou le transport maritime, l'homme impose de profonds changements sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes marins et compromet leur intégrité (Myers et Worm, 2003; Worm et collab., 2006; Estes et collab., 2011). L'intensification des activités humaines entraîne un chevauchement spatial croissant des différents stressseurs, de telle sorte que peu de milieux demeurent libres de l'empreinte humaine (Halpern et collab., 2008b, 2015). L'intégrité des écosystèmes est ainsi attaquée sur plusieurs fronts, avec des conséquences parfois imprévisibles.

David Beaudesne est candidat au doctorat en océanographie à l'Institut des sciences de la mer (ISMER) de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR).

david.beaudesne@uqar.ca.

Cindy Grant est auxiliaire de recherche à l'ISMER.

cindy_grant@uqar.ca.

Dominique Gravel est professeur au Département de biologie de l'Université de Sherbrooke.

dominique_gravel@usherbrooke.ca.

Philippe Archambault est professeur à l'ISMER et codirecteur du réseau Notre Golfe.

philippe_archambault@uqar.ca

Les activités humaines en milieu marin ont ainsi été collectivement qualifiées de syndromes d'ordre supérieur de changements globaux océaniques (Duarte, 2014; Boonstra et collab., 2015). Les impacts cumulés ont alors été identifiés comme principale priorité de recherche en sciences marines par plus de 2 000 scientifiques venant des sciences physiques, écologiques et sociales (Rudd, 2014) et sont mentionnés répétitivement parmi les questions de recherche marine prioritaires au Canada (CCA, 2012).

La disponibilité et l'accessibilité aux ressources marines augmentent rapidement l'intérêt porté à l'estuaire et au golfe du Saint-Laurent (EGSL). Ce vaste écosystème est d'ailleurs actuellement identifié en tant que vecteur clé pour la croissance économique du Québec (Gouvernement du Québec, 2015). Cette stratégie maritime laisse présager un accroissement imminent des activités humaines au sein d'un écosystème où les impacts des pressions anthropiques actuelles demeurent largement incompris (Dufour et Ouellet, 2007; Benoît et collab., 2012).

L'intensification de l'empreinte humaine dans le Saint-Laurent imposerait une planification systémique de l'exploitation (c'est-à-dire toute activité extractive ou non extractive) de ses ressources marines. À l'instar de la planification systémique de la conservation (Margules et Pressey, 2000), la planification systémique de l'exploitation des ressources viserait à suivre une démarche objective et proactive de gestion, basée sur des objectifs clairs et qui intègre l'ensemble des activités susceptibles d'affecter les ressources naturelles. L'accumulation des impacts imposés à la structure et au fonctionnement des écosystèmes du Saint-Laurent demeure toutefois encore largement incomprise, comme ailleurs sur le monde (Halpern et collab., 2008b; Halpern et Fujita, 2013). Les évaluations d'impacts environnementaux canadiennes sont ainsi encore aujourd'hui orientées sur des espèces ou des secteurs uniques et se concentrent davantage sur l'approbation de projets (Dubé et collab., 2006; Duinker et Greig, 2006; Crowder et Norse, 2008).

Il se dégage ainsi une incohérence entre la volonté d'assurer une gestion durable des ressources, nécessitant une vision holistique, et une gestion isolée des stress sur les écosystèmes. Une évaluation des impacts cumulés dans le Saint-Laurent demeure ainsi inexistante. L'objectif de cet article est d'établir un état des connaissances sur les impacts cumulés dans le Saint-Laurent. Nous identifions également les principaux défis de recherche et de gestion à relever afin de permettre une évaluation des impacts cumulés efficace pour le Saint-Laurent.

Les impacts cumulés au Canada

Pour définir convenablement les impacts cumulés, il importe de définir certaines notions. Une activité humaine est un processus par lequel l'homme exploite ou altère un milieu naturel (p. ex. la pêche; Halpern et collab., 2007). Un stressor environnemental est un processus d'origine naturelle ou anthropique pouvant perturber un milieu au-delà de ses limites de tolérance (Kappel et collab., 2012). L'extraction de biomasse occasionnée par la pêche peut ainsi être considérée comme un stressor environnemental. Similairement, une

variable d'état, comme la température, peut également entraîner un stress environnemental lorsqu'elle varie au-delà de ses limites naturelles de variabilité. Ces anomalies peuvent alors être caractérisées et considérées comme des stressors environnementaux. Une perturbation est l'effet mesurable d'un ou plusieurs stressors sur des variables biotiques ou abiotiques (Dunne et collab., 2002; Montoya et collab., 2009). Finalement, un impact est un changement mesuré en comparant un point initial à un point final pour un indicateur et une intensité de référence (Dubé et collab., 2006).

Les impacts cumulés correspondent à l'accumulation ou à l'accroissement progressif d'un ou de plusieurs impacts sur le milieu naturel (Peterson et collab., 1987). La législation canadienne définit les impacts cumulés comme : *L'impact sur l'environnement résultant des effets d'un projet combinés à ceux d'autres projets et activités antérieurs, actuels et imminents (Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, 1992)*. Cette définition considère, entre autres, des échelles spatiales et temporelles variables, les interactions avec d'autres activités passées, présentes et futures, l'importance relative des impacts et leur intensité (Hegmann et collab., 1999). De façon plus imagée, les impacts cumulés s'apparentent à la mort par un millier de coupures (Therivel et Ross, 2007).

L'évaluation des impacts cumulés permet de considérer l'ensemble des stressors imposés sur un milieu naturel (Hegmann et collab., 1999; Dubé et collab., 2006; Krausman et Harris, 2011). Le processus d'évaluation des impacts cumulés ne cherche pas à remplacer les évaluations d'impacts ciblées sur des secteurs ou des espèces particulières, qui demeurent essentielles. Ces évaluations négligent toutefois de considérer les interactions et le chevauchement spatiotemporel entre les activités et les processus par lesquels elles affectent l'intégrité des milieux perturbés (Halpern et collab., 2008a). L'évaluation des impacts cumulés agit ainsi en tant qu'extension à ces évaluations pour favoriser une gestion systémique de l'exploitation du milieu naturel (Krausman et Harris, 2011).

L'incohérence entre la législation relative à l'évaluation des impacts cumulés et l'application réelle de ces évaluations est manifeste; le processus se concentre davantage sur l'approbation de projets individuels plutôt que sur la protection environnementale (Duinker et Greig, 2006). En effet, une approche par secteur ou par espèce est habituellement adoptée lors de l'évaluation des impacts de projets (Dubé et collab., 2006; Crowder et Norse, 2008), ignorant de fait les interactions potentielles de multiples pressions environnementales exercées simultanément. Une image partielle et une approche réactive se dégagent alors des pratiques usuelles d'évaluation des impacts environnementaux, menant plusieurs scientifiques à dénoncer les performances d'un système jugé imparfait et nécessitant une restructuration majeure (Kennett, 1999; Duinker et Greig, 2006).

Évaluation des impacts cumulés

Plusieurs méthodologies ont été développées afin d'évaluer les impacts cumulés (voir Krausman et Harris, 2011). Dans le cadre de cet article, nous nous concentrerons toutefois sur les exercices récents qui étudient les impacts cumulés en

milieu marin. Plusieurs exemples peuvent être trouvés dans la littérature (p. ex. Halpern et collab., 2008b, 2015; Vörösmarty et collab., 2010; Korpinen et collab., 2013). L'étude de Halpern et collab. (2008b) a enclenché une transition vers une étude systémique des impacts cumulés sur les océans. Cette étude a démontré que peu d'écosystèmes demeurent aujourd'hui libres de l'empreinte humaine à l'échelle planétaire et que la majorité des écosystèmes sont affectés par de multiples stressseurs environnementaux. Ce constat est d'ailleurs supporté par la majorité des études similaires (p. ex. Ban et Alder, 2008; Ban et collab., 2010; Micheli et collab., 2013). Une mise à jour de l'évaluation initiale (Halpern et collab., 2015) a également démontré un accroissement des impacts cumulés entre 2008 et 2013 sur près de 60 % du globe.

Les résultats obtenus par ces 2 études (Halpern et collab., 2008b, 2015) nous fournissent l'unique évaluation d'impacts cumulés sur les écosystèmes du Saint-Laurent. On y observe des impacts cumulés d'intensité faible ou intermédiaire, ainsi qu'une augmentation des impacts cumulés entre 2008 et 2013. Il s'agit toutefois d'une comparaison planétaire qui permet uniquement une comparaison des impacts relatifs imposés sur les différentes régions du globe. Cette analyse néglige conséquemment les particularités locales et les données à fine résolution disponibles à l'échelle du Saint-Laurent. Par exemple, des données d'hypoxie (< 30 % saturation d'oxygène) globale étant indisponibles, ce facteur de stress n'a pu être considéré. Il s'agit toutefois d'un enjeu d'importance identifié pour le Saint-Laurent (Benoît et collab., 2012) et pour lequel des données spatiales y sont actuellement disponibles (p. ex. Gilbert et collab., 2007). De la même manière, des données d'anomalies de températures de surface à fine résolution associées aux changements climatiques sont disponibles à l'échelle régionale (Galbraith et collab., 2012). Ce constat étant partagé pour d'autres régions, plusieurs analyses ont été effectuées à des échelles locales et régionales afin de raffiner les résultats obtenus à l'échelle planétaire, permettant ainsi de capturer plus fidèlement les particularités d'une région d'intérêt (Halpern et collab., 2009; Selkoe et collab., 2009). Ces analyses permettent alors de guider convenablement les gestionnaires en leur fournissant des évaluations adaptées à leurs besoins, à l'échelle où sont prises les décisions.

Évaluation régionale des impacts cumulés dans le Saint-Laurent

L'approche préconisée par Halpern et collab. (2008b) nécessite la caractérisation de 3 types de variables en vue de calculer un score d'impacts cumulés, soit : 1) une cartographie des stressseurs environnementaux dans le lieu d'étude, 2) une cartographie des éléments naturels d'intérêt (p. ex. écosystèmes ou espèces) et 3) une évaluation de la vulnérabilité des éléments naturels aux stressseurs environnementaux. Ces éléments sont ensuite croisés spatialement afin d'évaluer la co-occurrence, ou l'exposition, des éléments naturels d'intérêt aux stressseurs environnementaux. Une approche intégrative pour l'étude de l'écologie du Saint-Laurent est déjà bien documentée et permet

d'identifier des milieux d'intérêt écologiques. Citons par exemple l'identification des habitats benthiques, épipélagiques et côtiers (Dutil et collab., 2011, 2012), l'identification des zones d'intérêt écologique et biologique (ZIEB; Savenkoff et collab., 2007) et la cartographie des types de communautés benthiques dans le nord du golfe du Saint-Laurent (Moritz et collab., 2013).

L'évaluation des impacts cumulés nécessite une étape additionnelle, c'est-à-dire l'évaluation du chevauchement spatial entre les milieux naturels et l'ensemble des stressseurs environnementaux historiques, actuels et émergents (figure 1). Cette vision intégrative demeure toutefois absente pour l'évaluation des sources de stress dans le Saint-Laurent. À notre connaissance, les rapports de Dufour et Ouellet (2007) et Benoît et collab. (2012) sont les seuls ouvrages récents offrant une vue d'ensemble des différentes activités humaines et des sources de stress environnementaux dans le Saint-Laurent. Ces derniers ont identifié divers enjeux environnementaux en fonction de leur importance et leur probabilité d'agir cumulativement dans l'EGSL. La description des stressseurs du Saint-Laurent provient essentiellement de ces 2 rapports, à moins d'indication contraire.

Le potentiel d'exploitation des ressources fait du Saint-Laurent un vecteur économique d'une importance capitale pour le Québec et le Canada. Les principales activités économiques sont la pêche commerciale, le transport maritime, le tourisme et l'aquaculture (tableau 1). Les pêches commerciales et récréatives touchent, dans le Saint-Laurent, une cinquantaine d'espèces incluant les poissons de fond, les poissons pélagiques, les mollusques et les crustacés, de même que les algues et les phoques. La pression exercée par les activités de pêche sur les stocks a entraîné, au cours des dernières décennies, l'essor de l'aquaculture. Près de 2000 sites aquacoles sont recensés dans l'EGSL, mais presque tous sont concentrés dans le sud du golfe. Les côtes de l'Île-du-Prince-Édouard, de la Nouvelle-Écosse et du Nouveau-Brunswick produisent ainsi la quasi-totalité des moules et des huîtres d'élevage issues de l'EGSL.

Mis à part le potentiel commercial de ses espèces, le Saint-Laurent soutient le commerce de marchandises diverses et de nombreux navires y transitent chaque année. Avec plus de 40 ports en mesure d'accueillir des navires commerciaux, l'EGSL est en tête de liste lorsqu'il est question de transport maritime dans l'est du pays. De plus, avec la navigation de plaisance et l'augmentation du nombre de croisières et d'excursions en mer, le Saint-Laurent est non seulement un atout économique dans les secteurs de l'exploitation des ressources naturelles et du transport maritime, mais également un lieu d'intérêt pour l'industrie touristique.

Le Saint-Laurent accueillera également diverses activités émergentes, tandis que d'autres actuellement pratiquées s'intensifieront dans un futur rapproché. La stratégie maritime québécoise prévoit, entre autres, une amélioration et une augmentation des capacités des infrastructures portuaires, une augmentation du trafic maritime à caractère industriel et touristique, et une valorisation des produits issus des activités

Tableau 1. Principales activités humaines au sein de l’EGSL décrites en fonction des stressseurs environnementaux qui leur sont associés (inspiré de Dufour et Ouellet, 2007; Benoît et collab., 2012). Ne sont pas présentes dans ce tableau les boucles de rétroaction à travers lesquelles un stressseur peut affecter une autre activité humaine, telle que l’hypoxie qui influence la distribution des ressources halieutiques et ainsi les activités de pêche commerciale.

Activité	Sous-activité	Stress environnementaux															
		Acidification	Apports d’eau douce	Collisions	Contaminants	Courants/masses d’eau	Déchets/eaux usées	Destruction de l’habitat	Déversements accidentels hydrocarbures	Éléments nutritifs/déchets organiques	Élimination en mer	Espèces envahissantes	Hypoxie	Obstruction du courant	Parasites/maladies	Perturbation/dérangement	Prélèvement de la biomasse
Pêches	Pêche commerciale et récréative						X	X	X							X	X
	Usines de transformation						X				X			X			
Aquaculture*									X		X		X	X			
Transport maritime	Entretiens des voies navigables*		X		X			X		X						X	
	Transport de marchandises et de personnes*			X	X		X		X		X					X	
	Transport relié aux activités de pêche			X	X		X		X							X	
	Infrastructures portuaires*							X					X				
Production hydroélectrique	Modification du bassin versant	X	X		X				X			X					
Activités en milieu terrestre	Établissements humains	X				X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	
	Activités industrielles	X			X		X			X		X					
	Agriculture	X	X		X		X			X		X					
Industrie pétrolière et gazière en mer	Prospection sismique															X	
	Forage exploratoire							X								X	
	Exploitation**	X			X		X	X	X	X		X				X	
Tourisme	Aménagement côtier				X		X	X	X							X	
	Navigation de plaisance*			X	X		X		X		X					X	

*Activités ou sous-activités pour lesquelles une intensification est prévisible dans un futur rapproché

**Activités ou sous-activités émergentes

de pêche et d’aquaculture (Gouvernement du Québec, 2015). La présence d’hydrocarbures suscite également un intérêt grandissant pour l’EGSL, avec le prospect Old Harry chevauchant la limite entre le Québec et Terre-Neuve, et plus de 60 000 km de relevés sismiques effectués depuis les années 1960 (MPO, 2013a). Malgré un moratoire en place depuis 1997 pour la portion québécoise du golfe, un intérêt clair est attribué à l’exploration des hydrocarbures dans le Saint-Laurent (p. ex. MPO 2013b), suggérant qu’une exploitation des hydrocarbures peut être pressentie dans le Saint-Laurent. Des activités de pêche émergente, comme l’exploitation du concombre de mer (*Cucumaria frondosa*), sont également en essor dans le Saint-Laurent (p. ex. Campagna et collab., 2005).

Finalement, les changements climatiques vont vraisemblablement imposer des changements importants sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes du Saint-Laurent et pourraient exacerber l’impact de stressseurs déjà observés dans le Saint-Laurent comme les anomalies de températures de surface (Dufour et Ouellet, 2007).

Impacts combinés de multiples stressseurs environnementaux

L’étendue spatiotemporelle et le chevauchement important des activités humaines peuvent multiplier les stressseurs environnementaux imposés sur une quantité considérable de

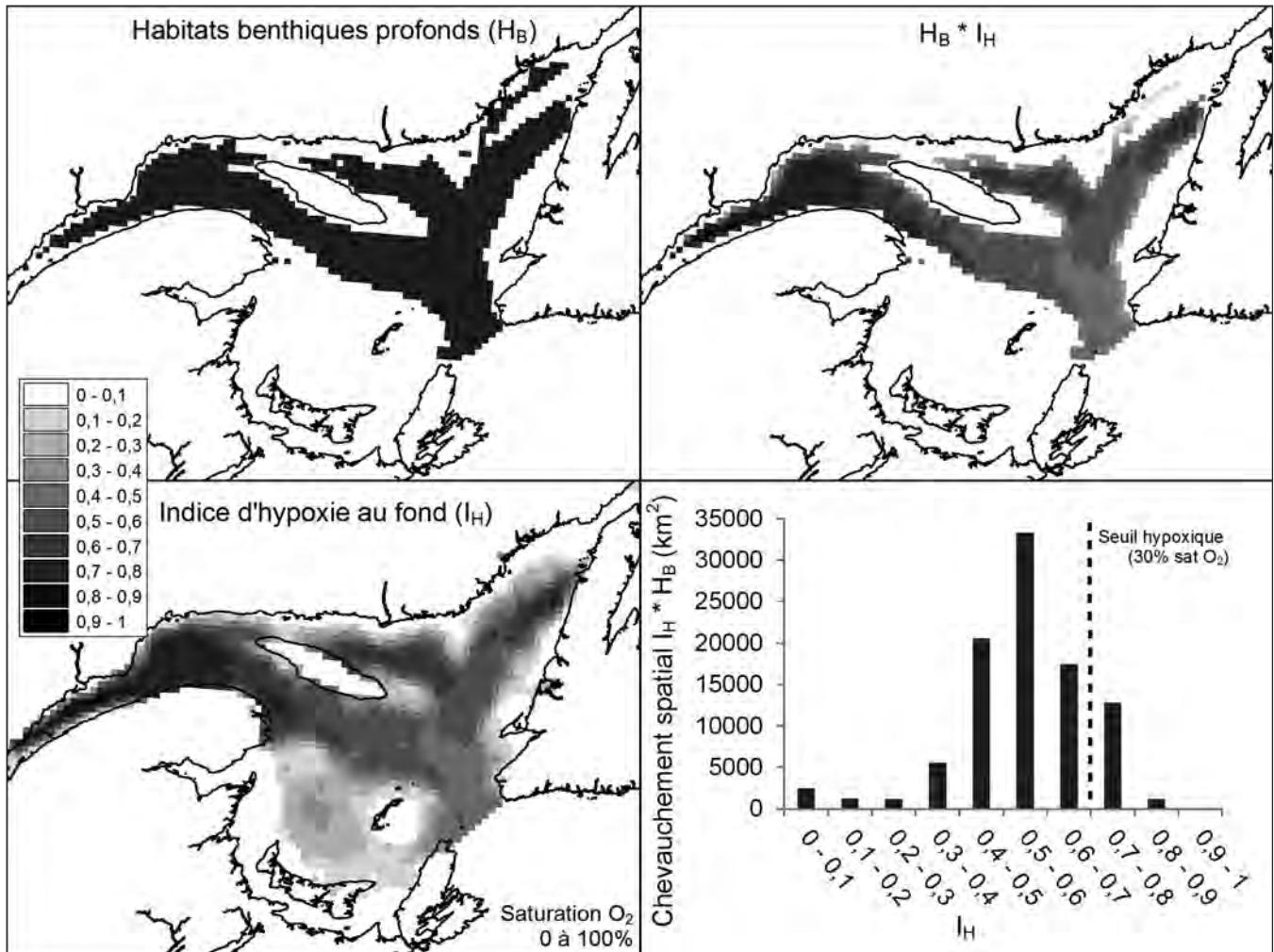


Figure 1. Cartographie des habitats benthiques profonds H_B et d'un indice d'hypoxie I_H pour l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. L'indice d'hypoxie a été calculé en normalisant les valeurs de saturation en oxygène au fond entre 0 et 1, de telle sorte que la saturation en oxygène diminue plus la valeur de l'indice tend vers 1. La combinaison des habitats benthiques ($H_B * I_H$) permet de visualiser le chevauchement spatial entre les 2 variables. L'histogramme présente la superficie des habitats benthiques en fonction de classes d' I_H . Cette cartographie met en évidence la nécessité de considérer l'exposition des éléments écologiques d'intérêt aux différents stressors qui leur sont imposés. Les données d'habitats benthiques profonds et de saturation en oxygène proviennent de Dutil et collab. (2011).

ressources et de processus écologiques (MacDonald, 2000). D'abord, l'ensemble des activités humaines pratiquées dans le Saint-Laurent peut perturber directement et de plusieurs façons la biodiversité, par exemple la destruction de l'habitat et l'extraction de biomasse par la pêche (tableau 1). De plus, plusieurs activités humaines peuvent être à la source de stress indirect, comme le dérangement engendré par le trafic maritime et l'exploitation des hydrocarbures (tableau 1). Même individuellement, chaque stressor peut affecter la structure et le fonctionnement des écosystèmes (Jackson et collab., 2001; Steffen et collab., 2007). Ainsi, la surpêche a entraîné une chute du stock de poissons démersaux du Saint-Laurent (Frank et collab., 2005). En contrepartie, certaines activités de pêche semblent avoir atteint un seuil de perturbation au-delà duquel l'application de stress supplémentaire n'affecte plus les communautés (Moritz et collab., 2015). Le trafic maritime affecte également le comportement de mammifères marins dans le Saint-Laurent (p. ex. Lesage et

collab., 1999). À l'inverse, des impacts positifs peuvent parfois être observés, par exemple lors d'accroissement de la biomasse d'espèces commerciales sous certains sites d'aquaculture de moules aux Îles-de-la-Madeleine et à l'Île-du-Prince-Édouard (Clynick et collab., 2008; D'Amours et collab., 2008; Drouin et collab., 2015).

Imposés simultanément ou lors d'ajouts successifs, les stressors environnementaux possèdent toutefois un fort potentiel d'interactions (Worm et collab., 2002) qui peut entraîner des effets écologiques synergiques ou antagonistes difficiles à prédire (figure 2; Crain et collab., 2008; Darling et Côté, 2008; Halpern et collab., 2008a; Krausman et Harris, 2011). Les impacts cumulés de multiples stressors peuvent ainsi être supérieurs ou inférieurs à la somme de leur impact respectif (figure 2). Malgré cela, les analyses d'impacts cumulés continuent généralement de supposer des effets additifs entre stressors. Les effets non linéaires peuvent s'exprimer selon divers mécanismes. Par exemple, l'acidification peut causer des

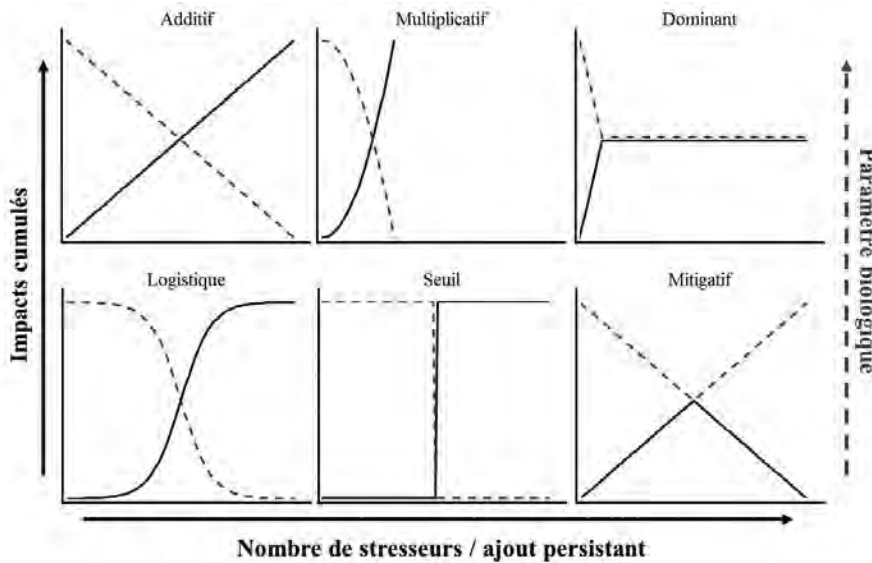


Figure 2. Représentation théorique de l'évolution des impacts cumulés en fonction de l'ajout d'un stressleur unique ou d'autres stresseurs. Les impacts cumulés sont également représentés par un marqueur biologique de changement au niveau d'une variable d'intérêt (p. ex. abondance ou connectivité d'un réseau). Les stresseurs peuvent interagir de plusieurs façons : les impacts totaux peuvent correspondre à la somme des impacts individuels, les impacts de plusieurs activités peuvent causer une multiplication des effets individuels, un stressleur unique peut dominer l'effet des autres stresseurs, les impacts peuvent croître logistiquement ou abruptement lors de l'atteinte d'un seuil de tolérance, et l'effet d'un stressleur peut être antagoniste à celui d'un autre et ainsi mitiger son effet. Finalement, les impacts totaux observés peuvent correspondre à une combinaison de plusieurs de ces cas théoriques (inspirée de Peterson et collab. (1987) et Halpern et collab. (2008a)).

écosystème (Adams, 2005; Montoya et collab., 2009; Burns et collab., 2014). La chute des poissons démersaux du Saint-Laurent a ainsi entraîné des cascades trophiques dans le golfe (Frank et collab., 2005). Les effets non linéaires pressentis demeurent toutefois inconnus (deYoung et collab., 2008; Halpern et Fujita, 2013; Côté et collab., 2016). Ces derniers sont ainsi largement ignorés dans le cadre d'évaluations d'impacts cumulés, qui assument généralement une relation linéaire additive entre le nombre de stresseurs et les impacts totaux observés (Halpern et collab., 2008b).

Le cas de la morue du golfe du Saint-Laurent

La morue (*Gadus morhua*) fournit un exemple intéressant des impacts de multiples stresseurs environnementaux et de la nécessité d'adopter une approche intégrative lors d'évaluations d'impacts. La morue a connu un déclin draconien dans les années 1990 ayant mené à l'imposition de moratoires sur l'exploitation des poissons de fond et éventuellement à sa désignation *en voie de disparition* (stock

problèmes respiratoires par hypercapnie chez certaines espèces, qui nécessitent alors un apport accru en oxygène (Pörtner et collab., 2005; Mucci et collab., 2011). Ainsi, chaque effet peut être bénin lorsque pris individuellement, mais les conséquences de stress faibles qui sont néanmoins synchronisées peuvent être dramatiques. L'effet de l'acidification peut ainsi être exacerbé lorsqu'on l'observe en milieu pauvre en oxygène (Pörtner et collab., 2005; Mucci et collab., 2011). Bien que les effets individuels puissent être aisément prévisibles au-delà d'un seuil individuel, comme le cas de l'hypoxie, la gestion de ces stresseurs devient incertaine sous ces seuils lorsque plusieurs stresseurs en interactions sont présents (figure 3).

Des effets non linéaires peuvent également survenir en raison de la complexité des interactions biotiques formant la structure des communautés, qui peut être à la base d'une propagation indirecte des perturbations au sein des écosystèmes (Yodzis, 2000; Montoya et collab., 2009; O'Gorman et Emmerson, 2009). Puisque les impacts des stresseurs peuvent être très contrastés entre espèces, la réponse des communautés aux stresseurs multiples dépend de la co-tolérance des espèces à chaque stressleur (Vinebrooke et collab., 2004). La communauté intègre ainsi l'ensemble des stress pouvant affecter l'abondance, la diversité et l'état des individus, des populations et des communautés au sein d'un

de morue du nord du golfe) par le Comité pour la situation des espèces en péril au Canada (COSEPA). À la suite de ce déclin causé par une surpêche importante, la température de l'eau, la pression de prédation sur les juvéniles, la compétition pour les ressources et les pêcheries semblent maintenant agir en synergie pour limiter le rétablissement de ce stock de morue (Bundy et Fanning, 2011; Bousquet et collab., 2014). L'échec du rétablissement semble donc causé par une combinaison de facteurs environnementaux, d'interactions biotiques avec des prédateurs et des compétiteurs et par les activités humaines. Il est donc clair que seule l'adoption d'une approche intégrative, autant pour les variables environnementales que pour les vecteurs de stress, permet une compréhension adéquate de la situation de la morue dans le golfe du Saint-Laurent.

Défis de recherche et de gestion

L'étude des impacts cumulés constitue un enjeu essentiel pour le Saint-Laurent. Cet enjeu demeure particulièrement complexe à plusieurs égards, et de nombreux défis d'ordre législatif, économique, social et scientifique doivent être relevés. Nous présentons ainsi 5 défis de recherche et de gestion prioritaires en vue de permettre une évaluation des impacts cumulés dans le Saint-Laurent.

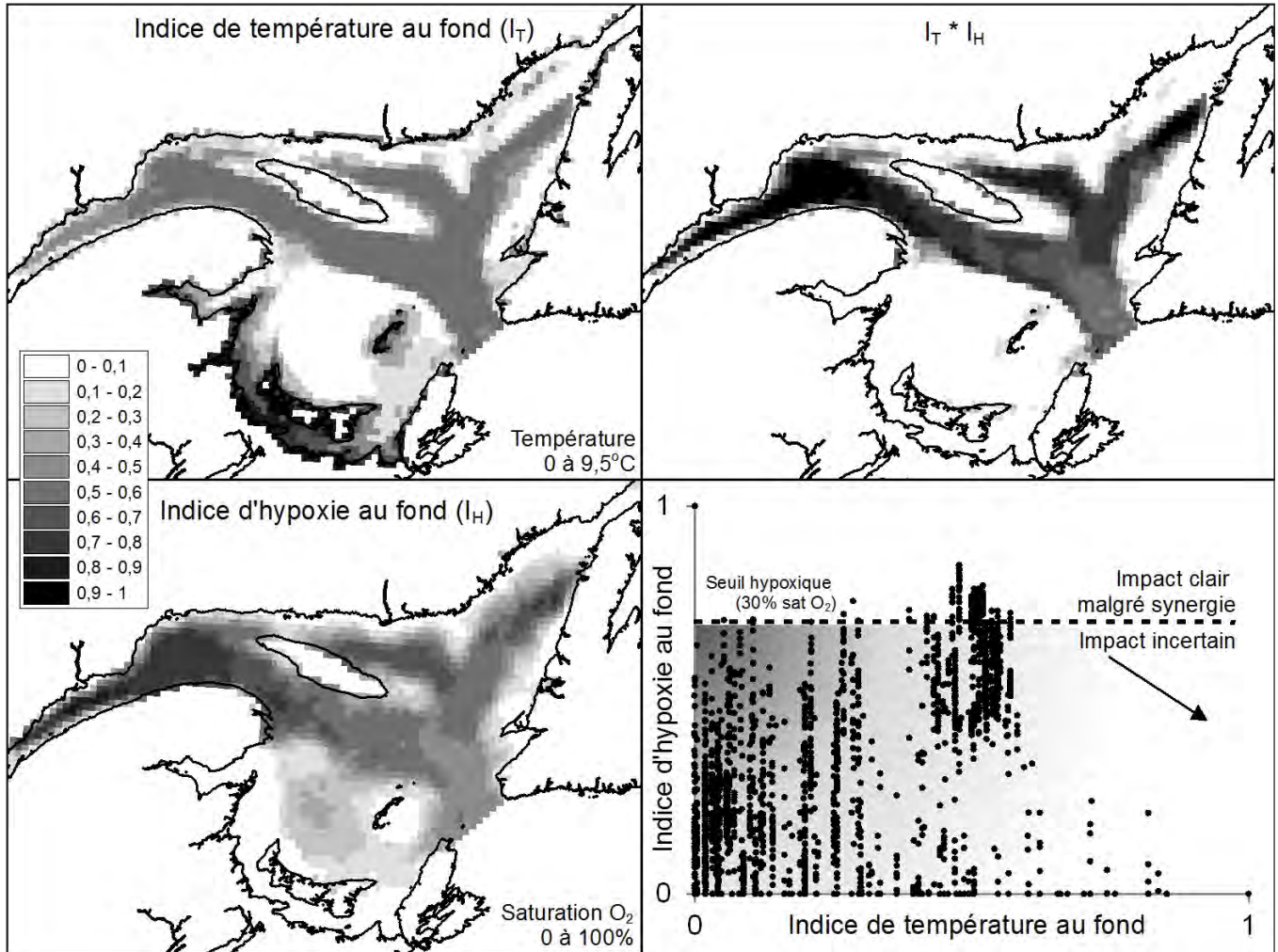


Figure 3. La cartographie d'indices de température I_T et d'hypoxie I_H pour l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent révèle l'importance d'étudier les impacts cumulés. Les indices ont été calculés en normalisant les valeurs de température moyenne et de saturation en oxygène au fond entre 0 et 1, de telle sorte que plus les températures augmentent et la saturation en oxygène diminue, plus la valeur de leur indice tend vers 1. La combinaison des 2 indices ($I_T * I_H$) permet de visualiser l'interaction spatiale entre les 2 variables. Le graphique de I_H en fonction de I_T fournit une représentation graphique de l'interaction entre les 2 variables. Le seuil hypoxique nous sert de limite conceptuelle au-delà de laquelle un impact du stresser est aisément prévisible malgré une interaction avec la température qui exacerbe son effet. Tel que représenté par la zone ombragée du graphique, les effets sont incertains sous ce seuil, les zones foncées étant plus à risque. Les données de température et de saturation en oxygène proviennent de Dutil et collab. (2011).

Défi 1. Améliorer l'état des connaissances des impacts de stressers multiples sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes

Les interactions pressenties entre de multiples stressers et leur propagation non linéaire au sein des communautés demeurent largement incomprises (Côté et collab., 2016). La diversité des stressers imposés cause une multiplication des chemins d'impacts potentiels (MacDonald, 2000; Montoya *et al.*, 2009). L'utilisation d'approches expérimentales pour l'étude des impacts cumulés est ainsi limitée à cause du nombre de stressers et de leurs interactions potentielles. Les études expérimentales s'intéressent alors typiquement à un nombre limité de stressers sur des espèces ou communautés

restreintes (p. ex. McElroy, 2014), limitant les généralisations possibles de ces études. L'approfondissement des fondements théoriques sur les effets de multiples stressers est ainsi indispensable à une compréhension des impacts cumulés sur les écosystèmes (Côté et collab., 2016)

Pour répondre à ces lacunes, nous suggérons l'établissement d'un programme scientifique visant l'acquisition de connaissances théoriques sur les effets de multiples stressers sur les composantes des écosystèmes. À l'instar de plusieurs expériences qui ont révélé le rôle bénéfique d'une biodiversité croissante sur le fonctionnement des écosystèmes (Duffy, 2009), nous suggérons de mettre en place des expérimentations stressers-fonctionnement des écosystèmes (SFE). En variant le nombre de stressers, nous évaluerons la

fréquence et les conditions menant à des effets non linéaires. De plus, puisque des effets non linéaires peuvent être causés par les interactions indirectes au sein des communautés, nous recommandons de porter une attention toute particulière à l'étude des impacts de multiples stressseurs sur la structure des communautés.

Défi 2. Améliorer et faciliter l'applicabilité des méthodes d'évaluation des impacts cumulés

Diverses suppositions de base sont adoptées par les méthodes d'évaluation des impacts cumulés (Halpern et Fujita, 2013), comme l'additivité de l'impact des stressseurs (voir défi 1) et l'utilisation typique des écosystèmes comme échelle d'organisation écologique d'intérêt pour les analyses (Halpern et collab., 2008b; Ban et collab., 2010; Allan et collab., 2013). Les analyses à l'échelle des écosystèmes assument toutefois une réponse identique des composantes des écosystèmes à l'ensemble des stressseurs. Des méthodes considérant ces limitations devraient ainsi être élaborées. Par contre, l'accroissement de la complexité des méthodologies nécessite habituellement une expertise approfondie et une quantité considérable de données, limitant leur applicabilité dans le cadre d'évaluations des impacts cumulés (Krausman et Harris, 2011). Nous suggérons donc le développement d'outils accessibles, nécessitant une quantité de données minimale, et considérant la complexité des composantes structurant les écosystèmes. Par exemple, diverses approches prédictives, comme les modèles de répartition d'espèces (p. ex. Phillips et collab., 2006) et les modèles de structure des communautés (p. ex. Gravel et collab., 2013; Albouy et collab., 2014), permettent de caractériser la structure complexe des écosystèmes aisément à partir d'une quantité restreinte de données. Utilisés en combinaison avec une cartographie des stressseurs du Saint-Laurent, ces derniers pourraient améliorer et faciliter les processus d'évaluation d'impacts environnementaux.

Défi 3. Identifier des indicateurs d'impacts cumulés pour le Saint-Laurent

L'utilisation d'indicateurs permet de prioriser et d'optimiser les efforts déployés en identifiant des éléments qui capturent une part importante des changements observés ou anticipés dans un milieu d'intérêt (Pereira et collab., 2013). De plus, les indicateurs appuient le développement de protocoles standardisés permettant des comparaisons à l'échelle régionale à partir de données récoltées localement (Pereira et collab., 2013). Nous suggérons donc d'identifier des indicateurs permettant de capturer convenablement les impacts cumulés dans le Saint-Laurent. Des indicateurs environnementaux standardisés provenant d'une initiative internationale récente qui identifie des variables essentielles de biodiversité (VEB) pourraient guider cette initiative (p. ex. répartition et abondance des espèces, diversité taxonomique et structure des habitats; Pereira et collab., 2013). Nous suggérons également de démarrer une initiative similaire visant l'identification de variables essentielles

de stressseurs (VES) afin d'identifier et de standardiser des variables caractérisant les stressseurs environnementaux d'origine anthropique et naturelle dans le Saint-Laurent. Finalement, nous suggérons de poursuivre les travaux dans le domaine de l'identification de signaux précurseurs de changements qui permettent de définir et de détecter des signaux révélateurs de transitions écologiques (p. ex. augmentation de la variabilité et de l'autocorrélation dans un système; Boettiger et collab., 2013). L'identification et le suivi de ce type d'indicateurs permettraient d'anticiper des changements environnementaux majeurs au sein du Saint-Laurent en vue d'opérer dans un mode de gestion de risques environnementaux proactif.

Défi 4. Créer un protocole de suivi environnemental et humain et une plateforme de partage d'informations

Un défi de gestion devrait viser à accroître l'accessibilité et la disponibilité de données caractérisant la structure des écosystèmes et les activités humaines, ce qui représente un enjeu majeur pour permettre une évaluation intégrative de l'état du Saint-Laurent. Nous suggérons ainsi l'établissement d'un protocole de suivi environnemental et humain dédié à l'évaluation systémique de l'état des écosystèmes et de l'intensité des activités humaines dans l'EGSL. Ce protocole devrait impérativement valoriser des suivis existants (p. ex. pêches plurispécifiques de Pêches et Océans Canada; MPO, 2015), qui pourraient permettre une évaluation de base des impacts cumulés dans le Saint-Laurent. Certaines de ces données ne sont toutefois pas standardisées à l'échelle du Saint-Laurent et n'ont pas pour objectif la planification systémique de l'exploitation des ressources. Un protocole de suivi ayant cet objectif spécifique devrait ainsi être élaboré et devrait viser le suivi périodique des indicateurs éventuellement identifiés par l'atteinte du défi 3 et l'application de méthodes d'évaluation d'impacts cumulés (p. ex. Halpern et collab., 2008b). Des protocoles et programmes internationaux déjà élaborés, comme ceux issus du *Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network* (GEO BON; Scholes et collab., 2012) et du *Census of Marine Life* (CoML, 2010) pourraient également guider une telle initiative afin de favoriser sa cohérence avec d'autres projets ailleurs dans le monde.

De plus, ce protocole devrait impérativement viser un partage efficace et une standardisation régionale des données récoltées entre les régions administratives du Saint-Laurent (Québec, Terre-Neuve-et-Labrador, Nouvelle-Écosse, Nouveau-Brunswick et Île-du-Prince-Édouard). Ce protocole devrait valoriser des plateformes actuellement en place, comme l'Observatoire global du Saint-Laurent (OGSL, 2016) et des réseaux comme *Notre Golfe* (Archambault et collab., 2016, dans ce numéro). Un accent tout particulier devrait être donné par tous les acteurs académiques, gouvernementaux et privés à l'accès libre aux données, un élément qui encouragerait l'application d'une démarche scientifique rigoureuse et transparente telle qu'appliquée dans un système de révision par les pairs.

Défi 5. Développer une capacité de gestion adaptative pour le Saint-Laurent

Les défis identifiés visent essentiellement l'élaboration d'approches diagnostiques permettant l'évaluation des impacts cumulés. Ces dernières sont nécessaires afin d'assurer une gestion efficace d'un milieu d'intérêt. Par contre, tous les stressors ne peuvent être gérés similairement ou avec autant de succès, et certains imposent des changements qui sont inévitables, comme les changements climatiques. Les outils de gestion adoptés doivent ainsi avoir la capacité d'intégrer les particularités inhérentes à l'ensemble des stressors considérés conjointement. De plus, les outils diagnostiques proposés ne seront vraisemblablement pas développés à court terme. Dans l'intérêt, il importe alors d'employer des mesures de gestion robustes face à l'incertitude associée aux effets de multiples stressors sur les milieux naturels (Côté et collab., 2016). Nous suggérons ainsi de développer une capacité de gestion adaptative conséquente à une approche de gestion écosystémique (p. ex. Rice et Rochet, 2005) permettant de considérer les bouleversements inévitables et l'incertitude associée à ces derniers en vue d'assurer le maintien de la structure et du fonctionnement des écosystèmes du Saint-Laurent.

Conclusion

L'intensification imminente des activités humaines dans le Saint-Laurent met en évidence la nécessité d'adopter une approche de planification systémique de l'exploitation de ses ressources naturelles. Toutefois, l'état des connaissances sur les pressions exercées sur le Saint-Laurent nous permet d'obtenir qu'une compréhension imparfaite des impacts cumulés. À long terme, il nous apparaît ainsi impératif de viser l'amélioration de nos connaissances sur les effets de multiples stressors sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes, le développement de méthodologies robustes et accessibles d'évaluation d'impacts cumulés, l'identification d'indicateurs régionaux standardisés capturant convenablement les impacts cumulés et de consolider le tout au sein d'un protocole d'acquisition, de suivi et de partage des données visant la planification systémique de l'exploitation des ressources naturelles. Finalement, une approche de gestion adaptative permettrait de tester et d'employer, à court terme, des mesures de gestion robustes face à l'incertitude associée aux effets de multiples stressors sur les écosystèmes du Saint-Laurent. La planification systémique de l'utilisation des ressources naturelles au sein du Saint-Laurent requiert une vision intégrative des écosystèmes et des vecteurs de stress qui leur sont imposés. Une telle approche ne sera réalisable que lorsque nous aurons développé ces infrastructures et ces outils, nécessaires à une gestion écosystémique du Saint-Laurent.

Remerciements

Nous remercions le Fonds de recherche québécois nature et technologie (FRQNT) et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) pour

l'aide financière. Ce projet est soutenu par Québec-Océan, le réseau *Notre Golfe*, le Centre de la Science de la Biodiversité du Québec (CSBQ) et le réseau CHONeII. ◀

Références

- ADAMS, S.M., 2005. Assessing cause and effect of multiple stressors on marine systems. *Marine Pollution Bulletin*, 51 : 649-657. doi:10.1016/j.marpolbul.2004.11.040.
- ALBOUY, C., L. VELEZ, M. COLL, F. COLLOCA, F. LE LOC'H, D. MOUILLOT et D. GRAVEL, 2014. From projected species distribution to food-web structure under climate change. *Global Change Biology*, 20 : 730-741. doi:10.1111/gcb.12467.
- ALLAN, J.D., P.B. MCINTYRE, S.D.P. SMITH, B.S. HALPERN, G.L. BOYER, A. BUCHSBAUM, G.A. BURTON, L.M. CAMPBELL, W.L. CHADDERTON, J.J.H. CIBOROWSKI, P.J. DORAN, T. EDER, D.M. INFANTE, L.B. JOHNSON, C.A. JOSEPH, A.L. MARINO, A. PRUSEVICH, J.G. READ, J.B. ROSE, E.S. RUTHERFORD, S.P. SOWA et A.D. STEINMAN, 2013. Joint analysis of stressors and ecosystem services to enhance restoration effectiveness. *Proceedings National Academy of Sciences*, 110 : 372-377. doi:10.1073/pnas.1213841110.
- ARCHAMBAULT, P., C. GRANT, R. AUDET, B. BADER, D. BOURGAULT, M. CUSSON, S. DOYON, D. DUMONT, S. LAMALLE, M. LEVASSEUR, É. MORIN, É. PELLETIER, I. SCHLOSS, G. ST-ONGE, G. THERRIAULT, H. TREMBLAY, J.-É. TREMBLAY, R. TREMBLAY et S. PLANTE, 2016. *Notre Golfe* : l'émergence d'un réseau intersectoriel pour l'étude de l'environnement socioécologique du golfe du Saint-Laurent. *Le Naturaliste canadien*, 140 (2) : 41-44.
- BAN, N. et J. ALDER, 2008. How wild is the ocean? Assessing the intensity of anthropogenic marine activities in British Columbia, Canada. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 18 : 55-85. doi:10.1002/aqc.816.
- BAN, N., H.M. ALIDINA et J.A. ARDRON, 2010. Cumulative impact mapping: Advances, relevance and limitations to marine management and conservation, using Canada's Pacific waters as a case study. *Marine Policy*, 34 : 876-886. doi:10.1016/j.marpol.2010.01.010.
- BENOÎT, H.P., J.A. GAGNÉ, C. SAVENKOFF, P. OUELLET et M.-N. BOURASSA, 2012. Rapport sur l'état des océans pour la zone de gestion intégrée du golfe du Saint-Laurent (GIGSL). Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2986, 79 p.
- BOETTIGER, C., N. ROSS et A. HASTINGS, 2013. Early warning signals: The charted and uncharted territories. *Theoretical Ecology*, 6 : 255-264.
- BOONSTRA, W.J., K.M. OTTOSEN, A.S.A. FERREIRA, A. RICHTER, L.A. ROGERS, M.W. PEDERSEN, A. KOKKALIS, H. BARDARSON, S. BONANOMI, W. BUTLER, F.K. DIEKERT, N. FOUZAI, M. HOLMA, R.E. HOLT, K.Ø. KVILE, E. MALANSKI, J.I. MACDONALD, E. NIEMINEN, G. ROMAGNONI, M. SNICKARS, B. WEIGEL, P. WOODS, J. YLEYINEN et J.D. WHITTINGTON, 2015. What are the major global threats and impacts in marine environments? Investigating the contours of a shared perception among marine scientists from the bottom-up. *Marine Policy*, 60 : 197-201. doi:10.1016/j.marpol.2015.06.007.
- BOUSQUET, N., E. CHASSOT, D.E. DUPLISEA et M.O. HAMMILL, 2014. Forecasting the major influences of predation and environment on cod recovery in the northern Gulf of St. Lawrence. *PLoS ONE* 9, e82836. doi:10.1371/journal.pone.0082836.
- BUNDY, A. et L.P. FANNING, 2005. Can Atlantic cod (*Gadus morhua*) recover? Exploring trophic explanations for the non-recovery of the cod stock on the eastern Scotian Shelf. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62 : 1474-1489. doi:10.1139/f05-086.
- BURNS, T.P., K.A. ROSE et A.L. BRENKERT, 2014. Quantifying direct and indirect effects of perturbations using model ecosystems. *Ecological Modelling*, 293 : 69-80. doi:10.1016/j.ecolmodel.2013.12.017.
- CAMPAGNA, S., J. LAMBERT et P. ARCHAMBAULT, 2005. Abondance et distribution du concombre de mer (*Cucumaria frondosa*) et prises accidentelles obtenues par dragage entre Matane et Cap-Gaspé (Québec) en 2004. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2620, ix + 61 p.

- COML, 2010. Census of marine life, a decade of discovery. Disponible en ligne à : <http://www.coml.org>. [Visité le 16-04-08].
- CCA, 2012. 40 priority research questions for ocean science in Canada. Council of Canadian Academies (CCA), The Core Group on Ocean Science in Canada, Ottawa, ii + 22 p.
- CLYNICK, B.G., C.W. MCKINDSEY et P. ARCHAMBAULT, 2008. Distribution and productivity of fish and macroinvertebrates in mussel aquaculture sites in the Magdalen islands (Québec, Canada). *Aquaculture*, 283 : 203-210.
- CÔTÉ, I.M., E.S. DARLING et C.J. BROWN, 2016. Interactions among ecosystem stressors and their importance in conservation. *Proceedings of the Royal Society B*, 283 : 20152592. doi:10.1098/rspb.2015.2592.
- CRAIN, C.M., K. KROEKER et B.S. HALPERN, 2008. Interactive and cumulative effects of multiple human stressors in marine systems. *Ecology Letters*, 11 : 1304-1315. doi:10.1111/j.1461-0248.2008.01253.x.
- CROWDER, L. et E. NORSE, 2008. Essential ecological insights for marine ecosystem-based management and marine spatial planning. *Marine Policy*, 32 : 772-778. doi:10.1016/j.marpol.2008.03.012.
- D'AMOURS, O., P. ARCHAMBAULT, C.W. MCKINDSEY et L.E. JOHNSON, 2008. Local enhancement of epibenthic macrofauna by aquaculture activities. *Marine Ecology Progress Series*, 371 : 73-84.
- DARLING, E.S. et I.M. CÔTÉ, 2008. Quantifying the evidence for ecological synergies. *Ecology Letters*, 11 : 1278-1286. doi:10.1111/j.1461-0248.2008.01243.x.
- DEYOUNG, B., M. BARANGE, G. BEAUGRAND, R. HARRIS, R.I. PERRY, M. SCHEFFER et F. WERNER, 2008. Regime shifts in marine ecosystems: Detection, prediction and management. *Trends in Ecology and Evolution*, 23 : 402-409. doi:10.1016/j.tree.2008.03.008.
- DROUIN, A., P. ARCHAMBAULT, B. CLYNICK, K. RICHER et C.W. MCKINDSEY, 2015. Influence of mussel aquaculture on the distribution of vagile benthic macrofauna in îles de la Madeleine, eastern Canada. *Aquaculture Environment Interactions*, 6 : 175-183.
- DUARTE, C.M., 2014. Global change and the future ocean: A grand challenge for marine sciences. *Frontiers in Marine Science*, 1 : 63. doi:10.3389/fmars.2014.00063.
- DUBÉ, M., B. JOHNSON, G. DUNN, J. CULP, K. CASH, K. MUNKITTRICK, I. WONG, K. HEDLEY, W. BOOTY, D. LAM, O. RESLER et A. STOREY, 2006. Development of a new approach to cumulative effects assessment: A northern river ecosystem example. *Environmental Monitoring and Assessment*, 113 : 87-115. doi:10.1007/s10661-005-9098-0.
- DUFFY, J.E., 2009. Why biodiversity is important to the functioning of real-world ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7 : 437-444. doi:10.1890/070195.
- DUFOUR, R. et P. OUELLET, 2007. Rapport d'aperçu et d'évaluation de l'écosystème marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2744F, vii + 123 p.
- DUINKER, P.N. et L.A. GREIG, 2006. The impotence of cumulative effects assessment in Canada: Ailments and ideas for redeployment. *Journal of Environmental Management*, 37 : 153-161. doi:10.1007/s00267-004-0240-5.
- DUNNE, J.A., R.J. WILLIAMS et N.D. MARTINEZ, 2002. Network structure and biodiversity loss in food webs: Robustness increases with connectance. *Ecology Letters*, 5 : 558-567. doi:10.1046/j.1461-0248.2002.00354.x.
- DUTIL, J.D., S. PROULX, P.M. CHOUINARD et D. BORCARD, 2011. A hierarchical classification of the seabed based on physiographic and oceanographic features in the St. Lawrence. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3009, vii + 72 p.
- ESTES, J.A., J. TERBORGH, J.S. BRASHARES, M.E. POWER, J. BERGER, W.J. BOND, S.R. CARPENTER, T.E. ESSINGTON, R.D. HOLT, J.B.C. JACKSON, R.J. MARQUIS, L. OKSANEN, T. OKSANEN, R.T. PAINE, E.K. PIKITCH, W.J. RIPPLE, S.A. SANDIN, M. SCHEFFER, T.W. SCHOENER, J.B. SHURIN, A.R.E. SINCLAIR, M.E. SOULÉ, R. VIRTANEN et D.A. WARDLE, 2011. Trophic downgrading of planet Earth. *Science*, 333 : 301-306. doi:10.1126/science.1205106.
- FRANK, K.T., B. PETRIE, J.S. CHOI et W.C. LEGGETT, 2005. Trophic cascades in a formerly cod-dominated ecosystem. *Science*, 308 : 1621-1623. doi:10.1126/science.1113075.
- GALBRAITH, P.S., P. Larouche, J. CHASSÉ et B. PETRIE, 2012. Sea-surface temperature in relation to air temperature in the Gulf of St. Lawrence: Interdecadal variability and long term trends. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 77-80 : 10-20. doi:10.1016/j.dsr2.2012.04.001.
- GILBERT, D., D. CHABOT, P. ARCHAMBAULT, B. RONDEAU et S. HÉBERT, 2007. Appauvrissement en oxygène dans les eaux profondes du Saint-Laurent marin: causes possibles et impacts écologiques. *Le Naturaliste canadien*, 131 (1) : 67-75.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2015. Stratégie maritime, la stratégie maritime à l'horizon 2030, plan d'action 2015-2020. Gouvernement du Québec, Québec, vii + 78 p.
- GRAVEL, D., T. POISOT, C. ALBOUY, L. VELEZ et D. MOUILLOT, 2013. Inferring food web structure from predator-prey body size relationships. *Methods in Ecology and Evolution*, 4 : 1083-1090. doi:10.1111/2041-210X.12103.
- HALPERN, B.S. et R. FUJITA, 2013. Assumptions, challenges, and future directions in cumulative impact analysis. *Ecosphere*, 4. doi:10.1890/ES13-00181.1.
- HALPERN, B.S., K.S. SELKOE, F. MICHELI et C.V. KAPPEL, 2007. Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats. *Conservation Biology*, 21 : 1301-1315. doi:10.1111/j.1523-1739.2007.00752.x.
- HALPERN, B.S., K.L. MCLEOD, A.A. ROSENBERG et L.B. CROWDER, 2008a. Managing for cumulative impacts in ecosystem-based management through ocean zoning. *Ocean and Coastal Management*, 51 : 203-211. doi:10.1016/j.ocecoaman.2007.08.002.
- HALPERN, B.S., S. WALBRIDGE, K.A. SELKOE, C.V. KAPPEL, F. MICHELI, C. D'AGROSA, J.F. BRUNO, K.S. CASEY, C. EBERT, H.E. FOX, R. FUJITA, D. HEINEMANN, H.S. LENIHAN, E.M.P. MADIN, M.T. PERRY, E.R. SELIG, M. SPALDING, R. STENECK et R. WATSON, 2008b. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319 : 948-952. doi:10.1126/science.1149345.
- HALPERN, B.S., C.V. KAPPEL, K.A. SELKOE, F. MICHELI, C.M. EBERT, C. KONTGIS, C.M. CRAIN, R.G. MARTONE, C. SHEARER et S.J. TECK, 2009. Mapping cumulative human impacts to California Current marine ecosystems. *Conservation Letters*, 2 : 138-148. doi:10.1111/j.1755-263X.2009.00058.x.
- HALPERN, B.S., M. FRAZIER, J. POTAPENKO, K.S. CASEY, K. KOENIG, C. LONGO, J.S. LOWNDES, R.C. ROCKWOOD, E.R. SELIG, K.A. SELKOE et S. WALBRIDGE, 2015. Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, 6 : 7615. doi:10.1038/ncomms8615.
- HEGMANN, G., C. COCKLIN, R. CREASEY, S. DUPUIS, A. KENNEDY, L. KINGSLEY, W. ROSS, H. SPALING et D. STALKER, 1999. Cumulative effects assessment practitioner's guide. Préparé par AXYS Environmental Consulting Ltd. et le CEA Working Group for the Canadian Environmental Assessment Agency, Hull, 134 p.
- JACKSON, J.B.C., M.X. KIRBY, W.H. BERGER, K.A. BJORNDALE, L.W. BOTSFORD, B.J. BOURQUE, R.H. BRADBURY, R. COOKE, J. ERLANDSON, J.A. ESTES, T.P. HUGHES, S. KIDWELL, C.B. LANGE, H.S. LENIHAN, J.M. PANDOLFI, C.H. PETERSON, R.S. STENECK, M.J. TEGNER et R.R. WARNER, 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293 : 629-637. doi:10.1126/science.1059199.
- KAPPEL, C.V., B.S. HALPERN, K.A. SELKOE et R.M. COOKE, 2012. Eliciting expert knowledge of ecosystem vulnerability to human stressors to support comprehensive ocean management. Dans : PERERA, A.H., C.A. DREW et C.J. JOHNSON (édit.). *Expert knowledge and its application in landscape ecology*. Springer, New York, p. 253-277.
- KENNETT, S.A., 1999. Towards a new paradigm for cumulative effects management. *Canadian Institute of Resources Law Occasional Paper #8*, Calgary, xii + 58 p.

- KORPINEN, S., M. MEIDINGER et M. LAAMANEN, 2013. Cumulative impacts on seabed habitats: An indicator for assessments of good environmental status. *Marine Pollution Bulletin*, 74: 311-319. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.06.036.
- KRAUSMAN, P.R. et L.K. HARRIS, 2011. Cumulative effects in wildlife management: Impact mitigation, 1^{re} édition. CRC Press, Boca Raton, xiv + 262 p.
- LESAGE, V., C. BARRETTE, M.C. KINGSLEY et B. SJARE, 1999. The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River estuary, Canada. *Marine Mammal Science*, 15: 65-84. doi:10.1111/j.1748-7692.1999.tb00782.x.
- LOI CANADIENNE SUR L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE, 1992. L.C. 1992, c 37, art. 16(1)(a).
- MACDONALD, L.H., 2000. Evaluating and managing cumulative effects: Process and constraints. *Journal of Environmental Management*, 26: 299-315. doi:10.1007/s002670010088.
- MARGULES, C.R. et R.L. PRESSEY, 2000. Systematic conservation planning. *Nature*, 405: 243-253. doi:10.1038/35012251.
- MCELROY, D.J., 2014. Temporal contingencies associated with multiple anthropogenic disturbances in shallow marine assemblages. Thèse de doctorat, Université de Sydney, Sydney, 189 p.
- MICHELI, F., B.S. HALPERN, S. WALBRIDGE, S. CIRIACO, F. FERRETTI, S. FRASCHETTI, R. LEWISON, L. NYKJAER et A.A. ROSENBERG, 2013. Cumulative human impacts on Mediterranean and Black Sea marine ecosystems: Assessing current pressures and opportunities. *PLoS ONE*, 8: e79889. doi:10.1371/journal.pone.0079889.
- MONTOYA, J., G. WOODWARD, M.C. EMMERSON et R.V. SOLÉ, 2009. Press perturbations and indirect effects in real food webs. *Ecology*, 90: 2426-2433. doi:10.1890/08-0657.1.
- MORITZ, C., M. LÉVESQUE, D. GRAVEL, S. VAZ, D. ARCHAMBAULT et P. ARCHAMBAULT, 2013. Modelling spatial distribution of epibenthic communities in the Gulf of St. Lawrence (Canada). *Journal of Sea Research*, 78: 75-84. doi:10.1016/j.seares.2012.10.009.
- MORITZ, C., D. GRAVEL, L. SAVARD, C.W. MCKINDSEY, J.-C. BRÉTHES et P. ARCHAMBAULT, 2015. No more detectable fishing effect on Northern Gulf of St Lawrence benthic invertebrates. *ICES Journal of Marine Science*, 72: 2457-2466. doi:10.1093/icesjms/fsv124.
- MPO, 2007. Zones d'importance écologique et biologique (ZIEB) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent: identification et caractérisation. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Avis scientifique 2007/016, Ottawa, 15 p.
- MPO, 2013a. Plan de gestion intégrée du golfe du Saint-Laurent. Pêches et Océans Canada (MPO). MPO/2013-1898, Ottawa, vi + 32 p.
- MPO, 2013b. Examen scientifique du programme de forage d'exploration de la zone prometteuse de Old Harry. Secrétariat canadien de consultation scientifique – réponse des sciences 2013/014, Ottawa, 59 p.
- MPO, 2015. Données du relevé plurispécifique au chalut de fond de septembre de la région du Golfe. Pêches et Océans Canada, Ottawa.
- MUCCI, A., M. STARR, D. GILBERT et B. SUNDBY, 2011. Acidification of lower St. Lawrence estuary bottom waters. *Atmosphere-Ocean*, 49: 206-218. doi:10.1080/07055900.2011.599265.
- MYERS, R.A. et B. WORM, 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*, 423: 280. doi:10.1038/nature01610.
- OGSL, 2016. Observatoire global du Saint-Laurent. Disponible en ligne à: <http://www.ogsl.ca>. [Visité le 16-04-08]
- O'GORMAN, E.J. et M.C. EMMERSON, 2009. Perturbations to trophic interactions and the stability of complex food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 13393-13398. doi:10.1073/pnas.0903682106.
- PEREIRA, H.M., S. FERRIER, M. WALTERS, G.N. GELLER, R.H.G. JONGMAN, R.J. SCHOLLES, M.W. BRUFORD, N. BRUMMITT, S.H.N. BUTCHART et A.C. CARDOSO, 2013. Essential biodiversity variables. *Science*, 339: 277-278. doi:10.1126/science.1229931.
- PETERSON, E.B., Y.H. CHAN, N.M. PETERSON, G.A. CONSTABLE, R.B. CATON, C.S. DAVIS, R.R. WALLACE et G.A. YARRANTON, 1987. Cumulative effects assessment in Canada: An agenda for action and research. Canadian Environmental Assessment Research Council, Hull, 63 p.
- PHILLIPS, S.J., R.P. ANDERSON et R.E. SCHAPIRE, 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
- PÖRTNER, H.O., M. LANGENBUCH et B. MICHAELIDIS, 2005. Synergistic effects of temperature extremes, hypoxia, and increases in CO₂ on marine animals: From Earth history to global change. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110: C09S10. doi:10.1029/2004JC002561.
- RICE, J.C. et M.-J. ROCHET, 2005. A framework for selecting a suite of indicators for fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 516-527. doi:10.1016/j.icesjms.2005.01.003.
- RUDD, M.A., 2014. Scientists' perspectives on global ocean research priorities. *Marine Affairs and Policy*, 1, 36. doi:10.3389/fmars.2014.00036.
- SCHOLLES, R.J., M. WALTERS, E. TURAK, H. SAARENMAA, C.H. HEIP, É.Ó. TUAMA, D.P. FAITH, H.A. MOONEY, S. FERRIER, R.H. JONGMAN, I.J. HARRISON, T. YAHARA, H.M. PEREIRA, A. LARIGAUDERIE et G. GELLER, 2012. Building a global observing system for biodiversity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Open issue 4, 139-146. doi:10.1016/j.cosust.2011.12.005.
- SELKOE, K.A., B.S. HALPERN, C.M. EBERT, E.C. FRANKLIN, E.R. SELIG, K.S. CASEY, J. BRUNO et R.J. TOONEN, 2009. A map of human impacts to a "pristine" coral reef ecosystem, the Papahānaumokuākea Marine National Monument. *Coral Reefs*, 28: 635-650. doi:10.1007/s00338-009-0490-z.
- STEFFEN, W., P.J. CRUTZEN et J.R. MCNEILL, 2007. The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36: 614-621. doi:10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2.
- THERIVEL, R. et B. ROSS, 2007. Cumulative effects assessment: Does scale matter? *Environmental Impact Assessment Review*, 27: 365-385. doi:10.1016/j.eiar.2007.02.001.
- VINEBROOKE, R.D., K.L. COTTINGHAM, J. NORBERG, M. SCHEFFER, S.I. DODSON, S.C. MABERLY et U. SOMMER, 2004. Impacts of multiple stressors on biodiversity and ecosystem functioning: The role of species co-tolerance. *Oikos*, 104: 451-457. doi:10.1111/j.0030-1299.2004.13255.x.
- VÖRÖSMARTY, C.J., P.B. MCINTYRE, M.O. GESSNER, D. DUDGEON, A. PRUSEVICH, P. GREEN, S. GLIDDEN, S.E. BUNN, C.A. SULLIVAN, C.R. LIERMANN et P.M. DAVIES, 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467: 555-561. doi:10.1038/nature09440.
- WORM, B., H.K. LOTZE, H. HILLEBRAND et U. SOMMER, 2002. Consumer versus resource control of species diversity and ecosystem functioning. *Nature*, 417: 848. doi:10.1038/nature00830.
- WORM, B., E.B. BARBIER, N. BEAUMONT, J.E. DUFFY, C. FOLKE, B.S. HALPERN, J.B.C. JACKSON, H.K. LOTZE, F. MICHELI, S.R. PALUMBI, E. SALA, K.A. SELKOE, J.J. STACHOWICZ et R. WATSON, 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314: 787-790. doi:10.1126/science.1132294.
- YODZIS, P., 2000. Diffuse effects in food webs. *Ecology*, 81: 261-266. doi:10.1890/0012-9658(2000)081[0261:DEIFW]2.0.CO;2.

Nos pêcheries sont-elles « écoresponsables » ?

Jean-Claude Brêthes

Résumé

Dans l'Atlantique canadien, comme dans le reste du monde, les pêcheries sont en crise. On peut se demander si notre pêche est responsable. Pour être qualifiée de « responsable », une pêcherie ne cible pas les espèces les plus menacées et n'opère pas dans des zones fragiles; elle peut être poursuivie indéfiniment dans le temps et elle prend en compte tout l'environnement et les impacts sur toutes les espèces. Une grille d'analyse des pêcheries est celle qui conduit à l'écocertification, telle que précisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO) et, dans son mode opérationnel, par le *Marine Stewardship Council* (MSC). Pour bénéficier d'une écocertification, une pêcherie doit satisfaire à 3 principes: que la ressource soit en bonne santé, bien suivie et bien gérée; que l'exploitation n'affecte pas de façon importante et irréversible les écosystèmes; et que la gestion soit claire, efficace et participative. Le processus est coûteux et incertain. Au Québec, le crabe des neiges du sud du golfe du Saint-Laurent, la crevette nordique et le homard ont été certifiés. Pour les autres espèces, ce serait sans doute plus difficile. Doit-on pour autant mettre nos poissons de côté ? Sans doute pas. Les pêcheries d'aujourd'hui ne sont plus celles d'il y a 20 ans. Les mentalités et les techniques ont évolué, les mécanismes de gestion aussi. Si rien n'est parfait, les progrès sont notables, et devraient être notés.

MOTS CLÉS : consommateurs, écocertification, état des stocks, pêche responsable, Québec

Abstract

As elsewhere in the world, fisheries in the Canadian Atlantic are in a state of crisis, and this raises the question as to whether Canadian fisheries are environmentally responsible. To be considered as such, they should not target threatened species, nor operate in fragile habitats; they should be pursuable indefinitely over time; and they should take into account their impacts on the environment and on other species. A framework for analysing fisheries, leading to eco-certification, was specified by the Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), and is implemented by the Marine Stewardship Council (MSC). To be certified, a fishery should abide by 3 principles: 1) the resource should exhibit a health population status, and be well monitored and managed; 2) its activities should not adversely impact the ecosystem; and 3) the management system should be clear, efficient and participative. The certification process is costly and uncertain. In Québec, the snow crab fishery in the southern Gulf of St Lawrence is certified, as are the northern shrimp and lobster fisheries. It will be more difficult to obtain certification for other fisheries, but we should not ignore our fish. The fisheries of today are not the same as they were 20 years ago: mentalities and techniques have evolved, as have management methods. Although nothing is perfect, it should be noted that important progress has been made.

KEYWORDS: consumers, ecolabel, Québec, responsible fishing, stock status

Introduction

La mer est inépuisable, a-t-on pensé jusqu'au milieu des années 1950 (Hawthorne et Minot, 1954). Même si la notion de surexploitation était, depuis longtemps, présente chez les biologistes (Petersen, 1903; Russel, 1931), il a fallu attendre le milieu des années 1970 pour que l'on s'inquiète sérieusement. Dans une analyse des tendances des pêcheries mondiales, Gulland (1977) trouvait préoccupant le déclin des débarquements observé dans les 2/3 des principales régions de pêche mondiales. Mais c'est dans les années 1990 que la communauté scientifique sonne vraiment l'alarme. En 1995, Rogers déclarait que les océans se vidaient. Pauly et collab. (1998) relevaient la diminution inquiétante des niveaux trophiques moyens dans les débarquements. Myers et Worm (2003) calculaient, à partir des statistiques de débarquements, que la biomasse des grands poissons prédateurs (gadidés, raies, poissons plats, entre autres) était à 10 % ou moins de celle observée avant la période industrielle. Worm et collab. (2006) estimaient qu'il n'y aurait plus de poissons à capturer

d'ici 2048. En 2009, Worm et collab. calculaient que 63 % des stocks exploités devaient être reconstitués. La situation semble s'être aggravée et, très régulièrement, les organismes de défense de l'environnement décrivent l'état désastreux des océans et les ravages de la surexploitation de leurs ressources. Par exemple, le Fonds Mondial pour la Nature (WWF, 2015) estime que les espèces marines utilisées ont décliné de 50 % entre 1970 et 2010. Pour des groupes d'espèces comme les maquereaux, thons et bonites, le déclin serait même de 74 %. Même si les travaux scientifiques les plus pessimistes sont discutés (p. ex. Branch, 2006; Essington et collab., 2006; Longhurst, 2007; Jensen et collab., 2011), il est impossible de nier maintenant que les pêches soient en crise. En 2011, selon l'Organisation

Jean-Claude Brêthes est professeur à l'Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski. Il est titulaire de la chaire de l'UNESCO en analyse intégrée des systèmes marins.

Jean-Claude_Brethes@uqar.ca

des Nations Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture (FAO, 2014), 61 % des stocks étaient pleinement exploités et 29 % étaient exploités à un niveau biologiquement non viable, comparativement à 10 % en 1974.

Le Canada n’échappe pas à la situation générale. Le choc est arrivé en 1992 quand la pêche à la morue (*Gadus morhua*) sur les Grands Bancs de Terre-Neuve a été fermée. Les moratoires ont suivi et, en 1994, près de la moitié des stocks de poissons de fond de l’Atlantique canadien (entre autres, la morue, la plie canadienne, *Hippoglossoides platessoides*, la plie grise, *Glyptocephalus cynoglossus* et les sébastes, *Sebastes* spp.) étaient fermés à la pêche dirigée. Alors que ces poissons de fond représentaient près des 2/3 des volumes débarqués (dont 33 % pour la morue) en 1980, ils ne représentaient plus que 11 % de ces volumes (1,5 % pour la morue) en 2013 (calculé à partir des statistiques du ministère des Pêches et des Océans, MPO 2015b). À la suite de ces effondrements, le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada a classé les 2 populations de morue et celle du sébaste du golfe du Saint-Laurent « en voie de disparition » et celle de la plie canadienne « menacée » (COSEPAC, 2015).

Surcapacité de captures, réglementation déficiente dans de nombreux pays, ou laxisme dans leur application, sont autant de facteurs qui ont conduit à la surexploitation. Des actions correctives sont fortement recommandées (p. ex. Worm et Branch, 2012). Dans ce schéma sombre, où se situent les pêcheries québécoises ?

Les pêcheries québécoises

L’évolution des pêcheries québécoises reflète ce qui s’est passé dans l’ensemble de l’Atlantique canadien. On peut distinguer 4 grandes périodes (figure 1). Jusqu’au début des années 1980, la pêcherie est dominée par les poissons. Quatre espèces composent l’immense majorité des débarquements de poissons de fond : la morue, qui domine nettement dans les captures, les sébastes, le flétan noir (ou flétan du Groenland, *Reinhardtius hippoglossoides*), la plie canadienne et la plie grise. Du milieu des années 1980 au milieu des années 1990, les poissons de fond restent importants, mais on note une

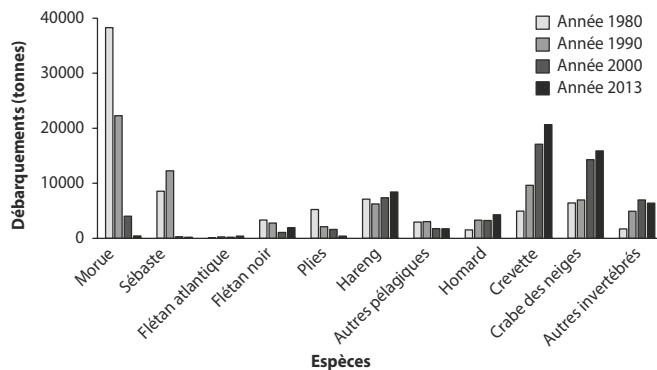


Figure 1. Tendances des débarquements des principaux groupes d’espèces marines exploitées au Québec (Tiré de MPO, 2015b).

diversification des captures avec l’augmentation des prises de crevette (*Pandalus borealis*) et de crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*), avec l’expansion de ces pêcheries. Les années 2000 correspondent à la période qui suit les moratoires. Les stocks de poisson de fond restent en mauvais état, les captures sont minimales, et cette pêche n’est plus que l’ombre de ce qu’elle a été. Seuls le flétan noir et le flétan de l’Atlantique (*Hippoglossus hippoglossus*) se maintiennent, mais il s’agit de pêches de faible volume. Comme résultat, ce sont la crevette, le crabe des neiges et le homard qui dominent nettement dans les débarquements. On note aussi une importance grandissante d’espèces d’invertébrés (comme le buccin, *Buccinum undatum*, le crabe commun, *Cancer irroratus*, le concombre de mer, *Cucumaria frondosa*, ou la mye commune, *Mya arenaria*).

L’apport économique reflète les débarquements (figure 2), mais avec des tendances plus marquées. À partir des statistiques publiées par le ministère des Pêches et des Océans (MPO, 2015b), on peut calculer que les poissons de fond représentaient en 1980 près de 50 % des valeurs débarquées (45 millions de dollars sur un total de 95 millions, en dollars constants, corrigés par l’indice des prix à la consommation publié par Statistique Canada, 2015, base 100 en 2002), et les crustacés un peu moins de 40 %. Les proportions s’inversent dès les années 1990. Pour une valeur totale débarquée sensiblement identique, les poissons de fond ne représentent plus que 28 %, mais la proportion passe à plus de 60 % pour les crustacés. Après les périodes de moratoire, la valeur des captures de poissons est devenue marginale. En 2013, elle ne représentait que 5 % des 169 millions de dollars débarqués (en dollars constants), valeur essentiellement due au flétan de l’Atlantique et au flétan noir, très importante pour certaines pêcheries locales. Les crustacés deviennent les principales espèces et de loin : en 2013, ils représentaient près de 70 % des 168 millions de dollars débarqués. Au niveau global, l’économie des pêches québécoises ne repose plus que sur ces 3 espèces (crabe des neiges, homard, crevette). Il semble que les pêcheries

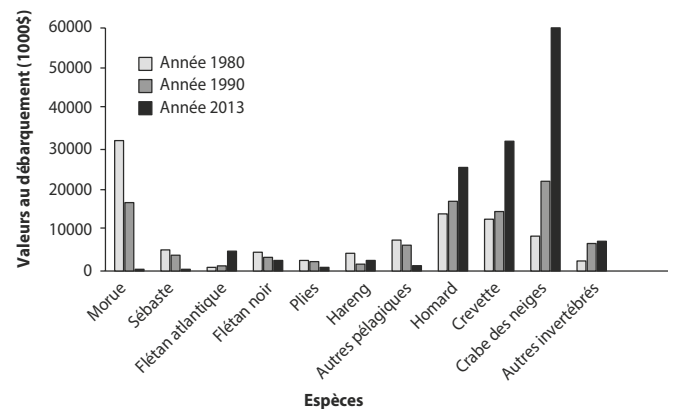


Figure 2. Valeurs au débarquement des principaux groupes d’espèces au Québec (Tiré de MPO, 2015b). Valeurs exprimées en dollars constants (correction selon l’indice des prix à la consommation de Statistique Canada, 2015, base 100 en 2002).

de poissons de fond, qui ont été historiquement l'épine dorsale des pêches canadiennes, appartiennent à l'histoire.

Redresser la barre : de la politique à la loi des marchés

Le Sommet de la Terre de Rio de Janeiro, en 1992, a produit le document « Action 21 », qui reconnaît (chapitre 17) que les ressources marines sont menacées par :

la surexploitation des lieux de pêche locaux, les incursions illégales de flottes étrangères, la dégradation des écosystèmes, le suréquipement et la taille excessive des flottes, la sous-évaluation des prises, l'utilisation d'engins de pêche qui ne sont pas suffisamment sélectifs, le manque de fiabilité des bases de données, l'intensification de la concurrence entre la pêche artisanale et la pêche à grande échelle, ainsi qu'entre la pêche et d'autres types d'activités (Nations Unies, 1992).

Et ce plan d'action demandait aux États signataires d'assurer la conservation et l'utilisation durable des ressources biologiques marines et de préserver les écosystèmes rares ou fragiles ainsi que les habitats et autres zones écologiquement vulnérables. Dans cette ligne, la FAO a proposé un Code de conduite pour une pêche responsable (FAO, 1995). Ce code correspond aux directives d'Action 21. En 1998 était adopté le Code de conduite canadien pour une pêche responsable (MPO, 1998), qui reprend les grandes lignes du code de la FAO. On peut résumer qu'une pêche responsable :

- Ne cible pas les espèces les plus menacées et n'opère pas dans des zones fragiles;
- Peut être poursuivie indéfiniment dans le temps;
- Prend en compte tout l'environnement, les impacts sur toutes les espèces, et considère les écosystèmes dans leur ensemble;
- Utilise des méthodes de pêche sélectives et non destructrices pour ne prendre que le poisson nécessaire;
- Tient compte de l'importance nutritionnelle, économique, sociale, environnementale et culturelle de la pêche et des intérêts de l'ensemble des intervenants du secteur.

Mais les groupes de défense de l'environnement ne se satisfont pas de ces déclarations officielles. Devant ce qu'ils considèrent comme l'échec des actions gouvernementales pour assurer une pêche durable, ils ont décidé de faire appel aux consommateurs : en les orientant vers des produits « éco-responsables », ces consommateurs pousseront les décideurs, et surtout les acteurs de la filière (industrie de la pêche, de la transformation et de la distribution), à adopter des pratiques conformes à la notion de pêche durable (Jacquet et collab., 2010). Le principe n'est pas nouveau, les labels de qualité étant répandus dans l'alimentation. Dès 1990, on a vu apparaître les étiquettes « Dolphin Safe » sur les conserves de thon. Par la suite, les guides de consommation ont vu le jour. Il s'agit d'indiquer au consommateur les « bons choix » pour l'achat de produits issus de pêches durables. Le modèle en est celui du programme *Seafood Watch* de l'aquarium de Monterey Bay, en Californie (*Seafood Watch*, 2015). D'autres

ont vu le jour en s'en inspirant ou en le copiant. Au niveau international, l'organisme Greenpeace publie une liste de produits recommandés. Au Canada, il existe le programme *Ocean Wise*, de l'aquarium de Vancouver, et le programme *Sea Choice*, géré par la Fondation Suzuki en collaboration avec l'aquarium de Monterey Bay. Il existe aussi des initiatives plus locales, qui se multiplient. Ces guides présentent plusieurs problèmes. Les critères sont définis par l'organisme lui-même, sur des bases parfois peu claires, parfois idéologiques. Par exemple, le flétan noir du golfe du Saint-Laurent est sur la liste rouge de Greenpeace parce qu'il est pêché au chalut de fond (Greenpeace, 2015). Les perspectives différentes entre les divers organismes peuvent entraîner des incohérences de classement des espèces et le nombre élevé de guides produit de la confusion chez les consommateurs (Roheim, 2009; Schmitt, 2011). Les produits sont souvent regroupés en grandes régions, ce qui ne tient pas compte des particularités régionales (un sous-stock peut être exploité de façon durable et un autre, non), ce qui pénalise les pêcheurs ou organismes soucieux de la conservation (Schmitt, 2011). Il n'existe pas, pour le public ou pour des producteurs, de possibilité de faire modifier le statut d'un produit. Il peut être facile, pour les distributeurs, de contourner les recommandations, en ne précisant pas l'origine exacte du produit ou en changeant le nom commun ou même scientifique de l'espèce vendue (Jacquet et Pauly, 2008a).

Une démarche différente a été lancée en 1996, quand le Fonds mondial pour la Nature s'associait avec la multinationale Unilever pour créer le *Marine Stewardship Council* (MSC) dans le but de « transformer le marché mondial des produits de la mer et promouvoir des pratiques de pêche durables » (MSC, 2015). On introduisait alors le principe « d'écocertification ». D'autres organismes ont suivi comme *Friend of the Sea*, créé en 2006. Les principes de base d'une écocertification ont été définis par la FAO (2003). D'une part, la pêcherie qui demande la certification doit répondre aux principes d'une pêche responsable définis précédemment. D'autre part, le processus de certification devrait (entre autres) :

- Être volontaire, répondre aux marchés, transparent et non discriminatoire;
- Établir la claire responsabilité des promoteurs des normes et des organismes de certification;
- Posséder un système fiable d'audit et de vérification;
- Être fondé sur la meilleure information scientifique disponible.

Il doit donc y avoir une norme, accessible au public, correspondant aux normes internationales. L'évaluation doit pouvoir être vérifiable et, au besoin, contestée (procédure d'appel et d'objection).

La norme actuellement la plus répandue et la plus communément reconnue est celle du MSC. Elle répond en grande partie aux principes définis par la FAO. Cette norme se fonde sur 3 grands principes, qui se déclinent chacun en indicateurs de performance (MSC, sans date) :

- *Principe 1* : le stock doit être exploité de façon durable, vérifié par une information scientifique crédible et un contrôle de l'exploitation efficace;

- *Principe 2*: la pêche doit minimiser les impacts sur l'environnement (prises accidentelles, espèces vulnérables ou protégées, habitats, fonctionnement de l'écosystème);
- *Principe 3*: la pêche doit avoir un système de gestion efficace, transparent et participatif.

La certification est accordée à un « client » (par ex. un armateur ou un groupe d'armateurs, ou une association de pêcheurs), pour un type de pêche clairement identifié: engin de pêche ou groupe d'engins; une espèce, ou un groupe d'espèces; aire géographique. Ainsi, pour un stock donné, une pêche peut être certifiée et une autre non. La certification est donc beaucoup plus précise que les guides de consommation. Il est important de noter que la procédure du MSC implique également une analyse et une vérification de la traçabilité du produit. Le consommateur est ainsi assuré que c'est bien ce qui a été certifié qui lui est proposé. Cette assurance n'existe pas pour les guides de consommation. Cependant, par rapport aux principes de pêche responsable de la FAO, la dimension sociale (respect des travailleurs, maintien des communautés) est absente de la grille d'évaluation du MSC.

Le processus est plutôt lourd et complexe (figure 3). Il débute généralement par une pré-évaluation, confidentielle. Si cette étape est positive, le véritable processus d'écocertification peut s'enclencher. Par souci de transparence, le déroulement de chacune des étapes (choix des évaluateurs, dates des consultations, rapport préliminaire, etc.) est affiché sur le site Web du MSC, avec une période de commentaires ouverte au public variant de 2 semaines à 1 mois. On conçoit que

le processus peut être long. Mais, surtout, il représente des dépenses importantes pour le « client », puisque tous les frais de la certification lui incombent, incluant les audits annuels obligatoires. Et la certification, obtenue pour 5 ans, implique une redevance annuelle au MSC.

Le système d'écocertification a été, au départ, orienté vers les pêcheries industrielles des pays industrialisés, que l'on considérait comme les plus destructrices. Le résultat est que la complexité et les coûts de ce système les rendent peu, ou pas, accessibles aux plus petites pêcheries artisanales qui n'ont pas la capacité financière, scientifique et, parfois, administrative, pour obtenir une telle certification. Cela est particulièrement criant pour les pêcheries des pays en développement (Jacquet et Pauly, 2008b). Le système MSC soulève aussi d'autres questions. On critique l'intrusion des organismes non gouvernementaux (ONG) dans le processus de gestion, interférant ainsi avec les politiques nationales. C'est notamment une des raisons qui ont poussé l'*Alaska Seafood Marketing Institute* à s'éloigner du MSC et à créer sa propre certification (Sanguinetti, 2014). Ces ONG, qui ne sont imputables devant personne, décident ce qu'est une pêche durable selon leurs propres critères. Si le processus de certification est ouvert, le mécanisme de fixation des critères est sans appel. Ces critères et les cibles à atteindre peuvent changer à la discrétion de ces ONG. Également, la certification engendre des profits importants pour le MSC, ce qui peut modifier sa philosophie d'origine, et on peut l'accuser d'être plus « laxiste » sur l'application des normes pour maintenir ses

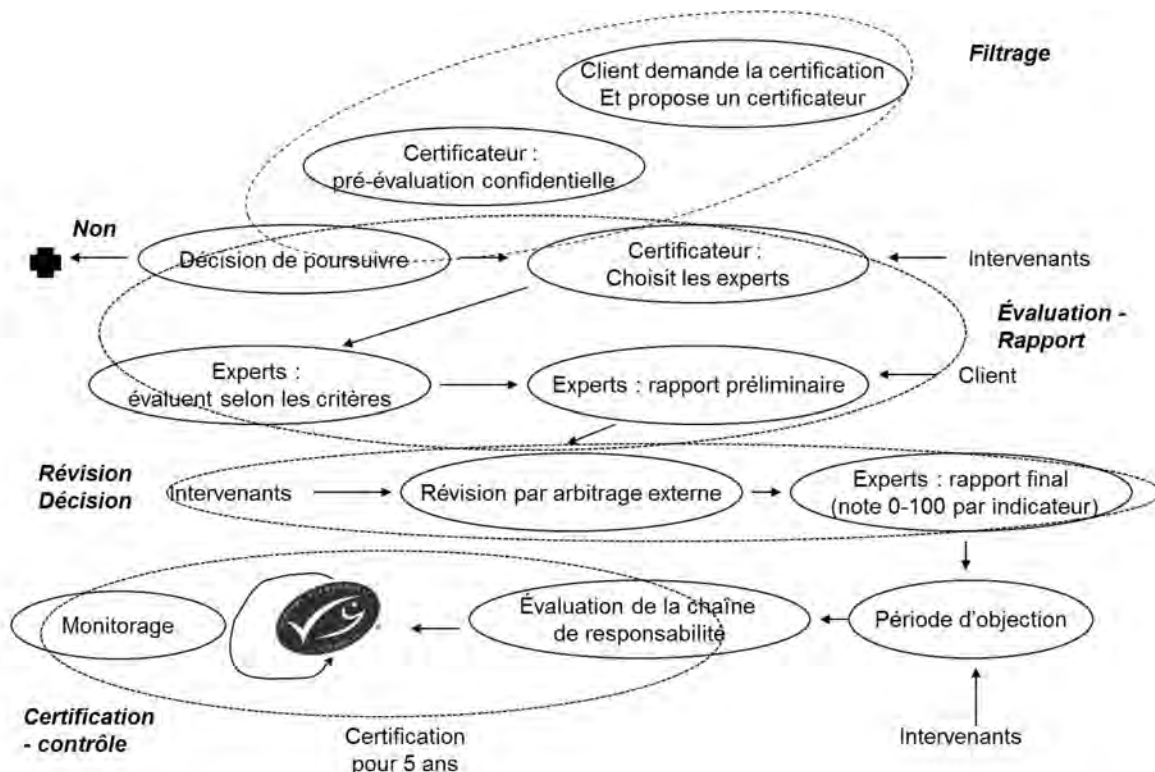


Figure 3. Représentation schématique du processus de certification des pêcheries selon les normes du Marine Stewardship Council.

revenus (Jacquet et Pauly, 2010). Malgré ses défauts, avec ses 231 pêcheries certifiées en 2014 dans 35 pays (MSC, 2015), l'évaluation du MSC reste la norme recherchée.

Où se situent les pêcheries du Québec?

À première vue, le bilan des pêcheries québécoises n'est pas brillant. Les stocks de poissons de fond sont dans un piètre état, avec comme résultat que plusieurs espèces sont sur la liste des produits à éviter dans les guides de consommation (tableau 1). La morue québécoise et les ailes de raies (quelle que soit l'espèce), entre autres, ont disparu des étals des supermarchés, puisque des chaînes d'alimentation se sont dotées de politiques d'achat de produits issus de pêche durable. Mais il n'est pas certain que le tableau soit aussi noir.

On constate d'abord (tableau 1) que plusieurs pêcheries de crustacés ont reçu la certification MSC, ce qui est encourageant. On constate ensuite que la liste des guides est à relativiser. Le flétan de l'Atlantique serait à éviter alors que tous les indices montrent que le stock est en augmentation dans le golfe du Saint-Laurent (MPO, 2015a). Le flétan noir est sur la liste rouge de Greenpeace (2015) mais le stock se maintient à un bon niveau (MPO, 2013). De fait, les organismes de défense de l'environnement ont sans doute tendance à exagérer le côté catastrophique de la situation. Mais ils ont, au moins, le mérite de faire évoluer les mentalités. Les mécanismes de gestion canadiens sont passés de la simple répartition des quotas à des plans de gestion intégrée, qui définit l'application de l'approche de précaution (incluse dans la Loi sur les océans), et une démarche plus écosystémique. Avant 1992, on avait des plans d'exploitation qui étaient essentiellement

des mécanismes de répartition des quotas. À présent, on a des plans d'exploitation orientés sur la conservation, plus complets et plus contraignants. On a vu apparaître la protection des zones de reproduction et de zones sensibles (pouponnières, par exemple) fermées à la pêche à certaines périodes. La mise en place d'aires marines protégées, longtemps différée, est à l'ordre du jour. À cet égard, dans la continuité des Objectifs d'Aichi sur la biodiversité (Convention sur la diversité biologique, 2010), le Gouvernement du Québec s'est donné comme stratégie de protéger 10 % de son territoire maritime (Gouvernement du Québec, 2011).

Du côté de l'industrie, aussi, une évolution est palpable. La recherche technologique n'est plus orientée vers le « pêcher plus » mais vers le « pêcher mieux ». Un exemple en est l'introduction de la grille séparatrice sur les chaluts à crevette, qui a permis de réduire la proportion des prises accidentelles (poissons et invertébrés rejetés) dans les captures à moins de 3 % (Savard et collab., 2012). Le code de conduite pour une pêche responsable existe, et la plupart des associations de pêcheurs y adhèrent, même si cela n'apparaît pas toujours dans les documents publics. Des initiatives locales voient le jour. On peut citer l'exemple de l'Agence Mamu Innu Kaikusseht qui a mis en place le programme Keshken, couplé au projet *This Fish*, qui vise à garantir l'authenticité, la qualité et la traçabilité des produits issus des pêches autochtones (AMIK, sans date).

Dans ce contexte, d'autres pêcheries québécoises pourraient-elles être écocertifiées? Difficile à dire, d'autant plus que, comme on l'a vu, les stocks de poissons de fond traditionnels sont en difficulté, malgré tous les efforts de reconstruction. Les autres stocks correspondent à de petites pêcheries qui n'auraient

Tableau 1. Classification des espèces pêchées au Québec selon différents guides de consommation : Sea Choice (2015); Greenpeace (2015); Ocean Wise (sans date).

Espèce	Nom scientifique	Classement Sea Choice	Liste rouge de Greenpeace	Classement Ocean Wise	Certification MSC
Morue franche ^a	<i>Gadus morhua</i>	À éviter	Oui	À éviter	
Sébaste	<i>Sebastes</i> spp.	-	Oui	À éviter	
Flétan atlantique	<i>Hippoglossus hippoglossus</i>	À éviter	Oui	-	
Flétan noir	<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>	-	Oui	-	
Maquereau	<i>Scomber scombrus</i>	Bon choix		-	
Plie canadienne	<i>Hippoglossoides platessoides</i>	-	-	-	
Homard ^b	<i>Homarus americanus</i>	Possible	-	-	Oui
Crevette nordique ^c	<i>Pandalus borealis</i>	-	-	Bon choix	Oui
Crabe des neiges ^d	<i>Chionoecetes opilio</i>	Bon choix	-	Bon choix	Oui
Pétoncle géant	<i>Placopecten magellanicus</i>	-	-	À éviter	

^a Les deux stocks du golfe du Saint-Laurent

^b Les stocks des îles de la Madeleine, de la Gaspésie, de l'île du Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick

^c Stocks du golfe du Saint-Laurent

^d Stock du sud du golfe du Saint-Laurent

sans doute pas les moyens d'assumer la charge d'un processus d'écocertification. Il reste que les pêches actuelles ne sont plus celles d'il y a 30 ans. Dans cette période, l'image du pêcheur est passée de celle, romantique, du valeureux travailleur de la mer à celle de pillard et de ravageur de l'océan, que nous présentent régulièrement les défenseurs de l'environnement. Il serait temps de ramener cette image à de plus justes proportions.

Remerciements

Ce travail est une contribution de la chaire de l'UNESCO en analyse intégrée des systèmes marins. ◀

Références

- AMIK, (sans date). Le projet Keshken. Disponible en ligne : <http://keshken.com/>. [Visité le 16-03-31].
- BRANCH, T.A., 2008. Not all fisheries will be collapsed in 2048. *Marine Policy*, 32 : 38-39.
- COSEPAC, 2015. Espèces sauvages canadiennes en péril, octobre 2015. Disponible en ligne à : http://www.cosewic.gc.ca/fra/sct0/rpt/csar_fall2015_f.htm. [Visité le 15-10-10].
- CONVENTION SUR LA DIVERSITÉ BIOLOGIQUE, 2010. Objectifs d'Aichi sur la biodiversité. Disponible en ligne à : <https://www.cbd.int/sp/targets/default.shtml>. [Visité le 16-03-20].
- ESSINGTON T.E., A.H. BEAUDREAU et J. WIEDENMANN, 2006. Fishing through marine food webs. *Proceedings of the National Academy of Science*, 103 : 3171-3175.
- FAO, 1995. CCRF – site Web. Code de conduite pour une pêche responsable. FI Institutional Websites. Dans : Département des pêches et de l'aquaculture de la FAO, Rome. Mis à jour 13 mars 2014. Disponible en ligne à : <http://www.fao.org/fishery/code/fr>. [Visité le 15-10-25].
- FAO, 2003. Report of the expert consultation on the development of international guidelines for ecolabelling of fish and fishery products from marine capture fisheries. *FAO Fisheries Report No. 726*, Rome, 36 p.
- FAO, 2014. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation, Rome, 320 p.
- FRIEND OF THE SEA, (sans date). Disponible en ligne à : <http://www.friendofthesea.org/FR>. [Visité le 15-10-25].
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2011. Orientations stratégiques du Québec en matière d'aires protégées. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 8 p.
- GREENPEACE, 2015. Poissons et fruits de mer à éviter en épicerie. Disponible en ligne à : <http://www.greenpeace.org/canada/fr/campagnes/Oceans1/oceans/a-vous-dagir/listerouge/>. [Visité le 16-03-31].
- GULLAND, J.A., 1977. World fisheries and fish stocks. *Marine Policy*, 1 : 179-189.
- HAWTHORNE, D. et F. MINOT, 1954. *The inexhaustible sea*. Dodd, Mead & Co, New York, 74 p.
- JACQUET, J.L. et D. PAULY, 2008a. Trade secrets: Renaming and mislabeling of seafood. *Marine Policy*, 32 : 309-318.
- JACQUET, J.L. et D. PAULY, 2008b. Funding priorities: Big barriers to small-scale fisheries. *Conservation Biology*, 22 : 832-835.
- JACQUET, J.L. et D. PAULY, 2010. Seafood stewardship in crisis. *Nature*, 467 : 28-29.
- JACQUET, J.L., J. HOCEVAR, S. LAI MAJLUF, N. PELLETIER, T. PITCHER, E. SALA, R. SUMAILA et D. PAULY, 2010. Conserving wild fish in a sea of market-based efforts. *Oryx*, 44 : 45-56.
- JENSEN, O.P., T.A. BRANCH et R. HILBORN, 2012. Marine fisheries as ecological experiments. *Theoretical Ecology*, 5 : 3-22.
- LONGHURST, A., 2007. Doubt and certainty in fishery science: Are we really headed for a global collapse of stocks? *Fisheries Research*, 86 : 1-5.
- MPO, 1998. Secrétariat, Code de conduite canadien sur les pratiques de pêche responsable. Ottawa, 10 p.
- MPO, 2013. Évaluation du flétan du Groenland du golfe Saint-Laurent (4RST) en 2012. Secrétariat canadien de consultation scientifique, Avis scientifique 2013/039, 10 p.
- MPO, 2015a. Évaluation du stock de flétan atlantique du golfe du Saint-Laurent (4RST) pour 2013 et 2014. Secrétariat canadien de consultation scientifique, Avis scientifique 2015/023, 15 p.
- MPO, 2015b. Statistiques des débarquements, pêches maritimes. Disponible en ligne à : <http://dfo-mpo.gc.ca/stats/commercial/sea-maritimes-fra.htm>. [Visité le 15-10-16].
- MSC, (sans date). L'essentiel sur le MSC. Disponible en ligne à : <https://www.msc.org/a-propos-du-msc/a-propos-du-msc>. [Visité le 15-10-17].
- MSC, 2015. MSC Annual Report 2014-2015. Disponible en ligne à : <https://www.msc.org/business-support/global-impacts/global-impacts-summary>. [Visité le 15-10-28].
- MYERS, R.A. et B. WORM, 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*, 423 : 280-283.
- NATIONS UNIES, DÉVELOPPEMENT DURABLE, 1992. Action 21. Disponible en ligne à : <http://www.un.org/french/events/rio92/agenda21/action0.htm>. [Visité le 15-10-08].
- OCEAN WISE, (sans date). Seafood items listing. Disponible en ligne à : <http://www.oceanwise.ca/seafood>. [Visité le 16-03-25].
- PAULY, D., V. CHRISTENSEN, J. DALSGAARD, R. FROESE et F. TORRES Jr., 1998. Fishing down the food web. *Science*, 279 : 860-863.
- PETERSEN, C.G.J., 1903. What is over-fishing? *Journal of the Marine Biological Association UK*, 6 : 587-594.
- ROGERS, R.A., 1995. *The oceans are emptying; fish war and sustainability*. Black Rose Books, Montréal, 176 p.
- ROHEIM, C.A., 2009. An evaluation of sustainable seafood guides: Implications for environmental groups and the seafood industry. *Marine Resource Economics*, 24 : 301-310.
- RUSSELL, E.S., 1931. Some theoretical considerations on the "Overfishing" problem. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 6 : 3-20.
- SANGUINETTI, T., 2014. Alaska responsible fisheries management certification. Alaska Seafood Marketing Institute, Juneau, 23 p.
- SAVARD, L., J. GAUTHIER, H. BOURDAGES, et M. DESGAGNÉS, 2013. Prises accessoires de la pêche à la crevette nordique dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Secrétariat canadien de consultation scientifique, document de recherche 2012/151, Ottawa, ii + 56 p.
- SCHMITT, C.V., 2011. Adrift in a sea of information about sustainable seafood: The Maine consumer perspective. *Maine Policy Review*, 20 : 96-104.
- SEA CHOICE, 2015. Making smart seafood decisions for today and tomorrow. Disponible en ligne à : <http://www.seachoice.org>. [Visité le 16-03-31].
- SEAFOOD WATCH, 2015. Disponible en ligne à : <http://www.seafoodwatch.org>. [Visité le 16-03-31].
- STATISTIQUE CANADA, 2015. Indice des prix à la consommation, aperçu historique. Disponible en ligne à : <http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l02/cst01/econ46a-fra.htm>. [Visité le 15-10-16].
- WORM, B. et T.A. BRANCH, 2012. The future of fish. *Trends in Ecology and Evolution*, 27 : 594-599.
- WORM, B., E.B. BARBIER, N. BEAUMONT, J.E. DUFFY, C. FOLKE, B.S. HALPERN, J.B.C. JACKSON J.B.C., H.K. LOTZE, F. MICHELI, S.R. PALUMBI, E. SALA, K.A. SELKOE, J.J. STACHOWICZ et R. WATSON, 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314 : 787-790.
- WORM, B., R. HILBORN, J.K. BAUM, T.A. BRANCH, J.S. COLLIE, C. COSTELLO, M.J. FOGARTY, E.A. FULTON, J.A. HUTCHINGS, S. JENNINGS, O.P. JENSEN, H.K. LOTZE, P.M. MACE, T.R. MCCLANAHAN, C. MINTO, S.R. PALUMBI, A.M. PARMA, D. RICARD, A.A. ROSENBERG, R., WATSON et D. ZELLER, 2009. Rebuilding global fisheries. *Science*, 325 : 578-585.
- WWF, 2015. Living Blue Planet report, species, habitats and human well-being. WWF, Gland, 72 p.

Les macroalgues du Saint-Laurent : une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global

Éric Tamigneaux et Ladd Erik Johnson

Résumé

Aux latitudes moyennes, les grandes algues sont une composante essentielle des écosystèmes côtiers comme source de nourriture et d'habitat pour les communautés benthiques. Les assemblages de macroalgues dans l'écosystème marin du Saint-Laurent (ÉMSL) sont largement dominés par les fucales (*Fucus*, *Ascophyllum*) dans l'étage médiolittoral et par les laminaires (*Alaria*, *Saccharina*, *Agarum*) et les algues calcaires dans l'étage infralittoral. Peu d'efforts ont été consacrés à l'étude de leur écologie alors même que les activités de récolte sont en croissance. En dépit des similitudes entre l'ÉMSL et les écosystèmes comparables de l'est du Canada et d'Europe, il y a des différences fonctionnelles frappantes associées à 2 sources de perturbations : le broutage intense des algues par les oursins dans l'étage infralittoral et l'abrasion des communautés de l'étage médiolittoral par les glaces. Dans plusieurs régions de l'ÉMSL, ces perturbations réduisent l'extension des assemblages d'algues, ce qui génère des incertitudes sur le potentiel d'exploitation de cette ressource. Il en ressort qu'il faut approfondir les connaissances sur la répartition et l'abondance des espèces mais aussi développer l'algoculture, cela autant pour conserver les ressources naturelles et leurs services écologiques que pour assurer un approvisionnement stable des marchés émergents avec des ressources de qualité. À terme, ces informations seront indispensables pour anticiper les changements causés par le réchauffement climatique et par l'augmentation des invasions biologiques.

MOTS CLÉS : aquaculture, changements globaux, écologie, écosystème marin du Saint-Laurent, macroalgues marines

Abstract

Seaweeds are a conspicuous and important part of coastal ecosystems at temperate latitudes, providing food and habitat to benthic communities. Algal assemblages in the St. Lawrence marine ecosystem (Canada) are largely dominated by rockweeds (e.g., *Fucus* and *Ascophyllum*) in intertidal zones, and kelp (e.g., *Alaria*, *Saccharina* and *Agarum*) and coralline algae in subtidal zones. Despite the fact that harvesting and cultivation are slowly expanding, there has been relatively little work done to study their ecology. Moreover, in spite of parallels with the similar Atlantic coastal ecosystems in eastern Canada and Europe, there are striking functional differences, primarily related to 2 mechanisms of disturbance: uncontrolled herbivory by sea urchins in subtidal communities and ice scouring in intertidal communities. In many regions of the St. Lawrence marine ecosystem, these disturbance agents greatly reduce the extent of seaweed assemblages, raising concerns about the potential exploitation of seaweed stocks. Therefore, more information on the current distribution and abundance of these stocks is needed. In addition, further development of seaweed aquaculture is required to conserve stocks for their ecological services, and to provide higher quality and more dependable resources for emerging markets. This knowledge will be essential in the context of the changes caused by global warming and invasions by an increasing number of exotic species.

KEYWORDS : aquaculture, global change, ecology, St. Lawrence marine ecosystem, seaweed

Introduction

Les grandes algues sont une composante bien visible des communautés marines littorales et elles fournissent divers services essentiels aux écosystèmes des zones côtières (figure 1). Leur apport le plus évident est leur contribution à la production primaire locale qui les place à la base du réseau alimentaire. Tout aussi essentielle est leur contribution à la création d'habitats puisqu'elles offrent des abris à une grande variété de poissons et d'invertébrés. Au-delà de ces rôles écologiques fondamentaux, les grandes algues jouent aussi un rôle économique non négligeable en fournissant les ingrédients de base pour de nombreux produits industriels et de consommation courante, mais aussi, plus directement, comme aliment ou comme supplément alimentaire (Lionard, 2014).

La distribution des algues dans les bassins océaniques est limitée aux environnements rocheux peu profonds où elles trouvent suffisamment de lumière pour alimenter la photosynthèse et un substrat stable auquel s'attacher. Leur distribution en profondeur est limitée d'abord par des facteurs

Éric Tamigneaux est enseignant en aquaculture au Cégep de la Gaspésie et des Îles, chargé de projet chez Merinov – CCTT des pêches et titulaire de la chaire de recherche industrielle dans les collèges du CRSNG en valorisation des macroalgues marines.

etamigneaux@cegepgim.ca

Ladd Erik Johnson est professeur titulaire au Département de biologie à l'Université Laval et membre titulaire de Québec-Océan.

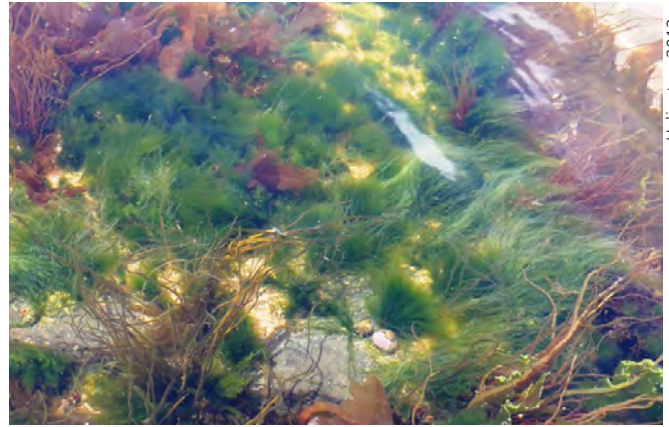
ladd.johnson@bio.ulaval.ca

abiotiques (surtout par la transparence de l'eau), ce qui explique que les espèces plus productives comme les laminaires, un groupe de grandes algues brunes (Laminariales, Heterokontophyta), sont habituellement restreintes à des profondeurs inférieures à 20 m. À de telles profondeurs, les algues sont alors exposées à de puissants mouvements d'eau, notamment les vagues, et doivent donc s'accrocher fermement aux substrats stables. Des assemblages d'algues peuvent également recouvrir de grandes superficies dans les estrans de l'étage médiolittoral. Sur ces plages rocheuses découvertes à marée basse, la lumière n'est plus un facteur limitant, mais le stress causé par le dessèchement et l'arrachement des algues par les vagues peut ralentir la croissance ou augmenter le taux de mortalité. Lorsque les besoins de base en termes de lumière et de substrat sont satisfaits, ce sont alors le régime de température et la disponibilité des nutriments de l'eau de mer qui déterminent là où certaines espèces pourront survivre ou prospérer.

Au-delà de ces limites abiotiques, la répartition des algues peut aussi être influencée par la compétition avec les invertébrés sessiles (p. ex. les moules) pour l'accès aux surfaces d'attachement, ainsi que par la présence d'animaux herbivores. En zone tempérée et boréale, les oursins forment un groupe d'herbivores particulièrement actifs et, lorsque leurs populations ne sont pas contrôlées par les prédateurs ou par les maladies, ils peuvent dénuder de vastes zones qui, autrement, seraient occupées par des champs d'algues. Ne subsistent alors que les espèces qui sont chimiquement ou mécaniquement résistantes au broutage. La flore de ces zones dénudées est typiquement dominée par les algues calcaires de petite taille (Corallinacées, Rhodophycées) dont la croissance est lente et qui possèdent une morphologie simple (Cardinal et collab., 1978, 1979).

Dans l'écosystème marin du Saint-Laurent (ÉMSL), qui inclut l'estuaire maritime et le golfe, se trouve une flore plutôt pauvre comparée à celle des zones tempérées. Ainsi, seulement 346 espèces ont été répertoriées le long des côtes du Québec (Cardinal, 1990) alors que la côte pacifique du Canada abrite 530 espèces d'algues connues (Bates, 2004). Cette différence s'explique par une tendance à une diminution de la diversité des espèces aux latitudes croissantes, mais aussi par le faible bassin d'espèces des océans Atlantique et Arctique (Adey et collab., 2008). Par ailleurs, en termes de biomasse, les assemblages d'espèces de l'ÉMSL sont largement dominés par les algues brunes de la famille des fucacées et des laminariacées (figure 2) et on y trouve couramment des espèces considérées comme arctiques (p. ex. *Saccorhiza dermatodea*, *Agarum clathratum*, *Devaleraea ramentacea*). Cet écosystème chevauche 2 régions biogéographiques distinctes (Adey et Hayek, 2011), soit la région subarctique de l'Atlantique Nord et la transition boréale/subarctique, qui divise le golfe du Saint-Laurent en une partie nord et une partie sud (nGSL et sGSL, respectivement, Merzouk et Johnson, 2011 : figure 1).

Bien que cet écosystème ressemble superficiellement à ceux des autres régions de l'hémisphère nord, il possède néanmoins 2 caractéristiques propres qui affectent le développement des assemblages d'algues : la perturbation



Halléutec, 2012

Figure 1. Diversité des assemblages d'algues dans l'étage médiolittoral en Gaspésie.



A. Licois, 2012

Figure 2. Champs d'ascophylle noueuse (*Ascophyllum nodosum*) dans l'étage médiolittoral.

physique récurrente de l'étage médiolittoral par les glaces en hiver et une pression de broutage intense d'oursins verts (*Strongylocentrotus droebachiensis*) sur les champs d'algues de l'étage infralittoral. Aucun de ces 2 facteurs écologiques n'influence directement la diversité de la flore côtière, mais ils limitent l'abondance et la répartition des algues dans plusieurs régions de l'ÉMSL. Ces contraintes interfèrent non seulement avec le fonctionnement de l'écosystème, mais aussi avec l'exploitation de cette ressource.

Dans le présent document, nous discuterons à la fois du rôle écologique des grandes algues marines dans cet écosystème unique, mais aussi de leur potentiel en termes d'exploitation commerciale. Nous passerons en revue les travaux réalisés jusqu'ici afin de repérer les similitudes et les différences par rapport aux autres écosystèmes et d'identifier les secteurs où les connaissances manquent. Nous débuterons par un bref survol historique et aborderons ensuite les thématiques de l'importance écologique et économique de ces végétaux marins. Finalement, nous discuterons des nouvelles menaces que représentent le réchauffement climatique et les espèces exotiques envahissantes pour les populations d'algues du golfe du Saint-Laurent.

Aperçu historique

L'intérêt scientifique pour les macroalgues de l'est du Canada est relativement récent. De rares travaux touchant quelques espèces remontent au 19^e siècle (Bachelot de la Pilaye, 1829; Robinson, 1903) et une seule étude de plus grande envergure a été réalisée avant le 20^e siècle (Hay et MacKay, 1887). Plus tard, quelques suivis systématiques ont été menés sur de plus vastes régions, ce qui a permis de dresser la liste des espèces présentes et d'établir une cartographie de leur répartition dans l'ÉMSL (Bell et MacFarlane, 1933; Gauvreau, 1956; MacFarlane et Milligan, 1965; Cardinal, 1967; South et Cardinal, 1970).

Dans la seconde moitié du 20^e siècle, pendant que l'écologie des grandes algues faisait l'objet d'un effort de recherche croissant ailleurs dans le monde (p. ex., Dayton, 1975; Lubchenco, 1978), très peu d'études ont été réalisées sur ce sujet dans l'ÉMSL, à l'exception notable des travaux que Cardinal et ses étudiants ont consacré à compléter les inventaires d'espèces sur les côtes du Québec (Cardinal, 1967, 1990). À cette époque, un travail considérable pour comprendre la structure et la dynamique des assemblages d'algues était pourtant en cours sur les côtes atlantiques de la Nouvelle-Écosse (Chapman et Johnson, 1990).

L'exploitation commerciale des ressources en algues tardera également à se développer dans l'ÉMSL. La seule activité connue est la récolte commerciale de mousse d'Irlande (*Chondrus crispus*) autour de l'Île-du-Prince-Édouard (sGSL), qui connut son apogée dans les années 1970 (Chopin et Ugarte, 2006) et qui mena finalement à la réalisation de plusieurs études écologiques sur cette espèce (Lazo et collab., 1989; Juanes et McLachlan, 1992a, 1992b).

Contrairement à l'Europe qui compte plusieurs centres de recherche renommés (Station biologique de Roscoff en France, Irish Seaweed Research Group, AlgeCenter Danmark, Netherland Seaweed Center, Norwegian Seaweed Technology Center) et malgré que le Canada ait plusieurs façades maritimes, il n'y a plus de centre de recherche dédié spécifiquement à l'étude des macroalgues dans l'est du Canada, la seule exception étant le département R&D de l'entreprise Acadian SeaPlants, situé en Nouvelle-Écosse. Au Québec, grâce à un programme de financement octroyé de 2008 à 2011 par le ministère de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MEESR), l'Université Laval et le Cégep de la Gaspésie et des Îles ont créé le Centre d'étude et de valorisation des macroalgues marines (CÉVAM) qui a ensuite donné lieu, en 2012, à l'établissement d'une chaire de recherche industrielle dans les collèges (CRIC) du CRSNG en valorisation des macroalgues marines.

Écologie des algues dans l'ÉMSL

Répartition et abondance

La répartition et l'abondance des algues dans l'ÉMSL ont été relativement peu étudiées. Au-delà des répertoires d'espèces (Cardinal, 1967) et de quelques inventaires locaux occasionnels (Gendron, 1983; Belzile, 1997; Sharp et collab.,

2001), les études descriptives sur la répartition des algues se sont limitées aux espèces économiquement importantes, comme la mousse d'Irlande (Bird et collab., 1983) et la laminaire à long stipe (*Saccharina longicuris*; Gendron, 1983) ou aux espèces dominantes (p. ex., corallinacées encroûtantes: Gendron et Cardinal, 1983). Plus récemment, ce sont des compagnies privées et des associations autochtones qui ont pris l'initiative de réaliser des inventaires à grande échelle pour évaluer le potentiel d'exploitation des champs de laminaires et de fucales dans le nGSL (Allard et collab., 2010; Béland, 2012; G. Sharp, comm. pers.) et, de ce fait, ces données ne sont pas du domaine public.

En 2014, une compilation des informations sur la répartition géographique des macroalgues le long des côtes du Québec a permis de formuler certains constats (Merzouk, 2016). D'abord, l'essentiel des inventaires date des années 1980 et souvent les algues ne constituaient pas le centre d'intérêt de ces études. Par ailleurs, la biomasse des fucales de l'étage médiolittoral a été la mieux documentée et les efforts de recherche ont été concentrés sur de petites superficies des côtes du Bas-Saint-Laurent, de la Haute-Côte-Nord et de l'Archipel-de-Mingan, avec relativement peu de couverture ailleurs. De plus, à l'exception du travail de Simms et Dubois (2001), les inventaires ont été réalisés avec la méthode traditionnelle, à pied ou en plongée, en se servant de lignes plombées et de quadrats, ce qui ne convient qu'aux travaux à petite échelle spatiale. Depuis 2012, des recherches sont en cours afin de pallier le manque d'information et de développer des méthodes pour cartographier rapidement les algues brunes sur de grandes superficies. Par exemple, le Centre interdisciplinaire de développement en cartographie des océans a travaillé à la mise au point d'un outil de sondage acoustique des champs de laminaires et le Centre de géomatique du Québec a testé différents capteurs optiques aéroportés pour la détection des algues de l'étage médiolittoral (Grant, 2015; Perrot, 2015).

En dépit du peu d'informations récentes et de la faible couverture spatiale des inventaires, les études montrent que, sur les côtes rocheuses du Québec, ce sont les algues brunes qui dominent en termes de couverture des fonds marins et de biomasse (Merzouk, 2016). Là où l'amplitude des marées est suffisante et où la pente de la côte est faible, des champs denses de fucales (*Ascophyllum nodosum* et *Fucus* sp.) se développent. Sous la limite de marée basse, lorsque les oursins sont absents, ce sont les champs de laminaires qui occupent le terrain jusqu'à 10-15 m de profondeur (Gagnon et collab., 2004). Dans le sGSL, les peuplements sont majoritairement composés de laminaire sucrée (*Saccharina latissima* et *Saccharina longicuris*) tandis que dans le nGSL, c'est l'alarie succulente (*Alaria esculenta*) qui domine (Merzouk et Johnson, 2011). Plus en profondeur, la laminaire sucrée et l'alarie laissent progressivement place à l'agar criblé (*Agarum clathratum*) (Gagnon et collab., 2005). Plusieurs des zones inventoriées récemment en Gaspésie, sur la Côte-Nord et dans le Bas-Saint-Laurent montrent que les biomasses d'algues brunes se comparent avantageusement à celles observées dans les provinces maritimes du Canada et

en Europe et sont suffisantes ($\geq 2 \text{ kg m}^{-2}$) pour supporter une exploitation commerciale (Béland, 2012). Pour l'ascophylle noueuse (*Ascophyllum nodosum*) par exemple, des biomasses de 3,5 à 12 kg m^{-2} ont été observées sur la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent tandis que des biomasses de 1 à 16 kg m^{-2} ont été rapportées pour la rive nord (Merzouk, 2016). À certains endroits, comme aux îles de Mingan, la comparaison entre les données récentes et les données historiques montrent que les biomasses et la composition des champs de laminaires sont restées stables dans le temps (P. Gagnon, données non publiées). À l'inverse, dans le Bas-Saint-Laurent et le long de la péninsule gaspésienne, des informations anecdotiques indiquent que, si les herbiers de fucales se maintiennent dans le temps, les forêts de laminaires sont en déclin ou ont disparu de plusieurs sites (Merzouk, 2016). Finalement, l'action des glaces et des tempêtes se traduit par l'arrachage et la dérive de grandes quantités de fucales et de laminaires. Celles-ci donnent lieu, au printemps et en automne, à des échouages massifs pouvant atteindre jusqu'à 528 000 tonnes (poids humide) sur certaines plages de la péninsule gaspésienne (Leblanc et Rondeau, 2005).

Productivité

En tant que contributeurs majeurs à la production primaire des environnements côtiers, il est important que les grandes algues fassent l'objet d'études sur leur productivité et sur les facteurs qui la contrôlent. Dans l'ÉMSL, les études de ce type se sont surtout concentrées sur les espèces à potentiel commercial de l'étage infralittoral, comme la mousse d'Irlande (Sharp, 1987; Juanes et McLachlan, 1992a, b) ou la laminaire à long stipe (Anderson et collab., 1981; Gendron, 1989). En général, les vitesses de croissance de ces algues sont semblables ou même supérieures à celles mesurées ailleurs. Par exemple, la croissance de la laminaire à long stipe (2,3 à 3,5 cm par jour en juin) dans l'ÉMSL est 2 à 3 fois plus rapide qu'en Nouvelle-Écosse et ne paraît pas limitée par la disponibilité de l'azote dissous (Anderson et collab., 1981; Gendron, 1989). Pour la mousse d'Irlande, il semble que la productivité soit contrôlée principalement par la température (Juanes et McLachlan, 1992a), ce qui pourrait expliquer son abondance plus faible dans la partie nord de l'ÉMSL que dans la partie sud (p. ex. l'Île-du-Prince-Édouard). Quant aux macroalgues de l'étage médiolittoral, Lemieux et Cusson (2014) ont démontré récemment que, grâce à leur abondance dans le Bas-Saint-Laurent, elles représentent une contribution capitale à la productivité globale de l'estran.

Habitat

L'apport des algues comme source majeure de structure d'origine biologique dans les habitats marins benthiques est connu depuis longtemps (Christie, 2003) et leur contribution dans l'ÉMSL a été illustrée dans diverses études de cas. Par exemple, certaines petites algues rouges qui forment un couvert végétal dense (Harvey et collab., 1993) et les laminaires (Bégin et collab., 2004) constituent un habitat privilégié pour la fixation des larves et le recrutement des invertébrés. Plus généralement,

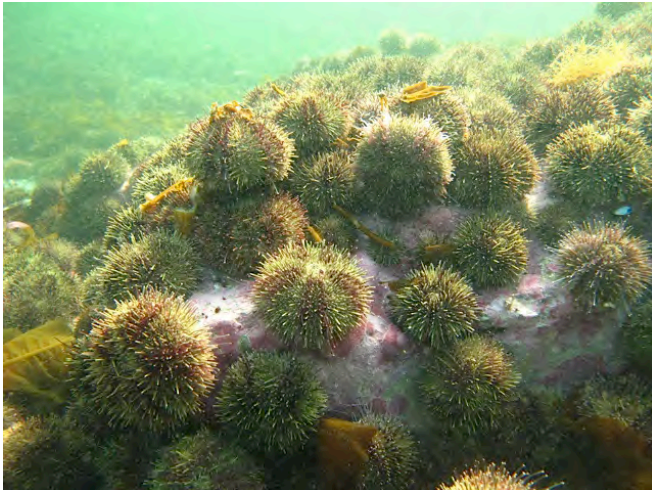
l'habitat créé par les algues abrite une grande abondance et une grande diversité d'invertébrés, autant dans l'étage médiolittoral (Lemieux et Cusson, 2014) que dans l'étage infralittoral (Bégin et collab., 2004; Drouin et collab., 2011), mais la faune associée varie énormément selon les espèces d'algues (Bégin et collab., 2004). Finalement, à plus grande échelle, certains vertébrés, incluant des oiseaux (Guillemette et collab., 1992; Craik et collab., 2011) et des poissons (Drouin et collab., 2011), sont parfois intimement associés aux champs d'algues où ils trouvent des ressources alimentaires et un habitat de protection. Le rôle d'habitat des champs d'algues est considéré comme crucial par les agences qui gèrent l'exploitation des ressources marines (Konar et collab., 2015), mais cela reste encore peu étudié et documenté dans l'ÉMSL.

Compétition

La compétition constitue une force écologique majeure qui structure les assemblages d'algues (Olson et Lubchenco, 1990). Alors que cet aspect a été largement étudié dans d'autres systèmes, les recherches sur les interactions compétitives chez les algues dans l'ÉMSL se sont limitées aux aspects négatifs qui affectent les espèces exploitées commercialement (Sharp et collab., 1993), aux différences dans les performances écophysiologiques des stades juvéniles des fucales (Lamote et collab., 2007) et aux corrélations négatives entre l'abondance des macrophytes indigènes et celle des macrophytes envahissants (Drouin et collab., 2011; Johnson et collab., 2012).

Interactions trophiques

Un vaste corpus de littérature a permis de démontrer l'importance des herbivores dans la répartition des espèces et dans la composition des assemblages de macroalgues (Poore et collab., 2012). Alors que les amphipodes et les mollusques sont des herbivores présents en tout temps dans l'étage médiolittoral de l'ÉMSL, rien n'indique qu'ils contrôlent vraiment la répartition des macroalgues, à l'exception de quelques espèces éphémères comme *Ulothrix* spp. (Pardo et Johnson, 2005). En revanche, les oursins ont un impact majeur dans l'étage infralittoral (figure 3), où ils limitent l'extension des champs de laminaires, qui de ce fait se trouvent confinés dans les régions peu profondes et exposées aux vagues, là où les oursins ne peuvent se maintenir (Himmelman et Steele, 1971; Himmelman et Lavergne, 1985; Gagnon et collab., 2004). Alors que ce patron existe dans plusieurs autres milieux côtiers de la zone tempérée, une comparaison globale suggère que l'ÉMSL se situe à l'extrémité supérieure du spectre en termes de réduction des champs de laminaires par l'activité de broutage des oursins (Ling et collab., 2015). Toutefois, les algues n'exercent pas toutes la même attraction sur les oursins (Himmelman et Nédélec, 1990) et certaines espèces comme l'agar criblé (Gagnon et collab., 2005) ou l'algue rouge *Ptilota serrata* (Himmelman et Lavergne, 1985) possèdent des défenses chimiques qui leur permettent de former des îlots persistants en profondeur.



C. Narváez, 2012

Figure 3. Perturbation des assemblages d'algues de l'étage infralittoral par les oursins.



L. Johnson, 2014

Figure 4. Perturbation des assemblages d'algues de l'étage médiolittoral par les glaces dérivantes.

Dynamique des réseaux trophiques

L'analyse des isotopes stables a grandement contribué à caractériser les liens trophiques et les flux d'énergie dans les écosystèmes aquatiques (Miller et Page, 2012). Il a ainsi été montré que, dans plusieurs communautés côtières, les laminaires représentent une source d'énergie considérable pour les invertébrés qui se nourrissent de particules en suspension, puisque ces algues répandent dans le milieu des molécules organiques dissoutes et des fragments solides issus de l'érosion des frondes (Duggins et collab., 1989). En revanche, les travaux menés en Moyenne-Côte-Nord se sont traduits par une remise en question du caractère général de ce modèle (Nadon et Himmelman, 2006), et l'absence de vastes champs de laminaires dans plusieurs parties du nGSL expliquerait cette contradiction. D'un autre côté, les algues arrachées par les vagues ou par la glace apportent une contribution importante aux communautés côtières, surtout pour les plages où les algues échouées s'accumulent (L. Miranda, données non publiées).

Perturbation

Dans la plupart des environnements marins rocheux, l'action des vagues représente la principale source de perturbations physiques (Denny et Gaylord, 2010). Cependant, dans l'étage médiolittoral et dans le haut de l'étage infralittoral de l'ÉMSL, il faut aussi compter avec les perturbations annuelles causées par l'effet d'abrasion des glaces dérivantes (figure 4) (Johnson, 2007). Le frottement des glaces sur le fond marin peut avoir un impact sélectif sur les peuplements d'algues, avec des perturbations plus intenses aux endroits davantage exposés. Malgré ces différences, son action globale sur les communautés benthiques de l'ÉMSL est énorme (Bird et collab., 1983; Bergeron et Bourget, 1986; Scrosati et Heaven, 2007) puisqu'il restreint le développement des champs d'algues. L'impact des glaces dérivantes est particulièrement sévère dans l'étage médiolittoral où elles délogent les espèces

pérennes à longue durée de vie comme *Ascophyllum nodosum*, ce qui ouvre des opportunités aux espèces éphémères (algues filamenteuses) et aux espèces à courte durée de vie comme les fucus. Les conséquences des perturbations par les glaces dans le haut de l'étage infralittoral sont moins bien documentées, mais il est probable qu'elles affectent négativement les laminaires à longue durée de vie qui dominent généralement (*S. longicuris*, *S. latissima* et *Laminaria digitata*), tout en favorisant l'installation de l'alarie succulente et de *S. dermatodea*, des espèces à courte durée de vie qui colonisent rapidement les zones perturbées (Keats, 1991). L'abrasion par les glaces modifie aussi la dynamique saisonnière des algues échouées, ce qui se traduit par de plus grandes accumulations sur les plages au printemps (L. Miranda, données non publiées).

Succession

La succession écologique est un sujet intimement associé aux perturbations. Des études classiques de perturbation-succession ont été réalisées dans les systèmes médiolittoraux de l'hémisphère nord (Sousa, 1984; Paine et Levin, 1981) et certaines de ces études intègrent des cas exceptionnels de perturbation de l'étage médiolittoral par les glaces (McCook et Chapman, 1997). Dans l'ÉMSL, où les perturbations par les glaces sont récurrentes, les études de succession ont fait apparaître des patrons intéressants de relations écologiques causées par ces perturbations. Il a ainsi été observé que l'action des glaces interrompt le processus de succession des espèces avant qu'il n'atteigne son apogée (Archambault et Bourget, 1983) ou que ce processus reste confiné à des habitats refuges comme les crevasses (McKindsey et Bourget, 2001). Dans l'étage infralittoral, les oursins retardent clairement la succession écologique (Himmelman et collab., 1983) et, à l'exception de l'abrasion par les glaces dans le haut de l'étage infralittoral, il ne semble pas y avoir de processus naturel capable de réduire les populations d'oursins.

Rôle économique des algues dans le contexte québécois

Regain d'intérêt pour l'exploitation des algues

Très peu de documents font mention d'une utilisation traditionnelle des algues par les populations autochtones le long des côtes de l'ÉMSL (Kuhnlein et Turner, 1991; Wein et collab., 1996). Dans la portion nGSL, il est parfois rapporté que les algues faisaient partie de l'alimentation des Inuits. En revanche, Gauvreau (1956) mentionne que les fucacées (fucus et ascophylles), connues sous le nom de goémon ou varech, étaient collectées au début de l'automne par les fermiers du Bas-Saint-Laurent pour amender leurs champs de pommes de terre, une tradition qui perdure en Gaspésie et dans la région du Bas-Saint-Laurent.

C'est à partir des années 1980 que l'exploitation industrielle des champs d'algues brunes et leur transformation ont commencé à susciter de l'intérêt (Nyang et Bryl, 1993; Fillion, 1999). Un prototype de moissonneuse à laminaires a même été testé dans la baie des Chaleurs (Gendron, 1984). Progressivement, plusieurs entreprises du Bas-Saint-Laurent, de la Gaspésie et de la Côte-Nord ont commencé à récolter les ascophylles, les fucus et les laminaires pour les transformer en compost ou en fertilisants destinés à l'agriculture et à l'horticulture (p. ex. Algoa, Pro-Algue Marine) (figure 5). Des produits plus complexes ont ensuite été développés, sous forme d'extraits de composés actifs destinés à l'alimentation animale et aux marchés des biostimulants, des nutraceutiques, des cosmétiques ou de la pharmaceutique (p. ex. Organic Ocean, innoVactiv, SCF Pharma). Ce développement a été accompagné par une augmentation des travaux de recherche pour caractériser l'activité des biomolécules extraites des macroalgues (Rioux et collab., 2010; Kim, 2012; Bondu et collab., 2014). Depuis 2012, portés par l'engouement pour les aliments santé et pour la cuisine du monde, quelques entrepreneurs se sont lancés dans la cueillette sélective des espèces les plus populaires (laitue de mer, *Ulva lactuca*; laminaire sucrée; alarie succulente; main de mer palmée, *Palmaria palmata*; nori, *Porphyra* sp., etc.) destinées aux restaurants, aux épiceries fines et à des marchés de niche. La création de produits alimentaires transformés à base d'algues ou d'extraits d'algues a également éveillé l'intérêt des industriels. Toutefois, ces efforts de développement doivent composer avec une réglementation mal adaptée aux besoins des entreprises. En effet, la *Loi sur les pêches*, qui date de 1868, limite la durée de validité des permis de récolte de plantes marines à 1 an et ne permet que la récolte manuelle. Le ministère des Pêches et des Océans (MPO) envisage d'ailleurs de modifier le *Règlement de pêche de l'Atlantique*. Selon le MPO (2016, communication personnelle), les volumes de récolte d'algues autorisés en Gaspésie et dans le Bas-Saint-Laurent représentent actuellement 700 tonnes humides, toutes espèces confondues.

Même si quelques promoteurs privés ont réalisé leurs propres inventaires et ont montré qu'à plusieurs endroits les densités et les superficies des champs d'algues étaient suffisantes pour justifier une exploitation commerciale (Béland, 2012),



Figure 5. Récolte d'algues brunes dans le Bas-Saint-Laurent.

le développement du secteur est ralenti par le manque de connaissances sur la répartition des espèces et sur les biomasses accessibles dans les différentes régions de l'ÉMSL. Une première compilation des informations disponibles a donc été réalisée en 2014 pour mieux orienter les efforts de recherche et de développement (Merzouk, 2015) et les résultats sont présentés sous forme de cartes de répartition et d'abondance sur le portail Biodiversité de l'Observatoire global du Saint-Laurent.

Aquaculture

Lorsque les ressources naturelles ne sont pas accessibles, ne suffisent plus ou que les marchés réclament une meilleure qualité et traçabilité des produits, l'aquaculture constitue une alternative à la pêche. Même s'il s'agit encore d'une activité industrielle concentrée dans les pays asiatiques (FAO, 2014), depuis le début des années 2000, plusieurs pays du nord de l'Europe (France, Irlande, Pays-Bas, Norvège, etc.) travaillent ensemble à développer l'algoculture, en bassin et sur des fermes marines. Ces efforts sont justifiés par le besoin de diversifier les productions et les marchés de l'industrie maricole (Person, 2011), par la nécessité de développer des biocarburants alternatifs à faible empreinte environnementale (programme EnAlgae) et par l'obligation d'atténuer les rejets de phosphore et d'azote de la salmoniculture dans le milieu marin (Skjermo et collab., 2014). En Amérique du Nord, Cooke Aquaculture au Nouveau-Brunswick et Ocean Approved dans le Maine ont commencé à cultiver la laminaire sucrée et l'alarie succulente pour le marché alimentaire et cosmétique. Finalement, Acadian Seaplants, en Nouvelle-Écosse, a également développé une culture saisonnière de mousse d'Irlande en bassins pour produire du Hana Tsunomata, un produit alimentaire très prisé au Japon.

Par rapport aux élevages de poissons ou de mollusques, la culture des algues présente certains avantages. En effet, le cycle de culture court de la plupart des algues signifie un retour sur investissement rapide pour le mariculteur. De plus, les algues n'étant pas des organismes filtreurs, elles ne sont

pas affectées par la qualité microbiologique des eaux : elles produisent de l’oxygène et absorbent le CO₂, avec relativement peu de perturbation de l’environnement (Skjermo et collab., 2014), puisque ce type de culture végétale ne nécessite pas de fertilisant ni de pesticide et ne consomme pas d’eau douce. Finalement, la culture des algues peut être réalisée dans les mêmes infrastructures que celles déjà utilisées pour l’élevage du pétoncle ou de la moule et il est possible que les rendements des cultures combinées mollusques-algues soient plus élevés (Scoggan et collab., 1989).

Au Québec, les premiers essais de culture de la laminaire à long stipe (équivalent à *S. latissima*) ont été initiés en 1992 à Pointe-au-Père par l’Institut national de la recherche scientifique-océanologie (Marsot et Fournier, 1992). En 2006, l’entreprise *Les Gaspésiennes-algues* de la Gaspésie a entrepris la culture de cette même espèce (le kombu royal) sur sa ferme marine à Paspébiac, dans la baie des Chaleurs, avec le soutien des chercheurs de l’Institut Maurice-Lamontagne du MPO (Gendron et collab., 2007). La même année, le Centre collégial de transfert de technologie des pêches (CCTTP) du Cégep de la Gaspésie et des Îles a été mandaté par une entreprise du Bas-Saint-Laurent pour développer la production de laminaires en bassins. Par la suite, les essais de culture se sont poursuivis (Gendron et Tamigneaux, 2008; Tamigneaux et collab., 2009, 2011; Gendron et collab., 2010) et ont permis de maîtriser les différentes étapes de ce type d’aquaculture, en éclosier-nourricerie et sur ferme marine (figure 6) tout en adaptant au contexte climatique du Québec (Tamigneaux et collab., 2013). Ces recherches ont permis plusieurs avancées, par exemple de conditionner en quelques semaines des frondes de laminaires immatures pour obtenir des spores à n’importe quel moment de l’année (Gendron et collab., 2010). Ces travaux ont également permis d’augmenter les rendements moyens à la récolte, qui sont passés progressivement de 1,7 kg m⁻¹ (poids frais) à plus de 12 kg m⁻¹ sur les filières de culture (tableau 1). D’autres essais concluants ont également été complétés avec l’alarie succulente (Tamigneaux et collab., 2011) et des banques de semences (gamétophytes) de plusieurs espèces peuvent désormais être conservées dans des incubateurs en laboratoire (Leblanc et collab., 2008). Grâce à la croissance rapide, en hiver, de ces laminaires d’eau froide, après 5 semaines de préculture en bassins, 9 à 10 mois de croissance sur des filières en mer suffisent pour obtenir des algues de 3 m de longueur, aux frondes propres et minces. Des travaux exploratoires ont aussi permis de montrer que le contenu des laminaires de culture en certaines molécules d’intérêt commercial, comme le mannitol, était supérieur à celui des algues sauvages (Licois et collab., 2012).

Ces avancées et une analyse de préfaisabilité positive (Reid et collab., 2014) ont décidé plusieurs entreprises comme *Fermes Marines du Québec* à se lancer dans l’algoculture et, depuis 2014, des efforts ont été consacrés à l’optimisation et à la mise à l’échelle industrielle des processus de culture dans les différentes régions maritimes du Québec. En même temps, des travaux ont été menés sur les processus de transformation



Halieutec, 2012

Figure 6. Culture de laminaire sucrée (*Saccharina latissima*) sur filières submergées dans une ferme expérimentale à Paspébiac, en Gaspésie.

Tableau 1. Comparaison des rendements de culture de la laminaire sucrée (*S. latissima*) sur une ferme marine expérimentale à Paspébiac, entre 2006 et 2012 (modifié de Tamigneaux et collab., 2014).

Année de récolte	Rendement moyen à la récolte (kg/m)	Cycle de culture	Dispositif de culture	Références
2006	1,7	Mai-octobre	Culture sur filin vertical à 5 m de profondeur	Gendron et collab., 2007
2007	6 (3,6-7,5)	Mai-août	Culture sur filin vertical à 2 m de profondeur	Gendron et collab., 2008
2008	3,3 (1,9-4,5)	Novembre-juillet	Culture sur une corde horizontale à 7 m sous la surface	Gendron et collab., 2010
2012	12 (6,5-18,7)	Octobre-juillet	Culture sur une corde horizontale à 5 m sous la surface	Tamigneaux et collab., 2014

et de conservation des macroalgues, sur le développement de produits alimentaires et d'extraits à haute valeur ajoutée et sur la valorisation des coproduits d'extraction. Finalement, des études ont été réalisées sur la reproduction et la culture des espèces lagunaires à croissance estivale, comme le lacet de mer (*Chorda filum*), des espèces arctiques à croissance rapide, comme *S. dermatodea*, des espèces riches en alginate, comme la laminaire digitée (*L. digitata*), ou des espèces riches en protéines, comme la laitue de mer et la main de mer palmée.

Valorisation des services à l'écosystème

Outre son intérêt strictement commercial, l'algoculture est également considérée pour les services que les algues rendent à l'écosystème (Chopin, 2014). Dans les régions côtières polluées par les rejets agricoles, urbains ou salmonicoles, les grandes algues peuvent jouer un rôle de biofiltre en absorbant l'azote et le phosphore dissous transportés par les courants (Chung et collab., 2002, 2013). Cet aspect de la physiologie des algues constitue la base du concept d'aquaculture multitrophique intégrée (IMTA), qui combine l'élevage de poissons, l'élevage de mollusques et la culture d'algues, de telle manière que chaque élément utilise à son profit les rejets des autres (Chopin et collab., 2001). De la même façon, plusieurs centres de recherche ont commencé à examiner comment la captation du CO₂ par les végétaux marins peut modifier localement l'effet de l'acidification des océans (Broch et collab., 2013; Krause-Jensen et collab., 2015). Ces services rendus aux écosystèmes pourraient non seulement contribuer à l'acceptabilité sociale de ce nouveau type d'aquaculture, mais également augmenter la valeur des algues et par là, la rentabilité de ce secteur économique.

Changements globaux

Parmi les changements globaux accélérés dont les activités humaines sont responsables, 2 sont particulièrement pertinents lorsqu'il est question des assemblages d'algues dans l'ÉMSL et des services à l'écosystème qui leur sont associés, soit la hausse des températures et les espèces envahissantes. En ce qui concerne la hausse des températures, les conséquences écologiques du réchauffement de l'eau sur les performances individuelles des espèces marines suscitent des inquiétudes (Harley et collab., 2012). Dans l'ÉMSL, le plus important effet à long terme sur les assemblages d'algues sera probablement causé par la réduction et ensuite par la disparition des glaces annuelles. Les communautés de l'étage médiolittoral et du haut de l'étage infralittoral seront vraisemblablement les plus affectées et elles devraient ressembler de plus en plus à celles des provinces maritimes de l'est du Canada. Un déplacement progressif de la répartition des algues vers le pôle a d'ailleurs déjà été observé en Europe (Lima et collab., 2007) mais pas encore dans l'est du Canada, sans doute parce que la rareté des informations historiques ne permet pas de distinguer ces changements (Merzouk et Johnson, 2011).

En ce qui concerne les invasions d'espèces exotiques, l'ÉMSL semble être relativement peu affecté comparé à d'autres écosystèmes marins. Selon les données historiques, la première espèce d'algue invasive observée dans l'ÉMSL a été *Fucus serratus* (Hay et MacKay, 1887; Brawley et collab., 2009), qui s'est d'abord répandue rapidement à travers le sGSL jusqu'à la péninsule de Gaspé (Gauvreau, 1956) avant qu'une réduction majeure de son aire de répartition ne s'opère récemment (Johnson et collab., 2012). Plus connu est le cas de l'algue verte *Codium fragile* qui est apparue pour la première fois dans le golfe du Saint-Laurent en 1996 (Garbary et collab., 1997), mais qui, pour des raisons encore incertaines, reste surtout limitée aux herbiers de zostères marines sur les fonds sableux (Garbary et collab., 2004). Dans les herbiers des Îles-de-la-Madeleine, elle ne semble pas causer de dommages importants (Drouin et collab., 2012) malgré sa remarquable capacité de dispersion (Gagnon et collab., 2011) et les nuisances rapportées ailleurs (Bird et collab., 1993; Scheibling et Gagnon, 2006). En revanche, d'autres espèces marines envahissantes peuvent avoir des impacts plus importants. Par exemple, *Membranipora membranacea*, un bryzoaire épiphyte encroûtant (figure 7), peut nuire à la croissance et à la reproduction des laminaires (Saunders et Metaxas, 2008), ce qui suscite des inquiétudes sur la pérennité des champs d'algues et force les algoculteurs à ajuster leur calendrier d'opération (Førde et collab., 2014).

Conclusion

Le pourtour du golfe du Saint-Laurent, avec ses côtes rocheuses, abrite de nombreux champs d'algues qui jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement de l'écosystème. La partie québécoise du golfe est considérée comme un environnement de transition boréal-subarctique et, à ce titre, elle possède des particularités qui la différencient des autres régions côtières de l'Atlantique Nord. En effet, dans l'ÉMSL l'action récurrente des glaces d'hiver et l'abondance des oursins sont 2 facteurs majeurs qui contrôlent la répartition et l'abondance des algues dans l'étage intertidal et infralittoral. Les champs d'algues de l'ÉMSL contiennent aussi en abondance plusieurs



Figure 7. Infestation d'une fronde de laminaire sucrée (*Saccharina latissima*) par les colonies du bryzoaire envahissant *Membranipora membranacea* sur une ferme d'algoculture, en juillet 2012.

Halliutec, 2012

espèces arctiques qui côtoient des espèces typiques des milieux tempérés. La répartition et l'écologie de ces macroalgues ont été jusqu'ici peu étudiées et les travaux des chercheurs se sont concentrés sur une partie du Bas-Saint-Laurent et de la Minganie, ce qui rend difficile toute généralisation des résultats à l'ensemble des côtes du Québec.

Les champs d'algues de l'ÉMSL sont soumis à des pressions croissantes provenant à la fois des changements environnementaux globaux et, depuis 2009, d'une intensification progressive des efforts de récolte commerciale. En parallèle, des activités de culture en mer sont aussi en train de se développer. L'exploitation et la valorisation de cette ressource peuvent donner naissance à une activité économique diversifiée, complémentaire aux filières industrielles traditionnelles dans les régions maritimes. Dans ce contexte, il semble indispensable d'accroître les efforts de recherche pour protéger cette ressource tout en accompagnant le développement des entreprises qui en dépendent. Dans les prochaines années, l'accent devrait idéalement être placé sur (1) l'écologie et la génétique des populations d'algues dans les différentes régions de l'ÉMSL, (2) la quantification des services rendus à l'écosystème par les champs d'algues et par les algues de culture et (3) l'amélioration des connaissances sur la répartition de la biomasse exploitable.

Remerciements

Les auteurs remercient la Dre Anissa Merzouk pour sa contribution à nos connaissances sur la répartition des macroalgues, l'équipe de chargés de projet et de techniciens du CCTT des pêches du Cégep de la Gaspésie et des Îles pour leur apport aux efforts de valorisation de la ressource algale, les 6 entreprises qui soutiennent les travaux de la CRIC : Biotag International, Fermes Marines du Québec, InnoVactiv, OrganicOcean, Pro-Algues Marines et SCF Pharma, ainsi que Martin Poirier et 3 réviseurs anonymes pour leurs commentaires sur une version précédente de l'article. Les activités d'Éric Tamigneaux et de Ladd Johnson ont bénéficié du soutien financier du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, du Fonds de recherche Nature et technologies ainsi que du ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. Cette publication est issue des activités du CÉVAM, une collaboration entre l'Université Laval et le Cégep de la Gaspésie et des Îles. ◀

Références

- ADEY, W. et L.C. HAYEK, 2011. Elucidating marine biogeography with macrophytes: Quantitative analysis of the North Atlantic supports the thermogeographic model and demonstrates a distinct subarctic region in the northwestern Atlantic. *Northeastern Naturalist*, 18: 1-128.
- ADEY, W.H., S.C. LINDSTROM, M. HOMMERSAND et K. MULLER, 2008. The biogeographic origin of Arctic endemic seaweeds: A thermogeographic view. *Journal of Phycology*, 44: 1384-1394.
- ALLARD, M., G. SHARP, J.-G. ROCHEFORT, V. FILION et Y. BELLEFLEUR, 2010. Development of the subarctic marine plant resources of Ungava Bay, Nunavik, Quebec, Canada. XXth International Seaweed Symposium, Ensenada, Baja California, Mexico, 22-26 février 2010, Program & abstracts, p. 113.
- ANDERSON, M.R., A. CARDINAL et J. LAROCHELLE, 1981. An alternate growth pattern for *Laminaria longicuris*. *Journal of Phycology*, 17: 405-411.
- ARCHAMBAULT, D. et E. BOURGET, 1983. Importance du régime de dénudation sur la structure et la succession des communautés intertidales de substrat rocheux en milieu subarctique. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40: 1278-1292.
- BACHELOT DE LA PYLAIE, A.J.M., 1829. Flora de l'Île Terre-Neuve et des Îles Saint Pierre et Miquelon. Livraison [Algae]. Typographie de A. Firmin Didot, Paris, 128 p.
- BATES, C., 2004. An introduction to the algae of British Columbia. Dans: KLINGENBERG, B. (édit.). E-Flora BC: Atlas of the plants of British Columbia. Disponible en ligne à: www.eflora.bc.ca. [Visité le 15-08-22].
- BÉGIN, C., L.E. JOHNSON et J.H. HIMMELMAN, 2004. Macroalgal canopies: Patterns of distribution and diversity of associated invertebrates and effects on the recruitment and growth of mussels. *Marine Ecology Progress Series*, 271: 121-132.
- BÉLAND, C., 2012. Évaluation de la biomasse algale sur le littoral de la côte nord du Saint-Laurent entre Tadoussac et Havre-Saint-Pierre: rapport final. Agence Mamu innu Kaikusseht, Sept-Îles, ii + 44 p. + annexes.
- BELL, H.P. et C. MACFARLANE, 1933. The marine algae of the Maritime Provinces of Canada. I. List of species and their distribution and prevalence. *Canadian Journal of Research*, 9: 265-279.
- BELZILE, L., R. LALUMIÈRE, O. CLOUTIER et J.F. MARTEL, 1997. Inventaire des laminaires dans la baie des Chaleurs entre Miguasha et Bonaventure. Rapport conjoint. Groupe-conseil Génivar inc. et Regroupement des pêcheurs professionnels du sud de la Gaspésie, pour le compte de Pêches et Océans Canada, Ottawa, 13 p.
- BERGERON, P. et E. BOURGET, 1986. Shore topography and spatial partitioning of crevice refuges by sessile epibenthos in an ice-disturbed environment. *Marine Ecology Progress Series*, 28: 129-145.
- BIRD, C.J., M. GREENWELL et J. MCLACHLAN, 1983. Benthic marine algal flora of the north shore of Prince Edward Island (Gulf of St. Lawrence), Canada. *Aquatic Botany*, 16: 315-335.
- BIRD, C.J., M.J. DADSWELL et D.W. GRUND, 1993. First record of the potential nuisance alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Chlorophyta, Caulerpaceae) in Atlantic Canada. *Proceedings of the Nova Scotian Institute of Science*, 40: 11-17.
- BONDU, S., C. BONNET, J. GAUBERT, É. DESLANDES, S.L. TURGEON et L. BEAULIEU, 2014. Bioassay-guided fractionation approach for determination of protein precursors of proteolytic bioactive metabolites from macroalgae. *Journal of Applied Phycology*, 27: 2059-2074. doi 10.1007/s10811-014-0425-0.
- BRAWLEY, S.H., J.A. COYER, A.M.H. BLAKESLEE, G. HOARAU, L.E. JOHNSON, J.E. BYERS, W.T. STAM et J.L. OLSEN, 2009. Historical invasions of the intertidal zone of Atlantic North America associated with distinctive patterns of trade and emigration. *Proceedings National Academy Sciences*, 106: 8239-8244.
- BROCH, O.J., I.H. ELLINGSEN, S. FORBORD, X. WANG, Z. VOLENT, M. ALVER, A. HANDÅ, K. ANDRESEN, D. SLAGSTAD, K.I. REITAN, Y. OLSEN et J. SKJERMO, 2013. Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp *Saccharina latissima* in close proximity to an exposed salmon farm in Norway. *Aquaculture Environment Interactions*, 4: 187-206.
- CARDINAL, A., 1967. Inventaire des algues marines benthiques de la Baie des Chaleurs et de la Baie de Gaspé (Québec). I. Phéophycées. *Le Naturaliste canadien*, 94: 233-271.
- CARDINAL, A., 1990. Répartitions biogéographiques des algues marines benthiques sur les côtes du Québec. *Le Naturaliste canadien*, 117: 167-183.
- CARDINAL, A., J. CABIOC'H et L. GENDRON, 1978. Les Corallinacées (Rhodophyta, Cryptonémiales) des côtes du Québec. I. *Clathromorphum* Fosl. *Cahier Biologie marine*, 19: 175-187.
- CARDINAL, A., J. CABIOC'H et L. GENDRON, 1979. Les Corallinacées (Rhodophyta, Cryptonémiales) des côtes du Québec. II. *Lithothamnium* Philippi emend. Adey. *Cahier Biologie marine*, 20: 171-179.

- CHAPMAN, A.R.O. et C.R. JOHNSON, 1990. Disturbance and organization of macroalgal assemblages in the northwest Atlantic. *Hydrobiologia*, 192: 77-121.
- CHOPIN, T., 2014. Seaweeds: Top mariculture crop, ecosystem service provider. *Global Aquaculture Advocate*, septembre/octobre: 54-56.
- CHOPIN, T. et R. UGARTE, 2006. The seaweed resource of Eastern Canada. Dans: A.T. CRITCHLEY, M. OHNO et D.B. LARGO (édit.), *World Seaweed Resources. An Authoritative Reference System*. ETI Bioinformatics Publishers, Amsterdam, 46 p.
- CHOPIN, T., A.H. BUSCHMANN, C. HALLING, M. TROELL, N. KAUTSKY, A. NEORI, G.P. KRAEMER, J.A. ZERTUCHE-GONZALEZ, C. YARISH et C. NEEFUS, 2001. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. *Journal of Phycology*, 37: 975-986.
- CHRISTIE, H., N.M. JØRGENSEN, K.M. NORDERHAUG et E. WAAGE-NIELSEN, 2003. Species distribution and habitat exploitation of fauna associated with kelp (*Laminaria hyperborea*) along the Norwegian coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83: 687-699.
- CHUNG, I.K., Y.H. KANG, C. YARISH, G.P. KRAEMER et J.A. LEE, 2002. Application of seaweed cultivation to the bioremediation of nutrient-rich effluent. *Algae*, 17: 187-194.
- CHUNG, I.K., J.H. OAK, J.A. LEE, J.A. SHIN, J.G. KIM et K.-S. PARK, 2013. Installing kelp forests/seaweed beds for mitigation and adaptation against global warming: Korean Project Overview. *ICES Journal of Marine Science*, 70: 1038-1044. doi:10.1093/icesjms/fss206
- CRAIK, S.R., J.-P.L. SAVARD, M.J. RICHARDSON et R.D. TITMAN, 2011. Foraging ecology of flightless male red-breasted mergansers in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Waterbirds*, 34: 280-288.
- DAYTON, P.K., 1975. Experimental evaluation of ecological dominance in a rocky intertidal algal community. *Ecological Monographs*, 45: 137-159.
- DENNY, M.W. et B. GAYLORD, 2010. Marine ecomechanics. *Annual Review of Marine Science*, 2: 89-114.
- DROUIN, A., C.W. MCKINDSEY et L.E. JOHNSON, 2011. Higher abundance and diversity in faunal assemblages with the invasion of *Codium fragile* ssp. *fragile* in eelgrass meadows. *Marine Ecology Progress Series*, 424: 105-117.
- DUGGINS, D., C. SIMENSTAD et J. ESTES, 1989. Magnification of secondary production by kelp detritus in coastal marine ecosystems. *Science*, 245: 170-173.
- FAO, 2014. The state of world fisheries and aquaculture. FAO, Rome, 223 p.
- FILLION, N., 1999. Valorisation des algues marines: fabrication de farines texturantes à partir de la laminaire à long stipe (*Laminaria longicruris*). MAPAQ, Centre Technologique des Produits Aquatiques (CTPA), direction de l'Innovation et des Technologies du Québec. Cahier d'information n° 136, Gaspé, 37 p.
- FØRDE, H., S. FORBORD, A. HANDÅ, J. FOSSBERG, J. ARFF, G. JOHNSEN et K.I. REITAN, 2016. Development of bryozoan fouling on cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in Norway. *Journal of Applied Phycology*, 28: 1225-1234.
- GAGNON, P., J.H. HIMMELMAN et L.E. JOHNSON, 2004. Temporal variation in community interfaces: Kelp bed boundary dynamics adjacent to persistent urchin barrens. *Marine Biology*, 144: 1191-1203.
- GAGNON, P., L.E. JOHNSON et J.H. HIMMELMAN, 2005. Spatial and temporal stability in algal assemblages on urchin barrens in the northern Gulf of St. Lawrence. *Journal of Phycology*, 41: 498-505.
- GAGNON, K., C.W. MCKINDSEY et L.E. JOHNSON, 2011. Dispersal potential of invasive algae: The determinants of buoyancy in *Codium fragile* ssp. *fragile*. *Marine Biology*, 158: 2449-2458.
- GARBARY, D.J., H. VANDERMEULEN et K.Y. KIM, 1997. *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Chlorophyta) invades the Gulf of St Lawrence, Atlantic Canada. *Botanica Marina*, 40: 537-540.
- GARBARY, D.J., S.J. FRASER, C. HUBBARD et K.Y. KIM, 2004. *Codium fragile*: Rhizomatous growth in the *Zostera* thicket of eastern Canada. *Helgoland Marine Research*, 58: 141-146.
- GAUVREAU, M., 1956. Les algues marines du Québec. Jardin botanique de Montréal, Montréal, 147 p. + 45 dessins et photographies.
- GENDRON, L., 1983. Inventaire des populations de Laminaires de la baie des Chaleurs (secteur Caps Noirs – Pointe Bonaventure). Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, direction de la recherche scientifique et technique, cahier d'information, 111: 1-52.
- GENDRON, L., 1984. Évaluation du fonctionnement et du rendement d'un prototype de moissonneuse à algues. MAPAQ-Pêcheries, direction de la recherche scientifique et technique, document de recherche 84/11, Gaspé, 20 p.
- GENDRON, L., 1989. Seasonal growth of the kelp *Laminaria longicruris* in Baie-des-Chaleurs, Quebec, in relation to nutrient and light availability. *Botanica Marina*, 32: 345-354.
- GENDRON, L. et A. CARDINAL, 1983. *Clathromorphum circumscriptum* (Cryptonemiales, Rhodophyta) – characteristics of a population at its estuarine limit of distribution. *Phycologia*, 22: 96-99.
- GENDRON, L. et É. TAMIGNEAUX, 2008. Expériences de culture de l'algue brune *Saccharina longicruris* en 2007: essais en bassin et en mer au large de Paspébiac et de Grande-Rivière (Québec). Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2820, x + 48 p.
- GENDRON, L., P. GAUTHIER et G. SAVARD, 2007. Expériences préliminaires de culture de l'algue brune *Laminaria longicruris* en laboratoire et en mer au large de Paspébiac (Québec) en 2006. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2731, viii + 53 p.
- GENDRON, L., É. TAMIGNEAUX, C. LEROUX et M.-J. LEBLANC, 2010. Ajustements du calendrier de culture de la laminaire à long stipe (*Saccharina longicruris*) en Gaspésie (Québec) pour éviter la colonisation des frondes par le bryozoaire *Membranipora membranacea* et augmenter le nombre de récoltes annuelles. Rapport canadien à l'industrie sur les sciences halieutiques et aquatiques 284, vii + 44 p.
- GRANT, C., C. MONPERT, M.-H. RONDEAU, D. BEAUCHESNE et C. STOEFFLER, 2015. Cartographie de bancs de laminaires à l'aide de méthodes acoustiques. Rapport final. Centre interdisciplinaire de développement en cartographie des océans, Rimouski, 46 p.
- GUILLEMETTE, M., R.C. YDENBERG et J.H. HIMMELMAN, 1992. The role of energy intake rate in prey and habitat selection of common eiders *Somateria mollissima* in winter: A risk-sensitive interpretation. *Journal of Animal Ecology*, 61: 599-610.
- HARLEY, C.D.G., K.M. ANDERSON, K.W. DEMES, J.P. JORVE, R.L. KORDAS, T.A. COYLE et M.H. GRAHAM, 2012. Effects of climate change on global seaweed communities. *Journal of Phycology*, 48: 1064-1078.
- HARVEY, M., E. BOURGET et G. MIRON, 1993. Settlement of Iceland scallop *Chlamys islandica* spat in response to hydroids and filamentous red algae: Field observations and laboratory experiments. *Marine Ecology Progress Series*, 9: 283-292.
- HAY, G.U. et A.H. MACKAY, 1887. Marine algae of New Brunswick and Appendix: List of the marine algae of the Maritime Provinces of the Dominion of Canada, with notes. *Transactions of the Royal Society of Canada*, 5: 170-174.
- HIMMELMAN, J.H. et D.H. STEELE, 1971. Foods and predators of the green sea urchin *Strongylocentrotus droehachiensis* in Newfoundland waters. *Marine Biology*, 9: 315-322.
- HIMMELMAN, J.H. et Y. LAVERGNE, 1985. Organization of rocky subtidal communities in the St. Lawrence Estuary. *Le Naturaliste canadien*, 112: 143-154.
- HIMMELMAN, J.H. et H. NÉDÉLEC, 1990. Urchin foraging and algal survival strategies in intensely grazed communities in eastern Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47: 1011-1026.
- HIMMELMAN, J.H., A. CARDINAL et E. BOURGET, 1983. Community development following removal of urchins, *Strongylocentrotus droehachiensis*, from the rocky subtidal zone of the St. Lawrence Estuary, eastern Canada. *Oecologia*, 59: 27-39.

- JOHNSON, L.E., 2007. Ice scour. Dans: DENNY M.W. et S.D. GAINES (édit.). Encyclopedia of tidepools and rocky shores. University of California Press, Berkeley, p. 289-291.
- JOHNSON, L.E., S.H. BRAWLEY et W.H. ADEY, 2012. Secondary spread of invasive species: Historic patterns and underlying mechanisms of the continuing invasion of the European rockweed *Fucus serratus* in eastern North America. *Biological Invasions*, 14: 79-97.
- JUANES, J.A. et J.L. MCLACHLAN, 1992a. Productivity of *Chondrus crispus* Stackhouse (Rhodophyta, Gigartinales) in sublittoral Prince Edward Island, Canada. 1. Seasonal pattern. *Botanica Marina*, 35: 391-398.
- JUANES, J.A. et J.L. MCLACHLAN, 1992b. Productivity of *Chondrus crispus* Stackhouse (Rhodophyta, Gigartinales) in sublittoral Prince Edward Island. 2. Influence of temperature and nitrogen reserves. *Botanica Marina*, 35: 399-405.
- KEATS, D.W., 1991. Refugial *Laminaria* abundance and reduction in urchin grazing in communities in the north-west Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association, United Kingdom*, 71: 867-876.
- KIM, K.-T., 2012. Seasonal variation of seaweed components and novel biological function of fucoidan extracted from brown algae in Quebec. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 142 p.
- KONAR, B., M. EDWARDS et T. EFIRD, 2015. Local habitat and regional oceanographic influence on fish distribution patterns in the diminishing kelp forests across the Aleutian Archipelago. *Environmental Biology of Fishes*, 98: 1935-1951.
- KRAUSE-JENSEN, D., C.M. DUARTE, I.E. HENDRIKS, L. MEIRE, M.E. BLICHER, N. MARBÀ et M.K. SEJR, 2015. Macroalgae contribute to nested mosaics of pH variability in a subarctic fjord. *Biogeosciences*, 12: 4895-4911.
- KUHNLEIN, H.V. et N.J. TURNER, 1991. Traditional plant foods of Canadian Indigenous Peoples: Nutrition, botany and use. Gordon and Breach Science publishers, Amsteldijk, 635 p.
- LAMOTE, M., L.E. JOHNSON et Y. LEMOINE, 2007. Interspecific differences in the response of juvenile stages to physical stress: Fluorometric response of fucoid algae to variation in meteorological conditions. *Journal of Phycology*, 43: 1164-1176.
- LAZO, M.L., M. GREENWELL et J. MCLACHLAN, 1989. Population-structure of *Chondrus crispus* Stackhouse (Gigartinales, Rhodophyta) along the coast of Prince Edward Island, Canada – distribution of gametophytic and sporophytic fronds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 126: 45-58.
- LEBLANC, M.-J. et M.-H. RONDEAU, 2005. Projet d'évaluation du potentiel de la ressource des algues échouées en Gaspésie pour des fins d'élevage de spécialité: Phase II. Rapport final présenté à l'Union des producteurs agricoles de la Gaspésie. Cégep de la Gaspésie et des Îles, Centre collégial de transfert de technologie des pêches, Grande-Rivière, 43 p.
- LEBLANC, M.-J., E. TAMIGNEAUX et M.-L. LARRIVÉE, 2008. Amélioration des techniques de culture des algues marines: culture *in vitro* de semences de la laminaria à long stipe et ensemencement de cordes de culture. Programme d'aide à la recherche technologique. Rapport final du projet PART2007N003 au ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. Cégep de la Gaspésie et des Îles, Centre collégial de transfert de technologie des pêches, Grande-Rivière, 52 p.
- LEMIEUX, J. et M. CUSSON, 2014. Effects of habitat-forming species richness, evenness, identity, and abundance on benthic intertidal community establishment and productivity. *PLoS ONE* 9:e109261. doi:10.1371/journal.pone.0109261.
- LICOIS, A., G. HERSANT, E. TAMIGNEAUX et R. BERNIER, 2012. Projet ALHURE. Valorisation des huiles et des fibres d'une algue brune (*Saccharina longicruris*) pour le marché des biomatériaux. Rapport final du projet PART2010N035 au ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. Cégep de la Gaspésie et des Îles, Centre collégial de transfert de technologie des pêches, Grande-Rivière, 36 p.
- LICOIS, A., M.C.I. NGOM, G. HERSANT, R. CORCUFF, F. COUTURE et E. TAMIGNEAUX, 2014. Projet PRÉFAB. Étude de préféabilité technico-économique de la filière intégrée de laminaire au Québec. 2014. Merinov, rapport de R-D n° 14-06, Gaspé, 37 p.
- LIMA, F.P., P.A. RIBEIRO, N. QUEIROZ, S.J. HAWKINS et A.M. SANTOS, 2007. Do distributional shifts of northern and southern species of algae match the warming pattern? *Global Change Biology*, 13: 2592-2604.
- LING, S.D., R.E. SCHEIBLING, A. RASSWEILER, C.R. JOHNSON, N. SHEARS, S.D. CONNELL, A.K. SALOMON, K.M. NORDERHAUG, A. PÉREZ-MATUS, J.C. HERNANDEZ, S. CLEMENTE, L.K. BLAMEY, B. HEREU, E. BALLESTEROS, E. SALA, J. GARRABOU, E. CEBRIAN, M. ZABALA, D. FUJITA et L.E. JOHNSON, 2015. Global regime shift dynamics of catastrophic sea urchin overgrazing. *Philosophic Transaction of the Royal Society, B* 370: 20130269. doi.org/10.1098/rstb.2013.0269
- LIONARD, M., E. TAMIGNEAUX, I. GENDRON-LEMIEUX et K. BERGER, 2014. Présentation du potentiel d'utilisation de la biomasse algale sur la Côte-Nord. Rapport de recherche-développement n°14-03, Merinov, Gaspé, 23 p.
- LUBCHENCO, J., 1978. Plant species diversity in a marine intertidal community: Importance of herbivore food preference and algal competitive abilities. *The American Naturalist*, 112: 23-39.
- MACFARLANE, C. et G.M. MILLIGAN, 1965. Marine algae of the maritime provinces of Canada. A preliminary checklist. Nova Scotia Research Foundation, Seaweed Division, Dartmouth, 32 p.
- MARSOT, P. et R. FOURNIER, 1992. Faisabilité biologique de la reproduction de *Laminaria longicruris* et de la croissance des jeunes sporophytes en laboratoire. Dans: Projet d'étude de faisabilité technique et économique de la culture d'algues alimentaires aux Îles-de-la-Madeleine. Rapport final, programme d'essai et d'expérimentation halieutique et aquicole. Ministère des Pêches et des Océans, Région du Québec, Mont-Joli, 106 p.
- MCCOOK, L.J. et A.R.O. CHAPMAN, 1997. Patterns and variations in natural succession following massive ice-scour of a rocky intertidal seashore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 214: 121-147.
- MCKINDSEY, C.W. et E. BOURGET, 2001. Diversity of a northern rocky intertidal community: The influence of body size and succession. *Ecology*, 82: 3462-3478.
- MERZOUK, A., 2016. État des connaissances des herbiers marins et portrait des ressources algales sur les côtes du Québec. Rapport final. Merinov, Gaspé, v + 137 p.
- MERZOUK, A. et L.E. JOHNSON, 2011. Kelp distribution in the northwest Atlantic Ocean under a changing climate. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400: 90-98.
- MILLER, R.J. et H.M. PAGE, 2012. Kelp as a trophic resource for marine suspension feeders: A review of isotope-based evidence. *Marine Biology*, 159: 1391-1402.
- NADON, M.O. et J.H. HIMMELMAN, 2006. Stable isotopes in subtidal food webs: Have enriched carbon ratios in benthic consumers been misinterpreted? *Limnology and Oceanography*, 51: 2828-2836.
- NYANG, A. et P. BRYL, 1993. Les possibilités d'exploitation et de valorisation des algues au Québec. MAPA-Pêcheries, DRST – Document de travail 93/05, Gaspé, 9 p.
- OLSON, A.M. et J. LUBCHENCO, 1990. Competition in seaweeds – linking plant traits to competitive outcomes. *Journal of Phycology*, 26: 1-6.
- PAINE, R.T. et S.A. LEVIN, 1981. Intertidal landscapes: Disturbance and the dynamics of pattern. *Ecological Monographs*, 51: 145-178.
- PARDO, M.-L. et L.E. JOHNSON, 2005. Variation in life-history traits across an intertidal gradient: Environmental effects on the size, growth and fecundity in a marine snail. *Marine Ecology Progress Series*, 296: 229-239.
- PERROT, Y., 2015. Télédétection aérienne d'algues littorales. Rapport Technique CGQ 0398 présenté à Pêcherie Uapan le 16 janvier 2015. Centre de géomatique du Québec, Saguenay, 26 p.

- PERSON, J., 2011. Livre turquoise. Algues, filières du futur. Colloque Algues; filières du futur, 17-19 novembre 2010, Romainville, France. AdebioTech, Romainville, 182 p.
- POORE, A.G.B., A.H. CAMPBELL, R.A. COLEMAN, G.J. EDGAR, V. JORMALAINEN, P.L. REYNOLDS, E.E. SOTKA, J.J. STACHOWICZ, R.B. TAYLOR, M.A. VANDERKLIFT et J.E. DUFFY, 2012. Global patterns in the impact of marine herbivores on benthic primary producers. *Ecology Letters*, 15: 912-922.
- REID, A., P. ROBICHAUD, E. POULIN, C. LANGEVIN, S. VINCENT, J. LANGLOIS, J. DUCHESNE, K. BERGER, M. LIONARD, D. BOURDAGES, A. BLAIS et H. MICHAUD, 2014. Valorisation alimentaire des macroalgues de culture du Québec. Programme d'aide à la recherche technologique. Rapport final du projet PART2013A028 au ministère de l'Éducation, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Citech agroalimentaire, Saint-Hyacinthe, 120 p.
- RIOUX, L.-E., S.L. TURGEON et M. BEAULIEU, 2010. Structural characterisation of laminaran and galactofuran extracted from the brown seaweed *Saccharina longicuris*. *Phytochemistry*, 71: 1586-1595.
- ROBINSON, C.B., 1903. The distribution of *Fucus serratus* in America. *Torreyia*, 3: 132-134.
- SAUNDERS, M. et A. METAXAS, 2008. High recruitment of the introduced bryozoan *Membranipora membranacea* is associated with kelp bed defoliation in Nova Scotia, Canada. *Marine Ecology Progress Series*, 369: 139-151.
- SCHIEBLING, R.E. et P. GAGNON, 2006. Competitive interactions between the invasive green alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* and native canopy-forming seaweeds in Nova- Scotia (Canada). *Marine Ecology Progress Series*, 325: 1-14.
- SCOGGAN, J., Z. ZHIMENG et W. FEIJU, 1989. Culture of kelp (*Laminaria japonica*) in China. UNDP/FAO Regional Seafarming Project. Training Manual 89/5 (RAS/86/024). Disponible en ligne à: <http://www.fao.org/3/contents/a772bf3d-29f6-5025-bf95-8cfe046155c4/AB724E00.htm>. [Visité le 16-03-22].
- SCROSATI, R. et C. HEAVEN, 2007. Trends in abundance of rocky intertidal seaweeds and filter feeders across gradients of elevation, wave exposure, and ice scour in eastern Canada. *Hydrobiologia*, 603: 1-14.
- SHARP, G.J., 1987. Growth and production in wild and cultured stocks of *Chondrus crispus*. *Hydrobiologia*, 151: 349-354.
- SHARP, G.J., C. TETU, R. Semple et D. Jones, 1993. Recent changes in the seaweed community of western Prince Edward Island – implications for the seaweed industry. *Hydrobiologia*, 261: 291-296.
- SHARP, G., R. SEMPLE et B. PILGRIM, 2001. Distribution and abundance of marine plants in the nearshore of Cape Breton in potential oil and gas exploration areas. Pêches et Océans Canada, Secrétariat canadien de consultation scientifique, document de recherche 2001/117, Ottawa, 25 p.
- SIMMS, É.L. et J.-M. M. DUBOIS, 2001. Satellite remote sensing of submerged kelp beds on the Atlantic coast of Canada. *International Journal of Remote Sensing*, 22: 2083-2094.
- SKJERMO, J., I. M. AASEN, J. ARFF, O.J. BROCH, A. CARVAJAL, H. CHRISTIE, S. FORBORD, Y. OLSEN, K.I. REITAN, T. RUSTAD, J. SANDQUIST, R. SOLBAKKEN, K.B. STEINHOVDEN, B. WITTGENS, R. WOLFF et A. HANDÅ, 2014. A new Norwegian bioeconomy based on cultivation and processing of seaweeds: Opportunities and R&D needs. Report A25881, Sintef Fisheries and Aquaculture, Trondheim, 46 p.
- SOUSA, W.P., 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15: 353-591.
- SOUTH, G.R. et A. CARDINAL, 1990. Checklist of marine algae of eastern Canada. *Canadian Journal of Botany*, 48: 2077-2095.
- TAMIGNEAUX, É., M.-J. LEBLANC et M.-L. LARRIVÉE, 2009. Amélioration des techniques de culture des algues marines: test de faisabilité de trois récoltes annuelles pour la laminaire à long stipe (*Saccharina longicuris*). Programme d'aide à la recherche technologique. Rapport final du projet PART2007N004 au ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. Cégep de la Gaspésie et des Îles, Centre collégial de transfert de technologie des pêches, Grande-Rivière, vii + 40 p.
- TAMIGNEAUX, É., M.-J. LEBLANC et M.-L. LARRIVÉE, 2011. Amélioration des techniques de culture des algues marines: comparaison entre les rendements de *Saccharina longicuris* et d'*Alaria esculenta*. Programme d'aide à la recherche technologique. Rapport final du projet PART2009A019 au ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. Cégep de la Gaspésie et des Îles, Centre collégial de transfert de technologie des pêches, Grande-Rivière, vi + 32 p.
- TAMIGNEAUX, É., A. LICOIS, D. BOURDAGES et M.-J. LEBLANC, 2013. Protocoles pour la culture de la laminaire à long stipe (*Saccharina longicuris*) et de la laminaire sucrée (*Saccharina latissima*) dans le contexte du Québec. Guide n° 13-01. Merinov, Gaspé, 38 p.
- TAMIGNEAUX, É., E. PEDNEAULT et L. GENDRON, 2014. Comparaison des rendements de l'algue brune *Saccharina longicuris* cultivée en milieu ouvert en Gaspésie et en lagune aux Îles-de-la-Madeleine. 2014. Rapport de R-D n° 14-04, Merinov, Gaspé, 34 p.
- WEIN, E., F.R. FREEMAN et J.C. MAKUS, 1996. Preference for traditional foods among the Belcher Islands Inuit. *Arctic*, 49: 256-264.

1435 rue Provancher
Québec, QC
G1Y 1R9



LA MAISON
LÉON-PROVANCHER
www.maisonleonprovancher.com

Dr MICHEL COUVRETTE
Chirurgien-dentiste

5886 St-Hubert
Montréal (Québec)
Canada H2S 2L7

sur rendez-vous
seulement
274-2373

Gestion des poissons d'eau douce et migrateurs dans le Saint-Laurent: mandats, enjeux et perspectives

Marc Mingelbier, Yves Paradis, Philippe Brodeur, Véronik de la Chenelière, Frédéric Lecomte, Daniel Hatin et Guy Verreault

Résumé

Bien que la pêche soit très présente dans la culture québécoise, la gestion et la conservation des poissons d'eau douce et des poissons migrateurs du Saint-Laurent sont peu connues du public. L'objectif de cet article est de présenter les acteurs, le cadre législatif et les pratiques de gestion applicables à ces espèces dans les eaux douces et saumâtres du Saint-Laurent. La croissance des usages du territoire québécois, déjà nombreux, génère des pressions grandissantes sur la faune et les habitats du Saint-Laurent. Cette réalité force à sortir des modèles classiques de gestion et à recourir à des approches globales nécessitant de protéger des habitats multi-spécifiques plutôt qu'une espèce en particulier, et d'impliquer des intervenants provenant, entre autres, des domaines agricole, industriel et municipal. Dans le futur, les principaux défis consisteront à rassembler les acteurs liés au Saint-Laurent autour des cibles communes de restauration et de mise en valeur, de maintenir une expertise de pointe et de continuer à appuyer la gestion de la faune aquatique sur des données scientifiques rigoureuses. Dans un contexte de changements climatiques, où la menace liée aux espèces exotiques envahissantes et les pressions de diverses natures sont exercées sur les habitats, il sera primordial d'appliquer une gestion proactive en déployant les mesures nécessaires dès que l'état de situation d'une espèce le suggérera. L'état précaire de certaines populations, comme la perchaude du lac Saint-Pierre, doit d'ailleurs être interprété comme un indicateur parmi d'autres de la détérioration de certaines fonctions de l'écosystème exceptionnel que représente le Saint-Laurent et des défis qui devront être relevés dans le futur. Tous les défis ne sont cependant pas associés à des situations de déclin. Les exemples de la réintroduction du bar rayé et du rétablissement de l'esturgeon jaune démontrent, lorsque des mesures de gestion adéquates sont prises, que le système peut être résilient et que le futur peut être prometteur.

MOTS CLÉS : eau douce, gestion, habitat, poissons, Saint-Laurent

Abstract

While fishing is culturally important in Québec (Canada), public knowledge about the management and conservation of freshwater and migratory fish in the St. Lawrence River is generally poor. This article aims to present the key players, the legislative framework, and the management practices as applicable to fish species in the freshwater and brackish portion of the St. Lawrence in Québec. Human pressure throughout the southern part of the province continues to increase and this has important impacts on the habitats of the St. Lawrence, and the wildlife using them. This reality must be addressed using new global approaches, such as protecting multi-species habitats, rather than focusing on more traditional single-species management and protection plans. New approaches should also involve stakeholders from the agricultural, industrial and municipal sectors, among others. In the future, the main challenges will be to achieve consensus between stakeholders for the fixing of common targets for restoration and development; to maintain cutting-edge expertise; and to continue supporting the management of fisheries on a rigorous scientific basis. In the context of climate change, where invasive exotic species and a range of anthropogenic alterations add increased pressure on habitats, it will be important to implement a proactive management approach, allowing rapid action to be taken as soon as the status of a species indicates that it is needed. The precarious status of some species, such as the yellow perch in the Lake Saint-Pierre area, is another indicator of the profound deterioration and the loss of key ecological functions of the St. Lawrence ecosystem, and the challenges that will have to be met in the future. The reintroduction of the northernmost population of striped bass and the successful reestablishment of lake sturgeon stocks highlight the potential for meeting these challenges, and restoring the St. Lawrence River and its species. These examples show that the future can be positive if the appropriate management actions are implemented when required.

KEYWORDS: fish, freshwater, habitat, management, St. Lawrence River

Introduction

Avec ses 10 % du territoire recouverts d'eau douce, ses 4 500 rivières et un demi-million de lacs, le Québec possède 3 % des réserves d'eau douce de la planète. Près de 40 % de cette eau se concentre dans le bassin hydrographique du fleuve Saint-Laurent, qui représente le berceau de la biodiversité du Québec. La faune ichtyenne du fleuve est composée d'une centaine d'espèces d'eau douce, dont une trentaine présentent

Les auteurs sont biologistes au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Marc Mingelbier, Yves Paradis, Véronik de la Chenelière et Frédéric Lecomte travaillent à la Direction de l'expertise sur la faune aquatique, Philippe Brodeur à la Direction de la gestion de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec, Daniel Hatin à la Direction de la gestion de la faune Estrie-Montréal-Montérégie-Laval et Guy Verreault à la Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent.

Marc.Mingelbier@mffp.gouv.qc.ca

un intérêt pour les pêches sportive et commerciale, et plusieurs sont en situation précaire.

Bien que la pêche soit profondément ancrée dans la culture et fasse partie des activités traditionnelles et récréatives parmi les plus prisées au Québec, la gestion des poissons et de leurs habitats demeure méconnue du public. C'est le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) qui a la responsabilité de gérer l'exploitation des poissons d'eau douce (eaux intérieures et Saint-Laurent), ainsi que des poissons migrateurs (p. ex. saumon atlantique (voir l'annexe 1 pour les noms scientifiques des poissons), bar rayé) qui fréquentent les eaux saumâtres et marines de la province. Ce ministère a aussi la responsabilité de la conservation des espèces fauniques en situation précaire et de leurs habitats.

L'objectif de cet article est de présenter les principaux mandats du MFFP, les pratiques et les enjeux reliés à la gestion des pêches, de la faune aquatique et de ses habitats dans les différentes sections du Saint-Laurent. Nous y présentons le contexte physique, le portrait des pêcheries et le cadre législatif qui confère au ministère responsable de la faune un double mandat de conservation et de mise en valeur. Nous exposons quelques exemples de succès de la gestion de la faune aquatique dans le Saint-Laurent, des encarts thématiques sur des enjeux actuels, et nous terminons avec les principaux défis à relever et quelques grandes orientations de gestion à prendre pour le futur.

Des habitats variés et interconnectés soutiennent une communauté de poissons diversifiée

Le Saint-Laurent est un vaste écosystème dont les caractéristiques génèrent de façon naturelle une importante hétérogénéité d'habitats aquatiques, qui soutiennent une grande diversité de poissons (La Violette et collab., 2003; Foubert, données non publiées). Les variables déterminantes qui influencent à large échelle les superficies d'habitats disponibles et les conditions de la vie aquatique sont: (i) la physiographie (succession de larges lacs fluviaux, de tronçons étroits et de rapides), (ii) le régime hydrologique (variations saisonnières et interannuelles), (iii) la marée très marquée dans l'estuaire fluvial et (iv) la composition physicochimique (matières en suspension, nutriments, contaminants) distincte des masses d'eaux formées tour à tour par les nombreux affluents (Morin et Bouchard, 2000; La Violette et collab., 2003; Mingelbier et collab., 2008).

La communauté de poissons du Saint-Laurent est composée d'une centaine d'espèces d'eau douce et diadromes (annexe 1), se répartissant le long du Saint-Laurent jusque dans les eaux saumâtres de l'estuaire moyen et du golfe. On les rencontre dans les nombreuses ramifications des affluents et le couloir fluvial proprement dit, en fonction de leurs préférences d'habitat, de leurs stades de vie et des pressions anthropiques qui agissent à diverses échelles (Mingelbier et collab., 2008). En outre, l'interaction entre les affluents et le fleuve jouent un rôle important dans la reproduction de plusieurs espèces de poissons. Le lac Saint-Louis ainsi que le lac Saint-Pierre et son archipel représentent, sans contredit, les secteurs les plus riches en termes de nombre d'espèces, une situation que l'on peut

associer au libre passage des poissons, aux grandes superficies d'habitats disponibles et aux conditions physicochimiques très variées (La Violette et collab., 2003; Mingelbier et collab., 2008). À l'opposé, le potentiel ichtyologique du lac Saint-François est fortement diminué par les barrages qui l'isolent du système Saint-Laurent, coupant l'accès aux espèces migratrices, occasionnant localement des pertes d'habitats riverains et d'eau vive et stabilisant son niveau d'eau depuis les années 1960 (La Violette et collab., 2003). Les tronçons fluviaux, plus étroits et soumis à des courants plus rapides (Montréal-Sorel) ainsi qu'à la marée (en aval de Trois-Rivières), abritent moins de superficies d'habitat et une diversité de poissons plus faible que les lacs fluviaux. Par ailleurs, les espèces présentes dans le secteur à marées sont très diversifiées en termes de familles représentées, car des poissons d'eau douce, anadromes, estuariens véritables et euryhalins s'y côtoient (Bourget, 2011; Foubert, données non publiées). L'estuaire fluvial est reconnu pour son rôle de couloir de migration et comme milieu favorable à l'alimentation et la reproduction de plusieurs espèces. L'estuaire moyen est sans contredit le milieu le plus productif en zooplancton de tout le Saint-Laurent et joue un rôle prépondérant dans la croissance et la survie d'espèces telles que l'esturgeon noir, le bar rayé, le poulamon atlantique et l'éperlan arc-en-ciel.

Un Saint-Laurent sous pression et en constante évolution

Situé au cœur d'un des plus grands pôles industriels et urbains en Amérique du Nord, le Saint-Laurent a été exploité et modifié par les activités humaines depuis plus de 150 ans. Les exemples de perturbations abondent: (i) construction de 2 grands barrages, les complexes hydroélectriques Beauharnois (Québec) et Moses-Saunders (Ontario et États-Unis) sur le parcours principal et de milliers d'obstacles dans les tributaires (Tremblay et collab., 2011; encadré), constituant des barrières à la migration des poissons et modifiant le régime d'écoulement

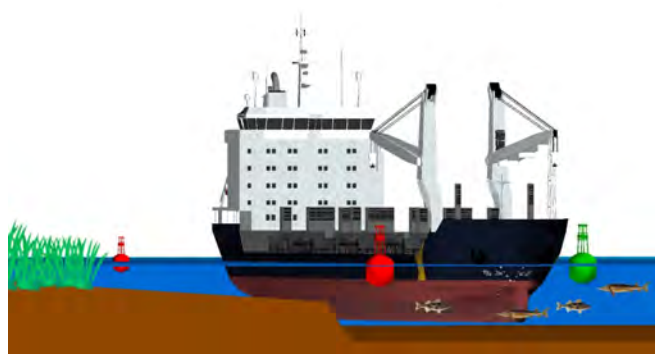
Le Saint-Laurent: un carrefour de connectivité

La diversité des poissons que l'on rencontre dans le Saint-Laurent s'explique par l'hétérogénéité des habitats aquatiques et par ses connections avec les Grands Lacs, l'Atlantique et ses nombreux tributaires. Les poissons ont besoin d'habitats variés au cours des différentes étapes de leur vie, qui nécessitent parfois de très grands déplacements. Or, la plupart des voies naturelles de migration ont été fragmentées par des barrages, ce qui contribue au déclin de grands migrateurs comme l'anguille d'Amérique. Dans les eaux douces du Saint-Laurent, la connectivité existe encore sur un dernier tronçon d'environ 350 km entre Beauharnois et la pointe est de l'île d'Orléans. Elle doit être maintenue pour assurer la reproduction et le développement des jeunes stades de vie de plusieurs espèces, dont l'esturgeon jaune, l'aloise savoureuse, le doré jaune, le poulamon atlantique, la perchaude, le grand brochet et le chevalier cuivré. Le libre passage des poissons est tout aussi important le long du Saint-Laurent qu'entre le fleuve, ses affluents (petits et grands) et sa plaine d'inondation.

ainsi que de sédimentation, (ii) creusage d'un chenal artificiel de navigation (en aval de Montréal) et de la Voie maritime (en amont de Montréal), (iii) détérioration de la qualité de l'eau, (iv) remblaiement de milieux humides, (v) artificialisation des berges.

Durant les années 1950 à 1980, les atteintes à l'intégrité du Saint-Laurent étaient suffisamment préoccupantes pour déclencher et mettre en œuvre des actions de protection et de restauration. Plusieurs programmes et stratégies d'interventions gouvernementales ont été développés, dont le *Programme d'assainissement des eaux usées municipales*, le *Programme de réduction des rejets industriels* et plus particulièrement le *Plan d'action Saint-Laurent (PASL)*, un partenariat Canada-Québec, démarré en 1988. Ce dernier a pour but de restaurer, de protéger et de conserver l'environnement du Saint-Laurent. Depuis lors, 4 plans d'action quinquennaux ont été menés par une douzaine de partenaires gouvernementaux et de nombreux collaborateurs des secteurs privé et communautaire. Toutefois, malgré des améliorations concernant la diminution des concentrations de nutriments et celles de produits toxiques des effluents domestiques et industriels et plusieurs gains en termes de milieux humides protégés et de marais aménagés, les pressions anthropiques sur l'écosystème et son bassin versant continuent à évoluer et à s'accroître, entraînant des impacts sur les espèces. La perchaude du lac Saint-Pierre fait actuellement l'objet d'un moratoire sur la pêche (lac Saint-Pierre: 2012-2017; pont Laviolette-Saint-Pierre-les-Becquets: 2013-2018; Mailhot et collab., 2015) et le chevalier cuirvé est toujours désigné menacé (MPO, 2012b). C'est pourquoi d'autres initiatives, stimulées, entre autres, par le PASL, sont en cours de réalisation comme le *Plan de conservation des basses terres du Saint-Laurent*, le *Corridor vert et bleu du Richelieu*, ou encore la *Stratégie d'intervention pour l'avenir du lac Saint-Pierre*.

Malgré certaines améliorations engendrées par les efforts de protection et de gestion de la faune aquatique et ses habitats déployés depuis plus de 30 ans, le Saint-Laurent montre encore des signes de détérioration. Il demeure vulnérable à l'agriculture intensive, aux rejets des eaux usées municipales, à l'artificialisation de ses rives, aux empiètements dans la plaine inondable, au transport maritime nécessitant l'entretien du chenal de navigation (figure 1), au dépôt des sédiments dragués, à l'opération de ports et à la régularisation du débit. À cela s'ajoutent de nouveaux types de pression, dont certains effets sont encore méconnus ou difficiles à prédire. Les changements climatiques provoquent des crues printanières moins importantes mais plus précoces (Boyer et collab., 2010), ou encore des anomalies de température qui, combinées à d'autres facteurs, ont déjà provoqué une mortalité massive de poissons (Ouellet et collab., 2010). Les espèces exotiques envahissantes menacent l'intégrité écologique et le réseau trophique du Saint-Laurent (Reyjol et collab., 2010) et sont potentiellement vectrices de pathogènes. Des substances toxiques émergentes pourraient perturber la physiologie et les capacités reproductrices des poissons (p. ex. œstrogènes: Aravindakshan et collab., 2004). Ces changements rendent



Jean-Pierre Fillion (MFFP)

Figure 1. Le chenal de navigation a longtemps été considéré comme une zone désertique. Cette perception est en partie expliquée par la difficulté d'échantillonner de façon sécuritaire cette partie du fleuve, où la vitesse du courant est rapide et le passage des cargos fréquent. Le navire de recherche *Lampsilis*, acquis par l'Université du Québec à Trois-Rivières, a permis au Ministère d'explorer pour la première fois, en 2007-2009, une longue portion du chenal de navigation (Chenelière et collab., 2015). Les résultats de cet inventaire sont étonnants. On y trouve une communauté de poissons diversifiée (27 espèces) dont la structure est distincte de celle présente dans les autres types d'habitats du fleuve. Alors qu'il est question de développer l'économie maritime du Québec, il faudra s'assurer de maintenir les conditions favorisant cette cohabitation du trafic maritime avec la faune aquatique.

plus complexe la conciliation entre la protection des milieux naturels et les autres usages du Saint-Laurent. Ils doivent inévitablement être mieux connus, compris et pris en compte dans les décisions de gestion.

Cadre législatif et réglementaire

Au Québec, le MFFP a le double mandat de conserver et de mettre en valeur les poissons d'eau douce ainsi que les espèces anadromes et catadromes. Ces responsabilités font suite à plusieurs ententes de délégations intervenues entre les gouvernements du Canada et du Québec entre 1922 et 1985, et sont assumées en partenariat avec d'autres ministères provinciaux et fédéraux qui sont porteurs de lois complémentaires relatives aux pêches, à la faune aquatique et à ses habitats. Seules les espèces marines sont sous la responsabilité du ministère des Pêches et des Océans du Canada (ce qui diffère dans les autres provinces canadiennes). La protection de l'habitat du poisson est réalisée par un partenariat fédéral-provincial encadré par la *Loi sur les pêches*. La *Loi (québécoise) sur la conservation et la mise en valeur de la faune (LCMVF)* vise la conservation de la faune et de ses habitats en terre publique et le développement durable de l'exploitation de la faune. Elle reconnaît aussi que chaque citoyen a le droit de pêcher, de chasser et de piéger. Cette loi sert de cadre à d'autres lois et règlements touchant la protection de l'habitat du poisson, la conservation d'espèces à statut précaire, l'aquaculture, le commerce de poissons pour la consommation

humaine ou l'aquariophilie, et l'utilisation de poissons comme appâts. Avec sa *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) est responsable de la gestion de la qualité de l'eau et de la protection des zones littorales et, par le fait même, de la protection de plusieurs caractéristiques de l'habitat du poisson. Le MFFP agit aussi systématiquement en soutien au MDDELCC en délivrant des avis fauniques sur une multitude de projets de développement.

La LCMVF prévoit que le MFFP élabore annuellement un Plan de gestion de la pêche. Celui-ci fait référence à l'exploitation de tous les poissons dans les eaux sans marée et des poissons anadromes et catadromes dans les eaux à marée, dont les règles sont prévues dans le *Règlement de pêche du Québec*. L'objectif général du plan de gestion de la pêche consiste à optimiser les bénéfices sociaux et économiques reliés à l'exploitation de la faune, tout en assurant la conservation des espèces animales. L'état des populations de poissons et leur capacité à supporter les différents types de prélèvements sont évalués par les biologistes du MFFP, qui effectuent annuellement des inventaires dans le Saint-Laurent afin d'actualiser les connaissances nécessaires à la gestion et à la conservation (tableau 1). Appuyés par les travaux antérieurs, par les outils d'analyse et de modélisation de la dynamique des populations ainsi que par le suivi de l'évolution des captures, ces inventaires périodiques permettent de répartir la ressource halieutique selon l'ordre de priorité suivant : 1) la protection du stock reproducteur, 2) la pêche à des fins d'alimentation, 3) la pêche sportive et 4) la pêche commerciale (encadré). Dans ce contexte, si la ressource halieutique ne peut satisfaire à toutes les formes de pêche énumérées, la répartition devra s'effectuer selon l'ordre de priorité prévu par la loi jusqu'à concurrence de la disponibilité des stocks, en restreignant les formes de pêche moins prioritaires. Le plan de gestion de la pêche est le document légal qui détermine cette répartition tout en précisant les éléments suivants : les plans d'eau admissibles, les espèces qui peuvent être pêchées, la récolte permise pour chaque espèce (lorsque définie) et les conditions de pêche, notamment les saisons et les sites ainsi que la nature, les dimensions et le nombre d'engins de pêche.

Des objectifs de gestion des pêcheries et de protection de l'habitat du poisson doivent être établis pour les espèces plus vulnérables à l'exploitation ou soumises à une demande plus forte. Pour y répondre, des plans de gestion spécifiques sont alors conçus, dressant le portrait de l'espèce, de l'état de ses populations et de son exploitation et précisant les objectifs et modalités de gestion durable à mettre en place. À ce jour, pour les poissons du Saint-Laurent sous la compétence provinciale, il existe des plans de gestion pour le doré jaune (Arvais et collab., 2012), l'esturgeon jaune (Dumont et collab., 2013) et la perchaude au lac Saint-Pierre (Magnan et collab., sous presse) et des objectifs de gestion pour l'esturgeon noir (Verreault et Trencia 2011) et l'anguille d'Amérique.

Plan de gestion de la pêche du MFFP : répartition de la ressource halieutique

Pour répondre à ses obligations légales, le MFFP élabore, chaque année, un plan de gestion de la pêche pour l'exploitation de tous les poissons dans les eaux sans marées et des poissons anadromes et catadromes dans les eaux à marées, dont la répartition est faite selon l'ordre de priorité suivant :

Maintien des stocks reproducteurs

La conservation des stocks reproducteurs est effectuée selon 2 approches. D'une part, la détermination du niveau de récolte admissible permet de sauvegarder des stocks suffisants pour le renouvellement des populations ichtyologiques. D'autre part, dans les endroits ou à certaines périodes où les stocks sont les plus vulnérables, le plan de gestion de la pêche prévoit des interdictions totales ou temporaires de l'exercice de certaines ou de toutes les formes de pêche. Dans certains cas, il est envisageable de recourir à des ensemencements de conservation, incluant un soutien aux populations (p. ex. chevalier cuivré) ou encore une réintroduction (p. ex. bar rayé, Pelletier et collab., 2011), avec un souci de minimiser la perte d'intégrité génétique. Les ensemencements sont alors encadrés par le Règlement sur l'aquaculture et la vente des poissons, partie intégrante de la LCMVF.

Pêche à des fins d'alimentation

Le plan renvoie au droit d'exploitation prévu à la Loi sur les droits de chasse et de pêche dans les territoires de la Baie-James et du Nouveau-Québec pour le territoire visé par cette loi. Pour le reste du Québec, il renvoie aux permis de pêche d'alimentation délivrés par le MFFP en vertu du Règlement sur les permis de pêche communautaires des Autochtones, ou aux permis délivrés à un Autochtone par le ministre du MFFP en vertu du *Règlement de pêche du Québec*.

Pêche sportive

Le plan de gestion de la pêche renvoie aux dispositions du *Règlement de pêche du Québec* en ce qui concerne la pêche sportive. Ce règlement prévoit notamment des limites quotidiennes de prise et des périodes de fermeture pour chaque espèce de poissons, en fonction des différentes zones de pêche. Si les niveaux d'exploitation ne sont plus soutenables, le MFFP peut recommander une modification des modalités d'exploitation (p. ex : limite de taille) ou encore une fermeture de la pêche.

Pêche commerciale

Le plan de gestion de la pêche détermine les modalités applicables à la pêche commerciale. Si les niveaux d'exploitation ne sont plus soutenables, le MFFP peut recommander une modification des modalités d'exploitation (p. ex : limite de taille) ou encore une fermeture de la pêche. Le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation est quant à lui responsable de la délivrance des permis commerciaux (élaborée en tenant compte du plan de gestion de la pêche et dans les limites de celui-ci), du suivi des débarquements et du développement de ces pêches.

Tableau 1. Principaux suivis fauniques déployés par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs pour actualiser l'état des connaissances sur les communautés de poissons du Saint-Laurent. À ces suivis réguliers s'ajoutent différents projets ponctuels d'acquisition de connaissances et de recherche en fonction des besoins de gestion et de conservation.

Suivi et année de création	Espèce ciblée	Objectif	Secteur	Méthode	Fréquence
Réseau de suivi ichtyologique (RSI) (1995)	Multispécifique	Récolter des données quantitatives sur les communautés de poissons afin d'alimenter les décisions de gestion et d'identifier les besoins de conservation	Tronçon fluvial	Filet maillant et seine de rivage	Annuelle
Réseau de suivi des poissons de l'estuaire (RIPE) (2006)	Multispécifique	Récolter des données quantitatives sur les communautés de poissons afin d'alimenter les décisions de gestion et d'identifier les besoins de conservation	Estuaire moyen	Trappe à anguille	Annuelle
Réseau de détection des déplacements des poissons du Saint-Laurent (2010)	Anguille d'Amérique Bar rayé Baret Esturgeons jaune et noir Saumon atlantique	Évaluer les déplacements et identifier les habitats essentiels des principales espèces migratrices	Fleuve Saint-Laurent, principaux affluents et golfe du Saint-Laurent	Réseau de récepteurs télémétriques acoustiques	Annuelle
Pêcheurs repères (1994)	Esturgeon noir	Évaluer l'importance des débarquements, définir la structure en taille des poissons pêchés et évaluer l'impact des mesures de gestion	Estuaire moyen	Partenariat avec pêcheurs commerciaux	Annuelle
Caractérisation de la récolte commerciale (1984)	Esturgeon jaune	Caractériser la pêcherie (succès de pêche, taille et âge des captures, importance des rejets, rapport des sexes, etc.)	Lac Saint-Louis et archipel du lac Saint-Pierre	Partenariat avec pêcheurs commerciaux	Aux 10 ans
Suivi du recrutement (1984)	Esturgeon jaune	Évaluer le succès de reproduction et la force des classes d'âges	Archipel du lac Saint-Pierre	Filet maillant	Biannuelle
Suivi du recrutement et des captures accidentelles (2013 recrutement) (2004 captures)	Bar rayé	Évaluer le succès de la réintroduction du bar rayé dans le Saint-Laurent	Tronçon fluvial et estuaire moyen	Seine de rivage et partenariat avec pêcheurs commerciaux	Annuelle
Suivi du recrutement (2005)	Perchaude	Évaluer l'abondance des stades larvaires et juvéniles	Lac Saint-Pierre	Filet à ichtyoplancton et seine de rivage en partenariat avec l'UQTR	Annuelle
Suivi du recrutement (1984 suivi des reproducteurs) (2002 recrutement)	Éperlan arc-en-ciel	Suivre les reproducteurs, évaluer l'importance de la ponte et l'abondance des juvéniles	Population du sud de l'estuaire	Épuisette, chalut et décompte visuel semi-quantitatif	Annuelle
Suivi du recrutement (1998)	Chevalier cuivré	Évaluer l'abondance des juvéniles et le succès des ensemencements	Rivière Richelieu	Seine de rivage	Annuelle
Réseau de suivi des espèces aquatiques envahissantes (2007)	Espèces exotiques envahissantes	Détection hâtive des espèces exotiques envahissantes	Tronçon fluvial et estuaire moyen	Partenariat avec pêcheurs commerciaux	Annuelle

^a Émetteurs actifs de 2012 à 2014

Le gouvernement québécois ayant une obligation légale de consulter les pêcheurs, ceux-ci sont représentés par différentes fédérations siégeant à la *Table nationale de la faune* dont le mandat est de conseiller le ministre du MFFP ou ses représentants sur toute question qui lui est soumise concernant la conservation et la mise en valeur de la faune, particulièrement dans les domaines du développement, de la promotion et de la relève de chasse, de pêche et de piégeage.

Des structures consultatives analogues existent dans les différentes régions administratives du Québec pour discuter des enjeux régionaux.

Malgré sa grande étendue et sa richesse en paysages naturels, le Québec compte plusieurs espèces de poissons d'eau douce et diadromes à statut précaire, dont certaines sont présentes dans le Saint-Laurent (annexe 1). En matière législative, le Québec dispose de la *Loi sur les espèces menacées*

ou vulnérables (LEMV) pour protéger ces espèces et leurs habitats. La LEMV permet de désigner le statut d'une espèce, de déterminer les caractéristiques de leurs habitats et de mettre en œuvre des mesures de protection. Des équipes de rétablissement incluant des scientifiques du MFFP et un grand nombre d'autres partenaires sont mandatés pour orienter, coordonner, mettre en œuvre les actions de protection et de conservation. Au niveau fédéral, la *Loi sur les espèces en péril* (LEP) se base sur les recommandations des experts indépendants du Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) pour ses désignations.

L'application des lois et règlements fédéraux et provinciaux sur la conservation et l'exploitation des poissons et de leurs habitats est assurée par 360 agents de protection de la faune, répartis sur le territoire québécois dans 80 bureaux et points de services, et dont le leitmotiv est de « protéger, éduquer et prévenir ».

Des connaissances à jour au profit de la gestion et de la conservation

Une quinzaine de biologistes du MFFP sont répartis entre une direction centrale et 7 directions régionales touchant le Saint-Laurent. Assistés par plusieurs techniciens de la faune expérimentés, ils se partagent la responsabilité importante de mettre à jour les connaissances de base, essentielles pour la gestion de la faune aquatique et de ses habitats. Ces connaissances sont obtenues par l'entremise d'inventaires ichtyologiques normalisés et de projets de recherche appliqués, ciblant une espèce en particulier, un habitat ou alors la communauté de poissons (tableau 1). Elles servent à poser un diagnostic sur l'état des populations de poissons et de leurs habitats, adapter les modalités de gestion et de conservation, et en suivre l'efficacité.

La mise en œuvre de la gestion de la faune aquatique passe par 3 sphères d'activités fondamentales, réalisées au sein du même ministère : 1) acquisition de connaissances, constituant l'assise de l'expertise du Ministère et utilisée pour 2) la définition des modalités de gestion et de conservation, et la définition des lois et les règlements et 3) l'intervention sur le terrain pour protéger et restaurer des habitats (figure 2). L'acquisition des connaissances et la restauration des habitats font l'objet de nombreux partenariats scientifiques et financiers à travers le Québec.

Lorsqu'un stock de poisson s'effondre, son redressement exige l'implantation de mesures draconiennes et échelonnées sur plusieurs années, sans garantie de succès, et avec un coût social souvent sous-évalué. Il suffit de penser à la disparition du bar rayé (1960), la quasi-disparition de l'esturgeon noir (1970), l'effondrement de l'éperlan du sud de l'estuaire du Saint-Laurent et, plus récemment, le déclin de l'anguille d'Amérique à l'échelle du Saint-Laurent et celui de la perchaude au lac Saint-Pierre (Mailhot et collab. 2015). Pour réduire le risque de voir se répéter de telles situations, qui impliquent des efforts de récupération ardues et coûteux, il est primordial de maintenir l'expertise basée sur des données de qualité, à jour, et de déployer les mesures de

gestion et de restauration nécessaires dès que l'état d'un stock le requiert. La récurrence et la stabilité des réseaux d'inventaires de la faune aquatique sont donc incontournables pour maintenir une exploitation en équilibre avec la productivité des milieux qui sont en constante évolution.

Les données récoltées lors des inventaires sont aussi utilisées pour de nombreux avis fauniques (autorisations et expertises légales relatives à l'habitat du poisson, évaluations environnementales, consultations, projets de restauration et de compensation), la mise à jour du statut des espèces en situation précaire, des mesures d'impacts, tels que ceux de la régularisation du débit du fleuve, la contamination de la chair des poissons (sous la responsabilité du MDDELCC), ou la progression des espèces envahissantes (Pelletier et collab., 2014). À maintes reprises, ces initiatives, dont certaines données sont diffusées ouvertement (Observatoire global du Saint-Laurent, 2016), ont généré des retombées positives autant du point de vue scientifique que politique (Plan Saint-Laurent, Convention sur la biodiversité).

Parmi les principaux inventaires, on compte le *Réseau de suivi ichtyologique* (RSI; La Violette et collab., 2003), en opération depuis 1995 dans les eaux douces du fleuve Saint-Laurent, et le *Réseau d'inventaire des poissons de l'estuaire* (RIPE, depuis 2009; Bourget, 2011), utilisant des pêches fixes, dont celle de l'Aquarium du Québec, initiée en 1960 (tableau 1). Ces inventaires sont complétés par plusieurs projets de recherche d'envergure réalisés avec de nombreux partenaires fauniques, universitaires et gouvernementaux, qui s'intéressent à des questions appliquées à la gestion des espèces exploitées ou non exploitées, les habitats essentiels et leur connectivité, ou encore l'intégrité génétique de certaines populations de poissons. La plupart des projets de recherche sont réalisés en collaboration avec des partenaires universitaires où les biologistes du MFFP cosupervisent des étudiants à la maîtrise ou au doctorat. Par ailleurs, avec les rapports de pêche du MAPAQ, les pêcheurs commerciaux documentent, depuis 1986, l'effort de pêche déployé, l'évolution des captures au cours de la saison ainsi que les prélèvements. Ces données sont complémentaires aux suivis réalisés par le MFFP.

Portrait des pêcheries

Pêche de subsistance

Des observations archéologiques dans la rivière des Outaouais (îles Morrison et aux Allumettes) indiquent que les pêches à l'anguille d'Amérique et à l'esturgeon jaune sont très anciennes au Canada et qu'elles représentaient une part importante de l'alimentation des Premières Nations au Laurentien archaïque (6100-5500 AC) (Clermont et collab., 2003). Les Algonquiens étaient surnommés *Les Esturgeons* et signaient les traités avec une effigie utilisée encore aujourd'hui dans leurs emblèmes et armoiries (Dumont et Mailhot, 2013). Au lac Saint-Louis (Pointe-du-Buisson), des fragments d'os d'esturgeons jaunes, de barbues de rivière et de catostomidés figurent parmi les éléments dominants identifiés dans des déchets culinaires datant du Sylvicole Moyen Tardif

(1450-1000 AC) (Courtemanche, 2003). Ce sont généralement les espèces les plus grasses et les plus nourrissantes du Saint-Laurent qui paraissent avoir été les plus utilisées, mais le menu pouvait être varié. Ainsi, plus de 20 espèces de poisson, incluant des espèces de petite taille comme la perchaude ou des

crapets, ont été identifiées dans les déchets culinaires d'un site iroquoien vieux de 500 ans en bordure du lac Saint-François (St-Germain et Courtemanche, 2015). De nos jours, certaines communautés pratiquent encore une pêche de subsistance, notamment à l'esturgeon jaune dans les secteurs des Rapides



Figure 2. Exemples d'interventions sur le terrain que le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs réalise ou soutient pour restaurer des habitats ou mettre à jour les connaissances sur lesquelles s'appuie la gestion : a) aménagement de milieu humide, frayère, zone d'alevinage et habitat de la sauvagine en zone agricole (SARCEL 8; Baie-du-Febvre, rive sud lac Saint-Pierre); b) échantillonnage au lac Saint-Pierre de larves de perchaude et de leurs otolithes pour déterminer leur âge en nombre de jours; c) agrandissement de 8 000 m² de la frayère d'esturgeon jaune de la rivière-des-Prairies en 1997 (Hydro-Québec); d) suivis par télémétrie du mouvement des poissons et caractérisation de leurs habitats; e et f) passes migratoires dans la plaine d'inondation au Ruisseau-de-Feu (Repentigny) et au barrage de Saint-Ours sur le Richelieu (Parcs Canada); g) exemple d'une modélisation de l'habitat du poisson, ici reconstitution des frayères du grand brochet, en 1965 au lac Saint-Pierre. La majorité des projets fauniques sont réalisés grâce à la collaboration de nombreux partenaires à travers le Québec.

de Lachine et du lac Saint-Pierre. Une pêche de subsistance à l'esturgeon noir est également pratiquée dans l'estuaire du Saint-Laurent.

Pêche sportive

La pêche sportive est une activité de loisirs hautement lucrative au Québec. Elle génère des dépenses annuelles de 1,06 G\$, maintient 8 655 emplois à temps complet, répartis également entre les centres urbains et les régions, et une valeur ajoutée au produit intérieur brut de 548,5 M\$. La rémunération des travailleurs y totalise 281,5 M\$ et les revenus fiscaux et parafiscaux des gouvernements du Québec et du Canada représentent 153,4 M\$ (ÉcoRessources, 2014). De par la diversité des espèces de poissons présentes et la proximité des grands centres urbains, la pêche sportive sur le Saint-Laurent présente un fort potentiel de mise en valeur. Les pêcheurs sportifs du Saint-Laurent fluvial fournissent environ 10% de l'effort total de pêche sportive au Québec. En 2010, ils y totalisaient plus de 600 000 jours de pêche (MPO, 2012a). La pêche sportive se pratique sur le Saint-Laurent et ses tributaires, en hiver et en été, dans une grande variété d'habitats (figure 3). En eau libre, elle vise principalement le doré jaune, le doré noir, la perchaude, le grand brochet, les achigans, le maskinongé et les crapets, alors que sur la glace (pêche blanche), elle cible principalement le grand brochet, la perchaude et les 2 espèces de doré. La popularité des espèces pêchées varie régionalement en fonction de leur répartition, de leur abondance et de la réglementation en vigueur (p. ex. : moratoire sur la perchaude au lac Saint-

Pierre). Ainsi, la pêche blanche au poulamon atlantique est très populaire en hiver en Mauricie où l'espèce effectue des montaisons de fraie dans la rivière Sainte-Anne, alors que l'éperlan arc-en-ciel est recherché dans le Bas-Saint-Laurent, le Saguenay et en Gaspésie. Le fleuve Saint-Laurent soutient aussi les activités de plusieurs pourvoyeurs, centres de pêche et guides professionnels. De plus, différents tournois de pêche compétitive sont organisés annuellement, dont certains parmi les plus importants au Canada, comme le *Championnat canadien de pêche à l'achigan Berkley B1* au lac Saint-François.

Afin d'assurer la pérennité des différentes espèces de poissons du Saint-Laurent, les pêcheries font l'objet d'une réglementation stricte. Le fleuve Saint-Laurent est subdivisé en 3 zones de pêche sportive (zone 8 du lac Saint-François à l'archipel du lac Saint-Pierre, zone 7 : de l'archipel du lac Saint-Pierre au pont Pierre-Laporte à Québec et zone 21 : du pont Pierre-Laporte jusque dans le golfe du Saint-Laurent), faisant chacune l'objet d'une réglementation propre en fonction des espèces (saison, limite de prise et de possession, taille minimale ou maximale, sanctuaires de pêche dans certains secteurs). Contrairement aux autres zones de pêche du Saint-Laurent, aucun permis de pêche n'est nécessaire dans la zone 21 pour les résidents du Québec qui pêchent les espèces autres que le saumon.

En plus des zones générales de pêche sportive, un mode de gestion spécifique à un secteur peut s'appliquer. C'est le cas du lac Saint-Pierre où une aire faunique communautaire (AFC) a été créée en 2005. Ce territoire bénéficie de mesures particulières de gestion et de protection afin d'y assurer la

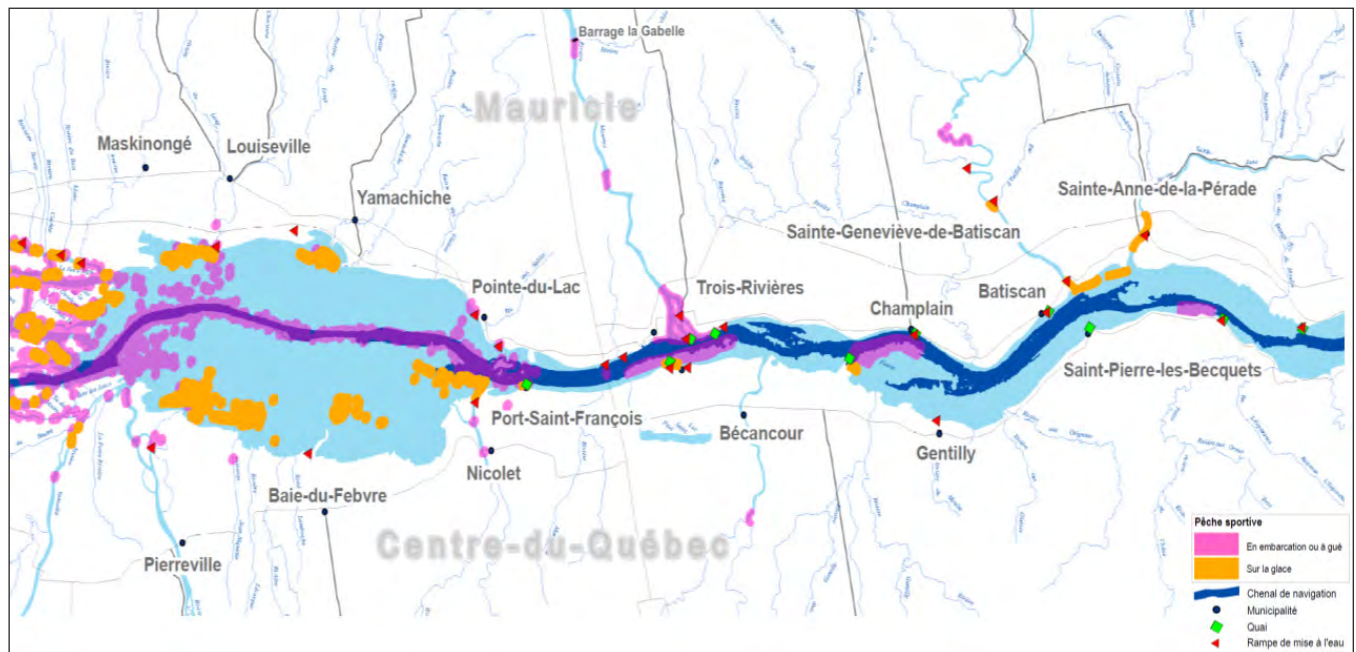


Figure 3. Principaux secteurs de pêche sportive du fleuve Saint-Laurent dans la région de la Mauricie et du Centre-du-Québec. Environ 80 % des 200 000 jours de pêche répertoriés annuellement dans ce secteur sont pratiqués au cours de l'hiver sur la glace. Au milieu des années 2000, la récolte totale des principales espèces prélevées à la pêche sportive était estimée à 170 tonnes, soit environ 1,4 million de prises. D'autres secteurs importants pour la pêche sportive en eau libre et sous la glace existent ailleurs sur le Saint-Laurent mais ne figurent pas sur la carte (p. ex : aux lacs Saint-Louis et Saint-François, ainsi que dans le corridor fluvial).

conservation et la mise en valeur de la faune aquatique par la population et les organismes du milieu. Un bail de droits exclusifs de pêche sportive à des fins communautaires est confié à un organisme à but non lucratif.

Pêche commerciale

L'exploitation commerciale des espèces de poissons d'eau douce, anadromes et catadromes existe depuis plus de 100 ans dans le Saint-Laurent (Morneau, 1999). Si autrefois elle était le fait de milliers d'exploitants « artisanaux » pour qui elle consistait principalement en une pêche d'alimentation, elle est désormais pratiquée par un petit nombre de pêcheurs. En 2014, on comptait 81 détenteurs de permis de pêche commerciale en eau douce et saumâtre au Québec et 174 aides-pêcheurs déclarant un volume de débarquements de 559 tonnes et dont la valeur au débarquement était estimée à 1,3 million \$, avec des retombées économiques totales (débarquements, transformation et autres activités commerciales connexes) évaluées à environ 3,5 millions \$ (MAPAQ, 2015 : données non publiées). On compte également, dans les eaux marines (Côte-Nord, Gaspésie, Îles-de-la-Madeleine), environ 1 000 pêcheurs commerciaux détenant des autorisations pour le prélèvement d'espèces diadromes, comme l'éperlan arc-en-ciel, l'anguille d'Amérique et l'omble de fontaine anadrome. Actuellement, la pêche commerciale touche environ 25 espèces, dont une douzaine d'espèces clés, et est exclusivement concentrée dans le fleuve Saint-Laurent, la portion inférieure de ses tributaires, son estuaire et son golfe. Les principales espèces débarquées en 2014 étaient, en ordre de valeur monétaire, l'anguille d'Amérique, l'esturgeon noir, l'esturgeon jaune, la carpe et la barbotte brune (MAPAQ, 2015 : données non publiées).

Les variations d'abondance des espèces, les changements dans les modalités de gestion et dans l'effort de pêche déployé ainsi que les fluctuations du marché ont fortement modulé l'ampleur des débarquements au cours des années. Des programmes de rachat d'engins de pêche ont été déployés au cours des années 2000, dictés notamment par l'état précaire de l'anguille d'Amérique dans le Saint-Laurent et de la perchaude au lac Saint-Pierre. Parmi ces initiatives, on compte le rachat, en 2009, des permis de trappes à anguille dans les eaux à marées du Bas-Saint-Laurent (réduction de 50 % de la mortalité par la pêche pour ce secteur). En 2012, les verveux actifs dans le Haut-Saint-Laurent ont été rachetés. Durant les années 2000, les rachats au lac Saint-Pierre y ont engendré une réduction de 86 % du nombre de verveux, auxquels s'est ajouté le rachat, en 2013, de 20 lignes dormantes (2 000 hameçons) et 497 verveux autorisés en aval du pont Laviolette.

La pêche commerciale des poissons d'eau douce au Québec est une petite industrie dont les retombées économiques sont d'ordre régional et dont l'avenir n'est pas en expansion. Pour la plupart des espèces d'intérêt, l'état actuel des populations exploitées empêche tout développement et exige une gestion serrée afin d'assurer une exploitation durable. Quant aux espèces secondaires, le marché limité, le faible potentiel de rentabilité et le manque de connaissances biologiques limitent le développement de ce type de pêche.

État des stocks des principales espèces exploitées

Plusieurs populations de poissons exploitées ont décliné à l'échelle mondiale. Certaines espèces du Saint-Laurent ont suivi cette tendance, mais il importe de préciser que cet état n'est pas généralisé et qu'une analyse détaillée par espèce demeure essentielle. Cette analyse met en lumière certaines tendances très contrastées entre les espèces et les secteurs.

Au fil des années, les pêcheurs sportifs et commerciaux ont dû composer avec maintes variations d'abondance, qu'on peut expliquer en partie par la surpêche, qui a souvent été pointée du doigt. Toutefois, d'autres facteurs reliés au climat, aux espèces envahissantes et aux interventions humaines dans l'habitat entrent en ligne de compte, constituant de nouveaux éléments d'incertitude avec lesquels les gestionnaires doivent désormais composer. La connaissance de ces facteurs et de leurs effets sur les stocks de poissons est essentielle pour ajuster l'exploitation à un niveau soutenable et tenter d'en réduire les effets. De plus, comme les pressions varient fortement en intensité le long du Saint-Laurent, influençant à divers degrés l'état des stocks de poissons, il convient d'ajuster les modes de gestion d'un secteur à l'autre. À titre d'exemple, les stocks de perchaudes des lacs Saint-François et Saint-Louis sont abondants et soutiennent une pêche sportive durable, alors que celui du lac Saint-Pierre et du tronçon entre le pont Laviolette et Saint-Pierre-les-Becquets a connu un déclin important au cours des 2 dernières décennies. De 1986 à 1993, les débarquements de la pêche commerciale déclarés se sont maintenus en moyenne à 206 t de perchaudes par année. Entre 1994 et 1998, ces débarquements ont chuté progressivement à 70 t, sans que l'effort de pêche soit augmenté, ce qui a constitué la première phase de l'effondrement de ce stock. Depuis, des mesures sévères ont été mises en place afin de diminuer la mortalité par la pêche, dont le rachat de 36 permis de pêche commerciale, et le stock de perchaude a continué de périlcliter. Cela a mené à l'imposition d'un moratoire de 5 ans sur toutes formes de pêche, en 2012 au lac Saint-Pierre, et en 2013 pour le secteur pont Laviolette-Saint-Pierre-les-Becquets. L'absence de réponse du stock de perchaude aux mesures limitant les prélèvements pointe clairement sur la nécessité d'examiner d'autres pistes de solution, dont la restauration des habitats et de la qualité de l'eau, qui sont fortement dégradés (de la Chenelière et collab., 2014; Mailhot et collab., 2015). À l'inverse, à la suite de l'application de plusieurs mesures de protection et d'amélioration des habitats de reproduction ainsi que de gestion de l'exploitation, on note une amélioration de la situation de l'esturgeon jaune après plus de 3 décennies de déclin (Dumont et collab., 2013). Les récents travaux sur l'esturgeon jaune révèlent qu'il utilise couramment les affluents principaux et secondaires pour frayer et qu'il est présent dans le chenal de navigation et les fosses profondes du Saint-Laurent. Cela souligne l'importance de maintenir le libre passage à la grandeur du système fluvial et de poursuivre le suivi démographique des adultes et des jeunes recrues. La réintroduction du bar rayé, en 2002, est également bien

amorcée. Aujourd’hui, l’espèce se reproduit naturellement et recolonise le fleuve et l’estuaire du Saint-Laurent (Pelletier et collab., 2011; Groupe de travail Suivi de l’état du Saint-Laurent, 2014). À l’opposé, l’anguille d’Amérique a connu un déclin important dans le Saint-Laurent au cours des 3 dernières décennies. Entre 1983 et 2000, dans la partie amont du Saint-Laurent, le nombre d’anguilles juvéniles en montaison vers les Grands Lacs a chuté de 99,8 % à la passe migratoire du barrage de Moses-Saunders à Cornwall. Depuis, la montaison d’anguilles a cessé de décliner et le nombre d’anguillettes au barrage de Beauharnois se maintient entre 20 000 et 80 000 par année (Guillemette et collab., 2014), ce qui reste très faible comparativement aux niveaux d’abondance précédant la construction des grands barrages sur le Saint-Laurent et ses principaux tributaires.

En somme, certaines espèces de poissons montrent des signes de rétablissement encourageants, indiquant que des facteurs limitants ont été amoindris avec le temps. Les communautés de poissons du Saint-Laurent demeurent cependant très fragiles. Au lac Saint-Pierre, les indices de détérioration de l’écosystème sont nombreux et la situation est devenue critique pour certaines espèces (p. ex. Groupe de travail Suivi de l’état du Saint-Laurent, 2014; Mailhot et collab., 2015). Il reste donc de grands défis à relever pour assurer aux poissons du Saint-Laurent un milieu de vie sain, ce qui nécessitera la restauration d’habitats dans la plaine inondable et certains grands herbiers aquatiques, une réduction des charges de nutriments et de pesticides en provenance des bassins versants

soumis à des activités agricoles intenses, ainsi que le maintien et la restauration de la connectivité entre le lac, ses tributaires et les zones inondables. En aval de Montréal, plus du tiers des ménés à tache noire examinés sont en situation d’intersexe (présence de follicules ovariens dans les testicules), en raison de la présence de perturbateurs endocriniens dans les effluents de l’agglomération (Aravindakshan et collab., 2004). De nouvelles étapes d’assainissement des effluents municipaux sont requises.

Perspectives d’avenir : bâtir sur des connaissances rigoureuses, intensifier les efforts de restauration et intégrer les acteurs des domaines connexes

Durant les prochaines années, le MFFP et ses partenaires auront plusieurs défis à relever en matière de conservation et de mise en valeur de la faune aquatique et de ses habitats (figure 4). Le Saint-Laurent est un des rares endroits sur la planète où l’on trouve aujourd’hui des pêcheries commerciales durables d’esturgeon jaune et d’esturgeon noir, notamment grâce aux efforts déployés pour contrôler les prélèvements de ces pêcheries (c’est-à-dire limite de taille, quota, exploitation des subadultes; Mailhot et collab., 2011), et pour restaurer et protéger certains habitats et leur connectivité (Dumont et collab., 2011, 2013; Thiem et collab., 2013).

Malgré les efforts déployés, la situation d’autres espèces telles que la perchaude du lac Saint-Pierre, l’anguille d’Amérique et le chevalier cuivré demeure préoccupante. Des décisions politiques trop longtemps reportées, couplées aux effets de facteurs tels que la dégradation des habitats et leur

- 1. **Connectivité** : Maintenir et faciliter le libre passage des espèces migratrices dans le couloir fluvial et ses tributaires.
- 2. **Développement urbain** : Concilier les usages, protéger les espèces en péril et améliorer le traitement des eaux usées.
- 3. **Richelieu** : Améliorer la qualité de l’eau, restaurer les habitats et rétablir le chevalier cuivré et d’autres espèces en situation précaire.
- 4. **Tributaires du lac Saint-Pierre** : Améliorer la qualité de l’eau (réduire les charges en nutriments, sédiments, pesticides et autres contaminants).
- 5. **Lac Saint-Pierre** : Restaurer les herbiers aquatiques, les habitats de la plaine inondable et les espèces qui y sont associées, dont la perchaude. Rétablir les pêcheries en difficultés.
- 6. **Bar rayé (population du Saint-Laurent)** : Poursuivre la réintroduction et développer la pêche sportive.
- 7. **Esturgeon noir et anguille d’Amérique** : Suivre l’état des populations et poursuivre la gestion de la pêche commerciale.
- 8. **Bar rayé (population du sud du golfe du Saint-Laurent)** : Développer la pêche sportive.

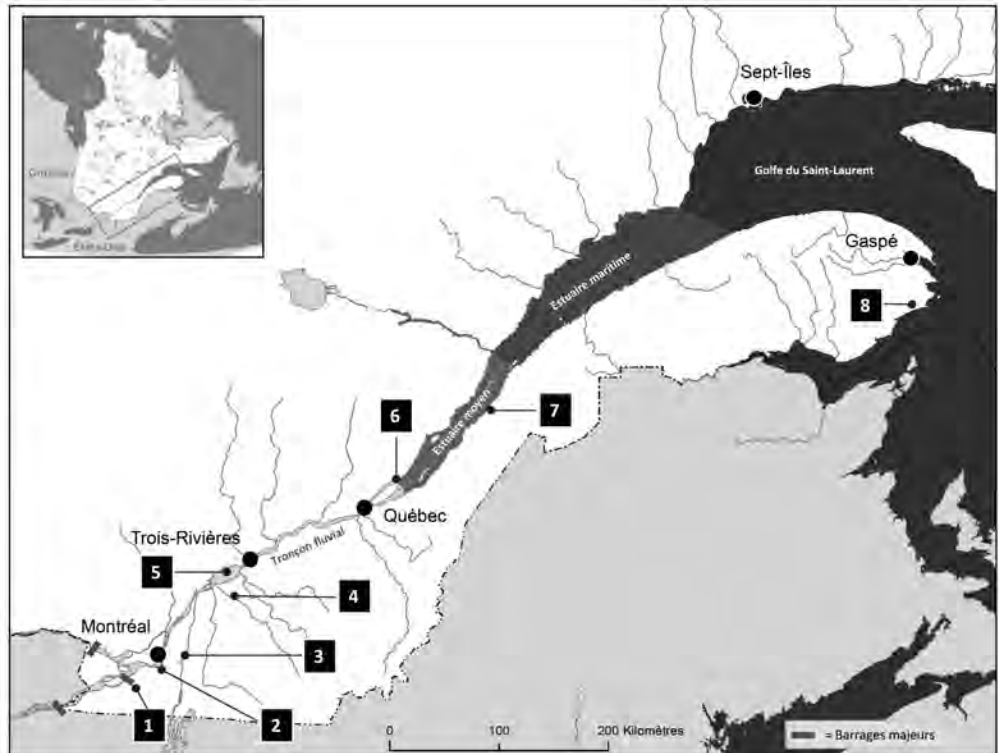


Figure 4. Cartographie de quelques enjeux importants liés à la conservation et à la gestion des poissons d’eau douce et des espèces migratrices dans le Saint-Laurent.

fragmentation, soulignent la difficulté d'agir avec des moyens habituels (Mailhot et collab., 2015). À l'avenir, il sera important d'intervenir rapidement et de recourir à des approches plus globales. Par exemple en se concentrant sur la protection des grands types d'habitats, tels que le littoral, les fosses profondes ou les rapides, il deviendra possible de protéger des aires qui sont essentielles autant pour des espèces visées par l'exploitation que pour d'autres espèces ayant un rôle écologique important ou en situation précaire. Les approches globales nécessiteront d'impliquer des intervenants extérieurs à la faune, provenant des domaines agricole, industriel ou municipal, avec pour principal défi de rassembler ces acteurs autour de cibles partagées par tous. Il sera essentiel d'intégrer les connaissances scientifiques aux orientations gouvernementales. L'implication de ces nouveaux acteurs sera d'autant plus importante que la dernière version de la *Loi fédérale sur les pêches* a été affaiblie et que la protection de l'habitat du poisson pourrait parfois dépendre davantage de la participation volontaire des promoteurs que d'une obligation légale. Ce défi sera complexe car les pressions qui pèsent sur les écosystèmes aquatiques se multiplient et se diversifient. Par exemple, l'invasion possible du Saint-Laurent par 4 espèces de carpes asiatiques pourrait irrémédiablement altérer les communautés de poissons et miner le potentiel des pêcheries et des activités socioéconomiques qui leur sont associées (encadré).

Puisque la gestion de la faune aquatique doit s'appuyer sur des connaissances scientifiques rigoureuses, incluant un état des stocks à jour, son avenir doit passer par une reconnaissance et un renforcement de la fonction « recherche et acquisition de connaissances » au sein du MFFP et de ses partenaires, incluant le gouvernement fédéral. La poursuite des inventaires récurrents et de projets de recherche spécifiques est primordiale et demande d'être créatifs pour en stabiliser le financement. Récemment, un fonds a d'ailleurs été créé par le gouvernement du Québec, à partir des bénéfices réalisés sur la vente des permis de chasse, pêche et piégeage, pour réinvestir dans le domaine de la gestion et de la conservation de la faune. Il faudra élargir les partenariats, notamment avec les secteurs universitaire et industriel afin de consolider son financement. Du côté des universités, la création de chaires de recherche sur des thématiques de gestion, précisément dans le but d'intégrer les nouvelles connaissances à la gestion, est une piste prometteuse. À titre d'exemple, en 2010 le MFFP a créé la Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées (CREAE; titulaire professeur P. Sirois) en collaboration avec l'Université du Québec à Chicoutimi, ce qui a permis de répondre à des questions concrètes appliquées à la gestion des pêcheries et de mettre en place des partenariats scientifiques et financiers uniques. Les partenariats du MFFP avec l'ensemble du réseau universitaire contribuent aussi à former une précieuse relève de professionnels spécialisés dans le domaine des pêches. Du côté des industries, la Stratégie maritime du Québec ne devrait pas se développer sans offrir des opportunités de conciliation entre les enjeux reliés à la faune aquatique et ceux de nombreux autres utilisateurs du Saint-Laurent, dont la navigation. Il s'agit d'un grand défi qui sera l'occasion de souligner l'importance des habitats aquatiques et de la connectivité du corridor du Saint-

De nouveaux envahisseurs à nos portes

Le fleuve Saint-Laurent, comme beaucoup d'autres écosystèmes aquatiques dans le monde, est fortement exposé à l'envahissement par des espèces exotiques, que ce soit par les eaux de lest des navires marchands (p. ex. moule zébrée *Dreissena polymorpha* et gobie à taches noires), par certaines pratiques liées au commerce de poissons appâts vivants pour la pêche sportive (p. ex. gardon rouge) ou encore par des introductions directes (p. ex. tanche). Les carpes asiatiques, 4 espèces échappées de bassins d'aquaculture (carpe de roseau *Ctenopharyngodon idella*, carpe argentée *Hypophthalmichthys molitrix*, carpe à grosse tête *Hypophthalmichthys nobilis*, carpe noire *Mylopharyngodon piceus*), ont envahi le Mississippi depuis les années 1960. Ces poissons y ont bouleversé les écosystèmes, compromettant la pêche, la navigation de plaisance et la sécurité publique, occasionnant même des problèmes sanitaires lors d'épisodes de mortalité massive. Les États-Unis et le gouvernement fédéral canadien luttent, à grands frais, pour contrer leur arrivée dans les Grands Lacs. Mais déjà, quelques spécimens de 2 des 4 espèces y ont été observés. Lorsqu'une espèce envahissante atteint les Grands Lacs, la colonisation du fleuve Saint-Laurent est un risque. Dans ce dernier cas, il représente un habitat idéal pour ces espèces originaires des grands fleuves d'Asie. Bien qu'à ce jour, on n'ait aucune mention de carpes asiatiques dans les plans d'eau naturels du Québec, le gouvernement entend tout de même se doter d'une capacité d'intervention adéquate, ce qui inclut la prévention, la détection précoce et un plan d'action pour le contrôle et l'éradication.



Nerissa McClelland

La carpe argentée, 1 des 4 espèces de carpes asiatiques : des individus de 20 à 60 cm bondissent hors de l'eau lorsqu'ils sont effrayés par le bruit des bateaux. L'espèce peut atteindre plus de 1 m de longueur et peser jusqu'à 40 kg.

Laurent et ses principaux tributaires, et d'améliorer leur niveau de protection.

Enfin, tous les défis ne sont pas associés à des déclin. (i) L'aloise savoureuse (*Alosa sapidissima*) est un exemple d'une espèce migratrice qui remonte encore le fleuve chaque printemps, jusqu'en amont de Montréal, pour s'y reproduire et qui nous rappelle qu'il faudra continuer à protéger le

libre passage des poissons. (ii) Des frayères d'éperlans arc-en-ciel ont été découvertes récemment à proximité des rives de l'estuaire et dans le cours principal du fleuve, dans les régions de Québec et de Montréal, ce qui force à réviser la gestion de l'espèce. (iii) La réintroduction du bar rayé révèle la résilience de l'écosystème du Saint-Laurent et la possibilité de reconquérir un potentiel qui avait été perdu avec le temps.

Conclusion

Bien que des espèces soient en santé et que d'autres montrent des signes de rétablissement après de longues périodes de déclin, l'état précaire de certaines espèces ou stocks de poissons doit être interprété comme un indicateur parmi d'autres de la détérioration de plusieurs maillons de l'écosystème exceptionnel que représente le fleuve Saint-Laurent et des défis qui devront être relevés dans le futur. Leur rétablissement nécessitera une intensification des initiatives de protection et de restauration de la qualité de l'eau, des habitats et de leur connectivité permettant la récupération partielle ou totale de la capacité de support historique du milieu. Les mesures qui viseront la restauration d'habitats et l'amélioration des pratiques des acteurs auront des retombées positives pour de nombreuses espèces végétales et animales. Elles contribueront à rétablir les fonctions écologiques de l'écosystème, ce qui leur permettra de faire face aux changements futurs du climat et à maintenir la production de services écologiques essentiels pour la société québécoise. Le succès de cette vaste entreprise reposera, en grande partie, sur notre capacité à intégrer les préoccupations fauniques dans les pratiques de l'ensemble des acteurs liés au Saint-Laurent, de façon à diminuer les pressions qui pèsent sur cet écosystème. Pour y parvenir, l'engagement d'un large éventail d'intervenants des milieux agricole, municipal et industriel sera nécessaire. C'est en réunissant l'ensemble de l'expertise disponible et en se dotant d'une vision commune et d'orientations cohérentes que des mesures pourront être entreprises de façon efficace et durable pour préserver et restaurer les ressources aquatiques du fleuve Saint-Laurent.

Remerciements

Le contenu du présent article est le fruit d'une réflexion qui a mûri au fil du temps et dont la vision collective a été inspirée par de nombreuses discussions avec des collègues proches, dont certains sont retraités aujourd'hui, des collègues d'autres ministères, des chercheurs et aussi des partenaires fauniques. Au sein du MFFP, nous remercions particulièrement Marcel Bernard, Valérie Bujold, Chantal Côté, Réjean Dumas, Pierre Dumont, Stéphane Guérin, Valérie Harvey, Michel Legault, Yves Mailhot, Marianne Théberge, Guy Trencia et Nathalie Vachon pour leur passion et leur rigueur scientifique. Un grand merci à Isabelle Gauthier et Marc-Antoine Couillard pour les informations qu'ils nous ont fournies sur les espèces en situation précaire. Nous remercions aussi les gestionnaires Pierre Bilodeau, Francis Bouchard, Jessy Dynes, Stéphanie Lachance, Réjean Rioux et Serge Tremblay

pour leur confiance et leur dévouement à la cause faunique et au Saint-Laurent. Un merci particulier aux équipes techniques et aux divers partenaires qui participent annuellement aux travaux de terrain et de laboratoire essentiels au maintien des connaissances dont dépend la gestion de la faune aquatique. ◀

Références

- ARAVINDAKSHAN, J., V. PAQUET, M. GREGORY, J. DUFRESNE, M. FOURNIER, D.J. MARCOGLIESE et D.G. Cyr, 2004. Consequences of xenoestrogen exposure on male reproductive function in spottail shiners (*Notropis hudsonius*). *Toxicology Sciences*, 78: 156-165.
- ARVISAIS, M., D. NADEAU, M. LEGAULT, H. FOURNIER, F. BOUCHARD et Y. PARADIS, 2012. Plan de gestion du doré au Québec 2011-2016. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Direction de la faune aquatique, Québec, 73 p.
- BOURGET, G. 2011. Réseau d'inventaire des poissons de l'estuaire (RIPE) – Bilan de l'année 2010. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'expertise Faune-Forêts-Territoire, Direction générale du Bas-Saint-Laurent, Rimouski, 54 p.
- BOYER, C., D. CHAUMONT, I. CHARTIER et A.G. ROY, 2010. Impact of climate change on the hydrology of Saint-Lawrence tributaries. *Journal of Hydrology*, 384: 65-83.
- CLERMONT, N., C. CHAPDELAINE et J. CINQ-MARS, 2003. L'île aux Alumettes. L'Archaïque supérieur dans l'Outaouais. *Recherches Amérindiennes au Québec*, Paléo-Québec 30, Montréal, 363 p.
- COURTEMANCHE, M., 2003. Pratiques halieutiques à la station 4 de la Pointe-du-Buisson (BhF1-1) au Sylvicole Moyen Tardif (920-940 a.d.). Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, 325 p.
- DE LA CHENELIÈRE, V., P. BRODEUR et M. MINGELBIER, 2014. Restauration des habitats du lac Saint-Pierre: un prérequis au rétablissement de la perchaude. *Naturaliste canadien*, 138 (2): 50-61.
- DE LA CHENELIÈRE, V., Y. PARADIS, G. RICHARD, F. LECOMTE et M. MINGELBIER, 2015. Les poissons du chenal de navigation et des autres habitats profonds du fleuve Saint-Laurent. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la faune aquatique, Québec, 70 p.
- DUMONT, P. et Y. MAILHOT, 2013. The St. Lawrence River lake sturgeon management in Quebec: 1940s-2000s. Dans: AUER, N. et D. DEMPSEY (édit.). *The Great Lake sturgeon*. Michigan Technological University, East Lansing, p. 101-132.
- DUMONT, P., J. D'AMOURS, S. THIBODEAU, N. DUBUC, R. VERDON, S. GARCEAU, P. BILODEAU, Y. MAILHOT et R. FORTIN, 2011. Effects of the development of a newly created spawning ground in the Des Prairies River (Québec, Canada) on the reproductive success of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Journal of Applied Ichthyology*, 27: 394-404.
- DUMONT, P., Y. MAILHOT et N. VACHON, 2013. Révision du plan de gestion de la pêche commerciale de l'esturgeon jaune dans le fleuve Saint-Laurent. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Directions générales de l'Estrie-Montréal-Montérégie et de Laval-Lanaudière-Laurentides et Direction générale de la Mauricie et du Centre-du-Québec, Montréal, x + 127 p.
- ÉCORESSOURCES, 2014. L'industrie faunique comme moteur économique régional. Une étude ventilant par espèce et par région les retombées économiques engendrées par les chasseurs, les pêcheurs et les piégeurs québécois en 2012. Rapport produit pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Écoressources, Québec, 71p.
- GROUPE DE TRAVAIL SUIVI DE L'ÉTAT DU SAINT-LAURENT, 2014. Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2014. Plan Saint-Laurent. Environnement Canada, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, Parcs Canada, Pêches et Océans Canada et Stratégies Saint-Laurent, Montréal, 53 p.

- GUILLETTE, S., A. GUINDON et D. DESROCHERS, 2014. Suivi des passes migratoires à anguille de la centrale de Beauharnois et du barrage de Chambly-2014. Milieu inc. pour l'unité Environnement, Gestion des actifs et conformité réglementaire, Hydro-Québec Production, Montréal, 80 p. + annexes.
- LA VIOLETTE, N., D. FOURNIER, P. DUMONT et Y. MAILHOT, 2003. Caractérisation des communautés de poissons et développement d'un indice d'intégrité biotique pour le fleuve Saint-Laurent, 1995-1997. Société de la faune et des parcs du Québec, Québec, 237 p.
- MAGNAN, P., P. BRODEUR, N. VACHON, P. DUMONT, Y. MAILHOT, Y. PARADIS et D. HATIN. Sous presse. État du stock de perchaude du lac Saint-Pierre en 2011 et efficacité du plan de gestion de 2008. Comité avisier scientifique sur la gestion de la perchaude du lac Saint-Pierre, Université du Québec à Trois-Rivières et ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec.
- MAILHOT, Y., P. DUMONT et N. VACHON, 2011. Management of the lake sturgeon *Acipenser fulvescens* population in the lower St. Lawrence River (Québec, Canada) from 1910's to the present. *Journal of Applied Ichthyology*, 27 : 405-410.
- MAILHOT, Y., P. DUMONT, Y. PARADIS, P. BRODEUR, N. VACHON, M. MINGELBIER, F. LECOMTE et P. MAGNAN, 2015. Yellow perch (*Perca flavescens*) in the St. Lawrence River (Québec, Canada): Population dynamics and management in a river with contrasting pressures. Dans: COUTURE, P. et G. PYLE (édit.). *Biology of perch*. CRC Press, Boca Raton, p.101-147.
- MINGELBIER, M., Y. REYJOL, P. DUMONT, Y. MAILHOT, P. BRODEUR, D. DESCHAMPS et C. CÔTÉ, 2008. Les communautés de poissons d'eau douce dans le Saint-Laurent, fiche synthèse. Plan Saint-Laurent, 2^e édition, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, 8 p.
- MORIN, J. et A. BOUCHARD, 2000. Les bases de la modélisation du tronçon Montréal/Trois-Rivières. Rapport scientifique SMC-Hydrométrie RS-100. Environnement Canada, Sainte-Foy, 56 p.
- MORNEAU, J., 1999. Petits pays et grands ensembles; les articulations du monde rural au XIX^e siècle; L'exemple du lac Saint-Pierre. Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, 402 p.
- MPO (Ministère des Pêches et des Océans), 2012a. Enquête sur la pêche récréative au Canada, 2010. MPO, Analyses économiques et statistiques, Secteur des politiques, Ottawa, xi + 28 p.
- MPO (Ministère des Pêches et des Océans), 2012b. Programme de rétablissement du chevalier cuirré (*Moxostoma hubbsi*) au Canada. Série de Programmes de rétablissement de la *Loi sur les espèces en péril*, Pêches et Océans Canada, Ottawa, xi + 64 p.
- OBSERVATOIRE GLOBAL DU SAINT-LAURENT, 2015. Disponible en ligne à : www.ogsl.ca/bio. [Visité le 16-03-07].
- OUELLET, V., M. MINGELBIER, A. SAINT-HILAIRE et J. MORIN, 2010. Frequency analysis as a tool for assessing adverse conditions during a massive fish kill in the St. Lawrence River, Canada. *Water Quality Research Journal of Canada*, 45: 47-57.
- PELLETIER, A.-M., et P. GAGNON, 2014. Réseau de détection précoce des espèces aquatiques exotiques envahissantes du Saint-Laurent – Bilan 2014. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Rivière-du-Loup, 1 p.
- PELLETIER, A.-M., G. BOURGET, M. LEGAULT, et G. VERREAULT, 2011. Réintroduction du bar rayé (*Morone saxatilis*) dans le fleuve Saint-Laurent: bilan du rétablissement de l'espèce. *Naturaliste canadien*, 135 (1): 79-85.
- REYJOL, Y., P. BRODEUR, Y. MAILHOT, M. MINGELBIER et P. DUMONT, 2010. Do native predators feed on exotic prey? The case of round goby in a fluvial piscivorous fish assemblage. *Journal of Great Lakes Research*, 36: 618-624.
- ST-GERMAIN, C. et M. COURTEMANCHE, 2015. Les témoins de l'exploitation animale. Dans: CHAPDELAINE, C. (édit.). MAILHOT-CURRAN: un village iroquoien du XVI^e siècle. Recherches amérindiennes au Québec, Paléo-Québec 35, Montréal, p. 291-317.
- THIEM, J.D., T.R. BINDER, P. DUMONT, D. HATIN, C. HATRY, C. KATOPODIS, K.M. STAMPLECOSKIE et S.J. COOKE, 2013. Multispecies fish passage behaviour in a vertical slot fishway on the Richelieu River, Québec, Canada. *River Research and Applications*, 29: 582-592.
- TREMBLAY, V., C. COSSETTE, J.-D. DUTIL, G. VERREAULT et P. DUMONT, 2011. Évaluation de la franchissabilité amont et aval pour l'anguille aux barrages. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2912, 73 p.
- VERREAULT, G. et G. TRENCA, 2011. Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus oxyrinchus*) fishery management in the St. Lawrence estuary, Québec, Canada. Dans: WILLIOT, P., E. ROCHARD, N. DESSE-BERSET, F. KIRSCHBAUM et J. GESSNER (édit.). *Biology and conservation of the European sturgeon Acipenser sturio* L. 1758. Springer-Verlag, Berlin, p. 527-538.



- Aménagement écosystémique et génie environnemental
- Caractérisation et cartographie des écosystèmes
- Conservation des lacs et cours d'eau
- Évaluation environnementale
- Gestion des eaux usées
- Communication et gestion environnementale



QUÉBEC
5731, rue Saint-Louis, bureau 201
Lévis (Qc) G6V 4E2
Téléphone : 418 903-9678
Sans frais : 1 866 574-7032

MONTRÉAL
1453, rue Beaubien Est, bureau 301
Montréal (Qc) H2G 3C6
Téléphone : 514 509-6572
Sans frais : 1 866 569-7140

info@hemis.ca | www.hemis.ca

Annexe 1. Liste des 118 espèces de poissons d'eau douce et migratrices présentes au Québec, dont la plupart se trouvent dans le Saint-Laurent. Des indications sont données sur les 1) espèces pêchées sportivement ou 2) commercialement, 3) les espèces non indigènes, 4) le comportement migrateur ajusté au Saint-Laurent (A = anadrome, C = catadrome, P = potamodrome et N = non migrateur), 5) les espèces désignées en 2016 en vertu de la Loi sur les espèces menacées et vulnérables (LEMV; M = menacée, S = susceptible, V = vulnérable) et 6) du Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPA; C = Candidat, M = Menacée, NP = Non en péril, NS = Non suivie, P = Préoccupante et VD = En voie de disparition), 7) ainsi que les espèces observées le long du Saint-Laurent (et quelques grands tributaires en italiques) lors des inventaires du MFFP (Réseau de suivi ichtyologique 1995-2015, Réseau d'inventaires de l'estuaire du Saint-Laurent RIPE 2009-2015, Centre des données sur le patrimoine naturel du Québec CDPNQ 2013, Réseau de détection des déplacements des poissons du Saint-Laurent, et les captures des pêches commerciales). À noter que ces informations sont purement qualitatives car l'effort de pêches et les engins de capture pouvaient différer selon le secteur et le type d'échantillonnage. Il est probable que certaines espèces qui n'ont pas été capturées dans les inventaires du MFFP soient présentes dans le Saint-Laurent et ses tributaires.

Espèces	Noms scientifiques	Espèce sportive	Espèce commerciale	Espèce non indigène	Migration	Statut LEMV	Statut COSEPA	Lac Saint-François	Lac Saint-Louis	Lac des Deux-Montagnes	Montréal-Sorel	Baie Missisquoi	Haut-Richelieu	Archipel du lac Saint-Pierre	Lac Saint-Pierre	Bécancour-Batiscan	Grosses-Rivières-Saint-Nicolas	Cap-Santé	Saint-Nicolas	Rivière-Ouelle
Achigan à grande bouche	<i>Micropterus salmoides</i>				N															
Achigan à petite bouche	<i>Micropterus dolomieu</i>				N															
Alose à gésier	<i>Dorosoma cepedianum</i>				P															
Alose d'été	<i>Alosa aestivalis</i>				A															
Alose savoureuse	<i>Alosa sapidissima</i>				A	V	NS													
Anguille d'Amérique	<i>Anguilla rostrata</i>				C	S	M													
Bar blanc	<i>Morone chrysops</i>				P															
Bar rayé	<i>Morone saxatilis</i>				A		VD***													
Barbotte brune	<i>Ameiurus nebulosus</i>				N															
Barbotte jaune	<i>Ameiurus natalis</i>				N	S	NS													
Barbue de rivière	<i>Ictalurus punctatus</i>				P															
Baret	<i>Morone americana</i>				A															
Brochet d'Amérique	<i>Esox americanus americanus</i>				N															
Brochet maillé	<i>Esox niger</i>				N	S	NP													
Brochet vermiculé	<i>Esox americanus vermiculatus</i>				N	S	P***													
Carassin	<i>Carassius auratus</i>				N															
Carpe	<i>Cyprinus carpio</i>				P															
Chaboisseau à quatre cornes	<i>Triglopsis quadricornis</i>				N															
Chabot à tête plate	<i>Cottus ricei</i>				N															
Chabot de profondeur	<i>Myoxocephalus thompsonii</i>				N	S	P***													
Chabot tacheté	<i>Cottus bairdi</i>				N															
Chabot visqueux	<i>Cottus cognatus</i>				N															
Chat-fou brun	<i>Noturus gyrinus</i>				N															
Chat-fou des rapides	<i>Noturus flavus</i>				N	S	NS													
Chat-fou liséré	<i>Noturus insignis</i>				N	S	NP													
Chevalier blanc	<i>Moxostoma anisurum</i>				P															
Chevalier cuivré	<i>Moxostoma hubbsi</i>				P	M	VD***													
Chevalier de rivière	<i>Moxostoma carinatum</i>				P	V	P***													
Chevalier jaune	<i>Moxostoma valenciennesi</i>				P															

CONSERVATION/DÉVELOPPEMENT DURABLE

Espèces	Noms scientifiques	Espèce sportive	Espèce commerciale	Espèce non indigène	Migration	Statut LEMV	Statut COSEPAC	Lac Saint-François	Lac Saint-Louis	Lacs Deux-Montagnes	Montréal-Sorel	Baie Missisquoi	Haut-Richelieu	Archipel du lac Saint-Pierre	Lac Saint-Pierre	Béancour-Batiscan	Grondines-Saint-Nicolas	Cap-Santé	Saint-Nicolas	Rivière-Onelle
Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>				P															
Choquemort	<i>Fundulus heteroclitus</i>				N															
Cisco de lac	<i>Coregonus artedii</i>				P	S	VD***													
Couette	<i>Carpodius cyprinus</i>				P															
Crapet à longues oreilles	<i>Lepomis megalotis</i>				N	S	NP													
Crapet arlequin	<i>Lepomis macrochirus</i>				N															
Crapet de roche	<i>Ambloplites rupestris</i>				N															
Crapet soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>				N															
Crapet vert	<i>Lepomis cyanellus</i>				N															
Crayon-d'argent	<i>Labidesthes sicculus</i>				P															
Dard à ventre jaune	<i>Etheostoma exile</i>				N															
Dard arc-en-ciel	<i>Etheostoma caeruleum</i>				N	S	NS													
Dard barré	<i>Etheostoma flabellare</i>				N															
Dard de sable	<i>Ammocrypta pellucida</i>				N	M	M***													
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>				P															
Doré noir	<i>Sander canadensis</i>				P															
Éperlan arc-en-ciel *	<i>Osmerus mordax</i>				AP	V	NS													
Épinoches à trois épines	<i>Gasterosteus aculeatus</i>				AP															
Épinoche à quatre épines	<i>Apeltes quadracus</i>				A															
Épinoche à cinq épines	<i>Culaea inconstans</i>				N															
Épinoche à neuf épines	<i>Pungitius pungitius</i>				A															
Épinoche tachetée	<i>Gasterosteus wheatlandi</i>				A															
Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>				P	S	M													
Esturgeon noir	<i>Acipenser oxyrinchus</i>				A	S	M													
Fondule barré	<i>Fundulus diaphanus</i>				N															
Fouille-roche gris	<i>Percina copelandi</i>				N	V	M***													
Fouille-roche zébré	<i>Percina caprodes</i>				N															
Gardon rouge	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>				N															
Gaspereau	<i>Alosa pseudoharengus</i>				A															
Gobie à taches noires	<i>Neogobius melanostomus</i>				N															
Grand brochet	<i>Esox lucius</i>				P															
Grand corégone	<i>Coregonus clupeaformis</i>				AP															
Lamproie argentée	<i>Ichthyomyzon unicuspis</i>				P															

Espèces	Noms scientifiques	Espèce sportive	Espèce commerciale	Espèce non indigène	Migration	Statut LEMV	Statut COSEPAC	Lac Saint-François	Lac Saint-Louis	Lac des Deux-Montagnes	Montréal-Sorel	Baie Missisquoi	Haut-Richelieu	Archipel du lac Saint-Pierre	Lac Saint-Pierre	Bécancour-Batiscan	Grondines-Saint-Nicolas	Cap-Santé	Saint-Nicolas	Rivière-Ouelle
Lamproie brune	<i>Ichthyomyzon castaneus</i>				P															
Lamproie de l'Est	<i>Lampetra appendix</i>				P															
Lamproie du Nord	<i>Ichthyomyzon fossor</i>				P	M	P***													
Lamproie marine	<i>Petromyzon marinus</i>				A															
Laquaiche argentée	<i>Hiodon tergisus</i>				P															
Laquaiche aux yeux d'or	<i>Hiodon alosoides</i>				P															
Lépisosté osseux	<i>Lepisosteus osseus</i>				P															
Lotte	<i>Lota lota</i>				P															
Malachigan	<i>Aplodinotus grunniens</i>				P															
Marigane noire	<i>Pomoxis nigromaculatus</i>				N															
Maskinongé	<i>Esox masquinongy</i>				P															
Méné à grosse tête	<i>Pimephales promelas</i>				N															
Méné à menton noir	<i>Notropis heterodon</i>				N															
Méné à museau arrondi	<i>Pimephales notatus</i>				N															
Méné à museau noir	<i>Notropis heterolepis</i>				N															
Méné à nageoires rouges	<i>Luxilus cornutus</i>				N															
Méné à tache noire	<i>Notropis hudsonius</i>				N															
Méné à tête rose	<i>Notropis rubellus</i>				N	S	NP													
Méné bec-de-lièvre	<i>Exoglossum maxillingua</i>				N															
Méné bleu	<i>Cyprinella spiloptera</i>				N															
Méné d'argent	<i>Hybognathus regius</i>				N															
Méné d'herbe	<i>Notropis bifrenatus</i>				N	V	P***													
Méné émeraude	<i>Notropis atherinoides</i>				N															
Méné jaune	<i>Notemigonus crysoleucas</i>				N															
Méné laiton	<i>Hybognathus hankinsoni</i>				N	S	C													
Méné paille	<i>Notropis stramineus</i>				N															
Méné pâle	<i>Notropis volucellus</i>				N															
Méné ventre citron	<i>Phoxinus neogaeus</i>				N															
Méné ventre rouge	<i>Phoxinus eos</i>				N															
Ménomini rond	<i>Prosopium cylindraceum</i>				P															
Meunier noir	<i>Catostomus commersonii</i>				P															
Meunier rouge	<i>Catostomus catostomus</i>				P															
Mulet à cornes	<i>Semotilus atromaculatus</i>				N															
Mulet de lac	<i>Couesius plumbeus</i>				N															

CONSERVATION/DÉVELOPPEMENT DURABLE

Espèces	Noms scientifiques	Espèce sportive	Espèce commerciale	Espèce non indigène	Migration	Statut LEMV	Statut COSEPA	Lac Saint-François	Lac Saint-Louis	Lacs Deux-Montagnes	Montréal-Sorel	Baie Missisquoi	Haut-Richelieu	Archipel du lac Saint-Pierre	Lac Saint-Pierre	Béancour-Batiscan	Grondines-Saint-Nicolas	Cap-Santé	Saint-Nicolas	Rivière-Onelle
Mulet perlé	<i>Margariscus margarita</i>				N															
Naseux des rapides	<i>Rhinichthys cataractae</i>				N															
Naseux noir de l'Est	<i>Rhinichthys atratulus</i>				N															
Omble chevalier **	<i>Salvelinus alpinus</i>				A	S	NS													
Omble de fontaine	<i>Salvelinus fontinalis</i>				AP															
Omisco	<i>Percopsis omiscomaycus</i>				P															
Ouitouche	<i>Semotilus corporalis</i>				N															
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>				P															
Poisson-castor	<i>Amia calva</i>				N															
Poulamon atlantique	<i>Microgadus tomcod</i>				A															
Raseux-de-terre gris	<i>Etheostoma olmstedii</i>				N															
Raseux-de-terre noir	<i>Etheostoma nigrum</i>				N															
Saumon atlantique	<i>Salmo salar</i>				A															
Saumon chinook	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>				?															
Saumon coho	<i>Oncorhynchus kisutch</i>				?															
Saumon rouge	<i>Oncorhynchus nerka</i>				?															
Tanche	<i>Tinca tinca</i>				N															
Touladi	<i>Salvelinus namaycush</i>				N															
Truite arc-en-ciel	<i>Oncorhynchus mykiss</i>				A															
Truite brune	<i>Salmo trutta</i>				?															
Truite fardée	<i>Oncorhynchus clarkii</i>				?															
Umbre de vase	<i>Umbra limi</i>				N															
Total		34	24	13				50	65	34	65	29	39	60	64	61	40	57	46	22

* La désignation d'espèce vulnérable s'applique à la population d'éperlan-arc-en-ciel du sud de l'estuaire.

** La désignation d'espèce susceptible s'applique à la sous-espèce d'omble chevalier ouaissa.

*** Espèces inscrites à l'annexe 1 de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP).

Potentiel de migration des écosystèmes côtiers meubles québécois de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dans le contexte de la hausse appréhendée du niveau de la mer

Pascal Bernatchez et Chantal Quintin

Résumé

Les écosystèmes côtiers s'ajustent à la hausse du niveau de la mer en migrant vers les terres. Or, dans les zones sujettes à une accélération de la montée du niveau de la mer et à un déficit sédimentaire, des contraintes naturelles (p. ex. falaises) ou artificielles (p. ex. routes, structures de protection) présentes sur la côte, peuvent freiner cette dynamique naturelle et entraîner une perte de superficie de l'écosystème, processus nommé coincement côtier (*coastal squeeze* en anglais). Afin de savoir si les écosystèmes côtiers de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (EGSL) ont l'espace nécessaire pour se déplacer vers les terres dans un contexte de hausse du niveau de la mer, leur distance de migration potentielle a été évaluée. Les résultats révèlent que 57 % des écosystèmes formés de sédiments meubles ont un potentiel de migration inférieur à 30 m. Les contraintes artificielles sont susceptibles de freiner leur déplacement dans plus de 50 % des cas et plus des 3/4 des contraintes artificielles sont situées à moins de 30 m de leur limite supérieure. L'impact du coincement côtier devient préoccupant tant pour les milieux sableux que pour les marais maritimes qui occupent, respectivement, 74 % et 26 % de la superficie du territoire. L'amorce d'une réflexion sur la conservation d'espaces de migration des écosystèmes côtiers de l'EGSL est essentielle afin d'augmenter leur résilience face aux changements environnementaux.

MOTS CLÉS : coincement côtier, conservation, écosystème sableux, érosion côtière, marais maritime

Abstract

Coastal ecosystems naturally adjust to rising sea level by migrating landward. However, in areas subject to accelerating sea level rise and sedimentary deficits, natural (e.g., cliffs) or artificial constraints (e.g., roads or defense structures) along coastlines can limit this mitigation. This process, known as 'coastal squeeze' can lead to a reduction in the surface area of a given ecosystem. The present study evaluated the potential migration distance of coastal ecosystems in the St. Lawrence Estuary and Gulf (Canada), to determine whether they have the space to move landward with sea level rise. The results revealed that 57% of sandy and salt marsh environments, have a migration potential of less than 30 m. In over 50% of cases, artificial constraints are likely to limit this movement, and more than 75% of these constraints are located within less than 30 m of the upper limit for migration. The impact of coastal squeeze is of concern for both sandy and salt marsh ecosystems, which occupy 74% and 26% of the coastal area, respectively. To enhance the resilience of coastal ecosystems in the St. Lawrence Estuary and Gulf to environmental change, it will be important to start addressing the conservation of sufficient accommodation space for their landward migration.

KEYWORDS: beaches, coastal erosion, coastal squeeze, conservation, dunes, salt marsh

Introduction

Les écosystèmes côtiers font partie des écosystèmes les plus vulnérables aux changements climatiques (Wong et collab., 2014). Leur résilience face à ces changements constitue non seulement un enjeu écologique, mais aussi socio-économique (ÉÉM, 2005) puisqu'ils assurent une grande diversité de services écologiques (Barbier et collab., 2011; Bernhardt et Leslie, 2013; UICN France, 2013). Les écosystèmes côtiers meubles, c'est-à-dire les marais maritimes et les côtes basses sablonneuses, s'ajustent normalement à la hausse du niveau de la mer, soit verticalement si les apports sédimentaires ou en matières organiques sont suffisants, soit qu'ils migrent latéralement lorsqu'un espace est disponible (Davidson-Arnott, 2005; Schile et collab., 2014). La présence de contraintes physiques en bordure des écosystèmes côtiers,

qu'elles soient naturelles (p. ex. falaises mortes, pentes prononcées, versants) ou artificielles (p. ex. infrastructures résidentielles ou routières, ouvrages de protection côtière) peut limiter la migration naturelle des écosystèmes côtiers vers les terres, processus nommé coincement côtier (*coastal*

Pascal Bernatchez est professeur et titulaire de la Chaire de recherche en géoscience côtière à l'Université du Québec à Rimouski. Il dirige aussi le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) et est membre du Centre d'études nordiques et du Groupe de recherche sur les environnements nordiques BORÉAS. Chantal Quintin est professionnelle de recherche au LDGIZC et possède une maîtrise en gestion de la faune et de ses habitats de l'Université du Québec à Rimouski.

Pascal_Bernatchez@uqar.ca

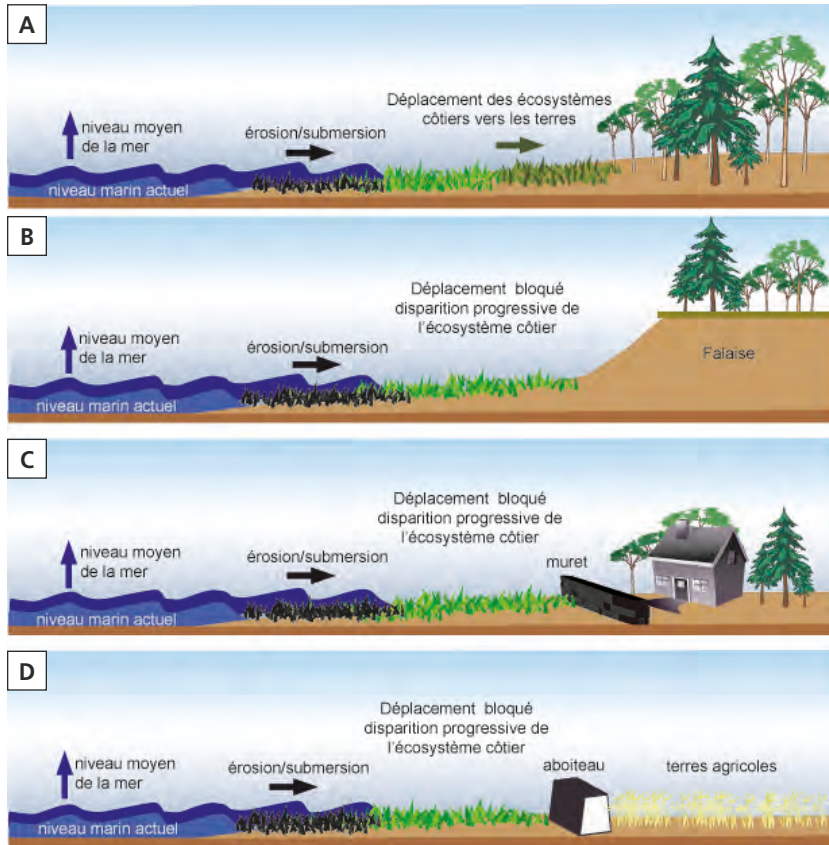


Figure 1. Schéma illustrant les facteurs qui influencent le coincement côtier. Déplacement de l'écosystème côtier en absence de contraintes (a). Déplacement de l'écosystème côtier bloqué par une contrainte naturelle (b). Déplacement de l'écosystème côtier bloqué par une contrainte anthropique (c et d) (modifié de Pontee, 2013).

squeeze en anglais) (Doody, 2004; 2013; figure 1). La distance du premier obstacle en périphérie de la limite supérieure d'un écosystème côtier est donc un élément important à considérer pour évaluer sa vulnérabilité au coincement côtier. De plus, dans le contexte de l'accélération de la hausse du niveau marin mondial (Cazenave et collab., 2014; Jevrejeva et collab., 2014) et de l'accroissement de l'urbanisation des zones côtières (Nicholls et collab., 2008), la problématique du coincement côtier pourrait prendre de l'ampleur, particulièrement dans les zones bâties (Linhoss et collab., 2015).

La hausse moyenne du niveau marin mondial, qui a été de 1,7 mm/an pour le dernier siècle (1900-2009), est passée de 1,9 mm/an à 3,2 mm/an entre les périodes de 1961-1993 et de 1993-2011 (Church et White, 2011; Rahmstorf et collab., 2012). Dans les régions côtières qui ont été englacées, comme c'est le cas du Canada, la composante isostatique influence considérablement les variations du niveau marin (Koohzare et collab., 2008). Ainsi, dans le sud du golfe du Saint-Laurent, en raison de l'enfoncement glacio-isostatique de la croûte terrestre, les tendances historiques du niveau marin mesurées à partir des stations marégraphiques ont été plus importantes

que la moyenne mondiale (Han et collab., 2015). Au Québec, le long de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (EGSL), les tendances historiques varient spatialement, allant généralement d'une baisse du niveau marin relatif en raison du relèvement isostatique à une légère augmentation, voire une stabilité relative dans certains secteurs (tableau 1). Toutefois, tel qu'observé sur la côte est du Canada et des États-Unis, il y a une accélération dans le taux de hausse du niveau marin relatif depuis la fin des années 1980 (Boon, 2012; Han et collab., 2014) qui peut même se traduire par une inversion de tendance au Québec lorsque la hausse eustatique vient compenser le relèvement isostatique. Les valeurs de la hausse du niveau marin relatif entre 2000 et 2014 ont été aussi rapides que 6,9 mm/an dans la baie des Chaleurs (Didier et collab., 2015) et de 6,7 mm/an aux Îles-de-la-Madeleine (Barnett et collab., 2015). Les nouvelles projections du GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat) indiquent une hausse pouvant varier selon le scénario le plus probable entre 0,26 et 0,81 m d'ici 2100 (Church et collab., 2013). D'autres études montrent cependant que l'amplitude pourrait plutôt varier entre 0,7 m et 1,8 m d'ici 2100 (Vermeer et Rahmstorf, 2009; Horton et collab., 2014). Les modèles récents de prévision de l'augmentation du niveau marin à l'échelle mondiale montrent aussi que les côtes du Québec et de l'est du Canada font partie des

régions où la hausse future du niveau marin sera parmi les plus élevées (Slangen et collab., 2012; Han et collab., 2015).

À l'international, bien que quelques études sur le coincement côtier aient été réalisées sur des côtes sablonneuses (Schleupner, 2008) et sur des côtes rocheuses (Jackson et McIlvenny, 2011), la plupart ont porté sur les marais côtiers (Cooper et collab., 2001; Doody, 2004; Torio et Chmura, 2013). Au Québec, il n'existe encore aucun portrait d'ensemble de la répartition des écosystèmes côtiers de l'EGSL. La cartographie des écosystèmes côtiers a surtout porté sur les milieux humides (Dryade, 1980, 1981; Mousseau et collab., 1997), principalement dans le haut et le moyen estuaire (Létourneau et Jean, 2005; Jean et Létourneau, 2011) ou encore dans les barachois du sud de la Gaspésie (Gagnon, 2002). Une seule étude a traité spécifiquement du coincement côtier au Québec sur un territoire restreint de la région de Kamouraska (Mathieu, 2008). Or, l'analyse du coincement côtier permet notamment d'orienter les décisions des acteurs du milieu sur des mesures d'atténuation qui pourraient être prises pour augmenter la capacité de résilience des écosystèmes côtiers face aux changements climatiques (Doody, 2013; Martinez et collab., 2014).

Tableau 1. Tendance (mm/an) de l'évolution du niveau marin relatif pour l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

Lieu des stations marégraphiques	Période	Tendance linéaire du niveau marin	Références
Québec	1911-2011	-0,3±0,4	Han et collab., 2015
Saint-Joseph-de-la-Rive	1967-2011	-1,05±0,42	Bernatchez et collab., 2012a
Tadoussac	1966-1995	-1,21±0,21	Koohzare et collab., 2008
Rimouski	1985-2011	0,3±1,9	Han et collab., 2015
Pointe-au-Père	1900-2003	-0,31±0,07	Koohzare et collab., 2008
Sept-Îles	1972-2003	0,19±0,11	Koohzare et collab., 2008
Sept-Îles	1973-2011	0,9±0,8	Han et collab., 2015
Rivière-au-Renard	1969-2003	-0,32 ±0,15	Koohzare et collab., 2008
Rivière-au-Renard	1969-2012	0,99±0,37	Bernatchez et collab., 2013
Harrington Harbour	1940-1988	-0,6±0,4	Han et collab., 2015
Cap-aux-Meules (Îles-de-la-Madeleine)	1964-2011	4,3±0,08	Bernatchez et collab., 2012a

Cette étude vise d'abord à dresser un premier portrait des écosystèmes côtiers meubles présents le long de l'EGSL pour ensuite évaluer leur potentiel de migration vers l'intérieur des terres dans le contexte de la hausse appréhendée du niveau marin. Le type de contraintes qui pourraient freiner leur déplacement naturel vers les terres est aussi identifié. Les résultats permettent enfin d'amorcer une réflexion sur les mesures de gestion et de conservation nécessaires afin d'augmenter la capacité de résilience de ces écosystèmes aux impacts du coinçement côtier.

Localisation de l'aire d'étude

L'aire d'étude s'étend sur 3 306 km linéaires de côtes, de Berthier-sur-Mer sur la rive sud du Saint-Laurent à Pointe-à-la-Croix dans la baie des Chaleurs, et de Tadoussac à Natashquan sur la rive nord du Saint-Laurent ainsi qu'aux Îles-de-la-Madeleine (figure 2). Faute de données de base à jour, il n'a pas été possible de couvrir pour l'instant la rive nord de l'estuaire moyen et la partie nord-est du golfe du Saint-Laurent, soit entre Natashquan et Blanc-Sablon.

Méthodologie

Numérisation des limites des écosystèmes côtiers meubles

L'identification des écosystèmes côtiers meubles susceptibles d'être vulnérables au coinçement côtier, c'est-

à-dire les plages, les terrasses de plage, les flèches littorales, les tombolos, les cordons littoraux et les marais maritimes (tableau 2), a été réalisée à l'aide d'une segmentation côtière effectuée à partir d'images obliques héliportées acquises par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'Université du Québec à Rimouski, en septembre 2010 (Drejza et collab., 2014). À partir de cette identification, une numérisation des contours de ces écosystèmes a été réalisée sur des orthophotographies aériennes acquises entre 2001 et 2012 (tableau 3) permettant d'obtenir leur superficie. La résolution spatiale des orthophotographies varie entre 15 cm et 1 m. La limite des formations végétales littorales a été utilisée comme niveau de référence pour circonscrire les écosystèmes sur les orthophotographies aériennes (figure 3). Pour les marais maritimes, seulement le schorre supérieur a été cartographié, sa limite inférieure correspondant généralement au niveau moyen des hautes mers ainsi qu'à une microfalaise lorsque le marais est en érosion (Dionne, 2004). Quant à la limite inférieure de la plage, elle correspond à la flexure, soit une rupture de pente qui délimite le haut du bas estran.

Distance de migration potentielle des écosystèmes côtiers meubles

La distance de migration potentielle (DMP) correspond à la distance entre la limite supérieure des écosystèmes côtiers et la première contrainte rencontrée vers les terres. La DMP a été calculée sur des segments de 100 m à l'aide d'un système d'information géographique (SIG). Les contraintes ont été classées en 2 catégories, soit naturelles ou artificielles (tableau 4). Le type de contrainte a été par la suite associé au type d'écosystème côtier pour chacun des segments. La DMP a été classée en 5 catégories: nulle (0-5 m), faible (6-29 m), modérée (30-69 m), élevée (70-94 m) et très élevée (95 m et plus). Notez que l'étendue de chaque classe n'est pas homogène, ce qui permet d'identifier et de représenter plus facilement les écosystèmes qui sont dans une situation critique.

Résultats

Portrait des écosystèmes côtiers meubles de l'EGSL

Les écosystèmes côtiers meubles représentent près de 55 % des 3 306 km linéaires de côtes analysés. Cela correspond à une superficie de 11 364 ha répartie dans 5 types d'écosystèmes (figure 4): les plages (3 039 ha (27 %)), les marais maritimes (2 956 ha (26 %)), les flèches littorales (2 310 ha (20 %)), les cordons-tombolos (2 140 ha (19 %)) et les terrasses de plage (918 ha (8 %)). Les écosystèmes côtiers à prédominance sableuse occupent ainsi une superficie de 74 % des écosystèmes meubles. Bien que les terrasses de plage ne représentent que 8 % de la superficie totale, elles font partie, avec les plages, des écosystèmes les plus fréquents (tableau 5). Ces écosystèmes sont tout aussi importants, car ils jouent un rôle écologique majeur pour de nombreuses espèces, dont des plantes, des mollusques, des crustacés et des oiseaux (Barbier et collab., 2011), bien qu'ils couvrent généralement des bandes



Figure 2. Localisation de l'aire d'étude.

très étroites comparativement aux marais maritimes qui constituent de vastes étendues.

En fonction des divisions du Saint-Laurent, les marais maritimes sont particulièrement prédominants dans l'estuaire moyen (tableau 5). Cette partie du Saint-Laurent est caractérisée par la rencontre et le mélange des eaux douces et salines et par une charge sédimentaire en suspension importante, formant une zone de turbidité maximale (Silverberg et Sundby, 1979; Lucotte et d'Anglejan, 1986). Les marais se sont développés sur d'anciennes surfaces d'érosion taillées dans les argiles de la Mer de Goldthwait et, dans de rares cas, sur des plateformes rocheuses ou des alluvions silto-sableuses (Dionne, 2004). Les marais maritimes sont aussi fortement présents sur la rive nord de l'estuaire maritime. Les nombreuses baies échancrées et les longues flèches littorales forment des milieux abrités propices à la sédimentation fine. Sur la rive nord du golfe du Saint-Laurent, la forte proportion de plages et de terrasses de plage sablonneuses s'explique par les apports sédimentaires des rivières qui se sont encaissées dans les dépôts quaternaires en raison du relèvement isostatique postglaciaire (Dubois, 1979) et par l'érosion des falaises sableuses. Dans la baie des Chaleurs, les nombreuses flèches littorales qui barrent partiellement des baies fortement échancrées ont aussi favorisé le développement des marais maritimes (tableau 5). La présence de deltas fluvio-glaciaires dans la zone côtière actuelle et l'érosion des falaises de grès et de conglomérats expliquent la longueur importante

des plages dans la baie des Chaleurs. Enfin, les Îles-de-la-Madeleine est la région qui présente la plus grande superficie des écosystèmes côtiers cartographiés avec une proportion de 39 %. Ce chiffre élevé s'explique par la configuration des côtes et la présence de grands systèmes de tombolos dunifiés et de flèches littorales encore à l'état naturel.

Distance de migration potentielle des écosystèmes côtiers meubles de l'EGSL

L'analyse de la distance entre la limite supérieure des écosystèmes et la première contrainte rencontrée vers l'intérieur des terres indique que 43 % des écosystèmes côtiers ont une migration potentielle nulle, 14 % faible, 12,5 % modérée, 4 % élevée et 26,5 % très élevée (figures 5 et 6). La forte proportion d'écosystèmes côtiers avec une capacité de migration nulle est directement liée aux plages localisées en pied de falaise (476 km) ainsi qu'aux plages en bordure de côtes basses (235 km). On constate aussi que 50 % des terrasses de plage et 43 % des marais maritimes ont un potentiel de migration inférieur à 30 m. Actuellement, les flèches littorales, les systèmes de tombolos et de cordons littoraux et, dans une moindre mesure, les marais maritimes présentent un potentiel de migration élevé à très élevé, soit respectivement 70 %, 63 % et 41 %.

Les types de contraintes susceptibles de freiner la migration des écosystèmes côtiers ont été analysés lorsqu'elles étaient situées à moins de 95 m de leur limite supérieure.

Tableau 2. Définition et illustration des types d'écosystèmes côtiers meubles cartographiés.






Type d'écosystème	Exemple photographique	Définition
Marais maritime		Les marais maritimes, situés dans la zone intertidale (ou estran), sont des zones d'accumulation de sédiments fins colonisées par de la végétation herbacée.
Terrasse de plage		Accumulation de sable ou de gravier littoral formée d'un replat généralement végétalisé qui est très rarement submergé par les marées. Le replat est parfois bordé dans sa partie inférieure par un talus d'érosion (microfalaise) de moins de 2 m de hauteur et sa surface est parfois affectée par l'activité éolienne. Dans ce cas, il se forme alors des dunes bordières, ce qui est fréquent sur la Côte-Nord. La terrasse de plage peut être suivie à l'arrière-plage ou l'arrière-côte d'une falaise morte ou d'une surface plane.
Tombolo et cordon littoral		Accumulation basse de sable ou de gravier qui relie la côte à un îlot souvent rocheux ou deux îlots rocheux entre eux. Ce type de côte est souvent bordé d'une lagune. Le cordon littoral peut ne pas être attaché à la côte et est souvent parallèle à celle-ci. Ces systèmes sont généralement dunifiés, notamment aux Îles-de-la-Madeleine.
Flèche littorale		Accumulation de sable ou de gravier qui s'attache d'un côté à la côte et qui s'étire généralement parallèlement à celle-ci; l'extrémité est libre.
Plage (au pied de falaises ou le long de côtes basses)		Accumulation de sable ou de gravier littoral située entre la flexure et la ligne de rivage. Les plages peuvent être localisées au pied d'une falaise ou le long de côtes basses.

Tableau 3. Imagerie utilisée pour la numérisation des écosystèmes côtiers du territoire à l'étude.

Zone couverte	Année	Résolution	Imagerie
Berthier-sur-Mer à La Pocatière	2001	1 m	Orthophotographie noir et blanc
La Pocatière à Sainte-Anne-des-Monts	2012	15 cm	Orthophotographie couleur
Sainte-Anne-des-Monts à Cap-des-Rosiers	2009	15 cm	Orthophotographie couleur
Cap-des-Rosiers à Port-Daniel	2008	15 cm	Orthophotographie infrarouge
Port-Daniel à Escuminac	2007	15 cm	Orthophotographie infrarouge
Escuminac à Pointe-à-la-Croix	2001	1 m	Orthophotographie noir et blanc
Tadoussac à Natashquan	2001	1 m	Orthophotographie noir et blanc
Îles-de-la-Madeleine	2008	15 cm	Orthophotographie infrarouge

Tableau 4. Description des éléments considérés pour le calcul de la distance de migration potentielle (DMP) des écosystèmes côtiers.

Type de contraintes	Éléments de contraintes	Source
Naturelle	Falaise morte	LDGIZC-UQAR (de 2001 à 2012, selon le secteur, voir tableau 3)
	Embouchure de cours d'eau	BDTQ 20K, MRNF, 1999
	Courbe de niveau 10 m	BDTQ 20K, MRNF, 1999
Artificielle	Ouvrage de défense côtière	LDGIZC-UQAR (de 2001 à 2012, selon le secteur, voir tableau 3)
	Bâtiment	BDTQ 20K, MRNF, 1999
	Route et voie ferrée	BDTQ 20K, MRNF, 1999

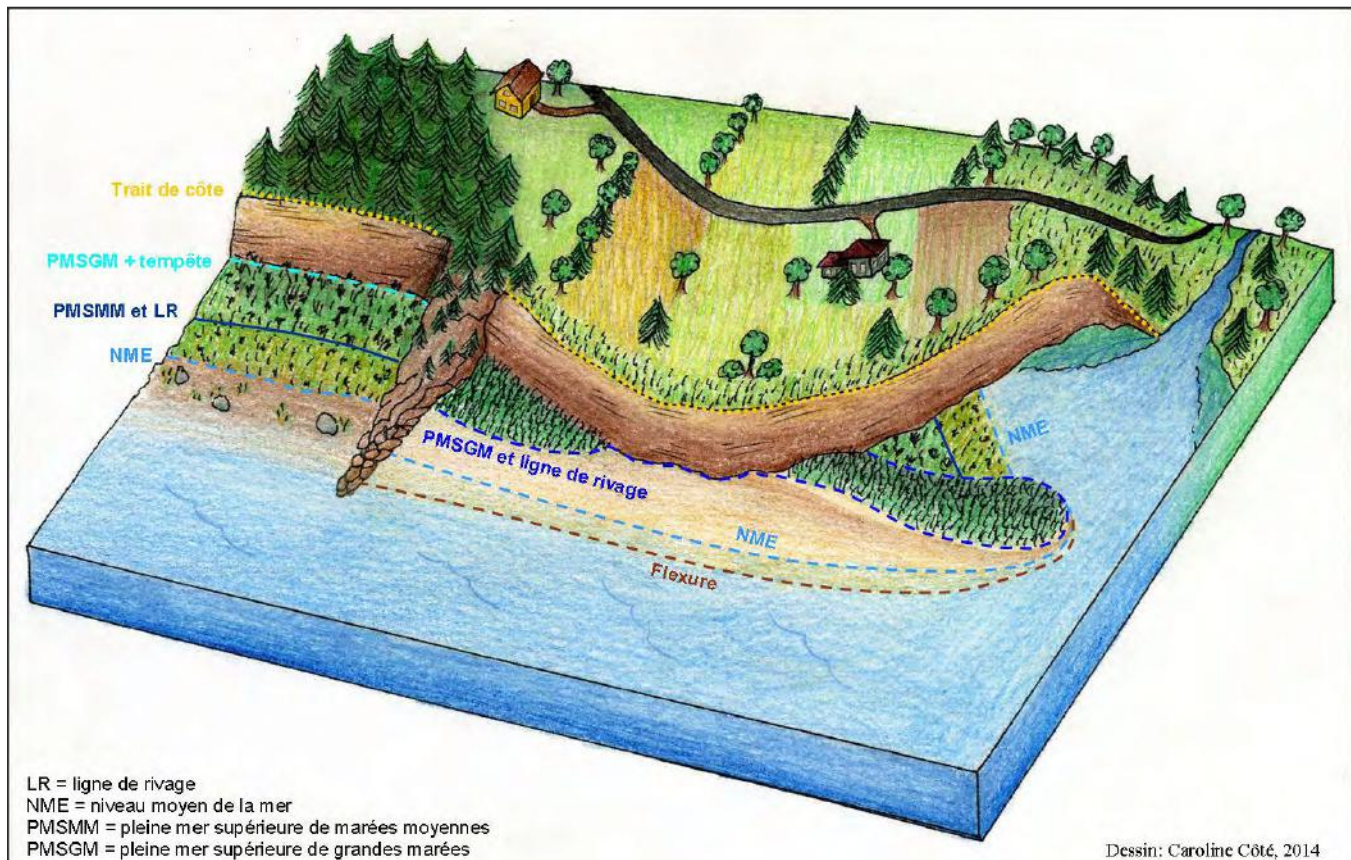


Figure 3. Limite des formations végétales utilisée pour la numérisation de la surface des écosystèmes côtiers du territoire à l'étude.



Figure 4. Répartition de la superficie des écosystèmes côtiers meubles de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

Les résultats indiquent que près de 52% des contraintes sont artificielles et représentent 795 km linéaires de segments d'écosystèmes côtiers (tableau 5). Plus des 3/4 des contraintes artificielles sont situées à moins de 30 m de la limite supérieure des écosystèmes côtiers. Parmi ceux-ci, les ouvrages de défense côtière, les routes, les bâtiments et les aboiteaux sont les principales contraintes artificielles représentant des longueurs respectives de 266 km, 166 km, 96 km et 68 km (figure 7). Quant aux principales contraintes naturelles localisées à moins de 30 m de la limite supérieure des écosystèmes côtiers, les falaises mortes représentent à elles seules 83% de la longueur totale des obstacles. Il s'agit d'ailleurs de la plus importante contrainte susceptible de freiner la migration des écosystèmes côtiers avec une longueur totale de 514 km, suivie des ouvrages de défense côtière et des infrastructures routières totalisant respectivement une longueur de 266 km et 250 km.

Discussion

Le coincement côtier, une problématique pour les écosystèmes côtiers de l'EGSL

Bien que le coincement côtier soit un processus complexe, cette étude montre que son impact est préoccupant dans le contexte de la hausse du niveau de la mer, surtout dans les secteurs où le cadre bâti est dense. Près de 57% de la limite supérieure des écosystèmes côtiers meubles est située à moins de 30 m d'une contrainte et plus de la moitié des contraintes susceptibles de freiner la migration des écosystèmes côtiers sont d'origine anthropique. Les ouvrages de défense côtière mis en place pour contrer le recul du littoral sont la principale contrainte artificielle bien qu'à peine 11% des côtes de l'Est du Québec fussent bordées par des ouvrages de protection en 2010 (Drejza et collab., 2014). C'est particulièrement sur la rive sud de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent que l'artificialité du littoral est la plus élevée, pouvant atteindre respectivement 40% et 45% dans les MRC de La Mitis et de La Haute-Gaspésie (Drejza et collab., 2014). Or, la mise en place d'ouvrages de protection rigides le long des côtes basses sablonneuses engendre souvent une réduction de la largeur des plages (Bernatchez et Fraser, 2012) et un abaissement du profil

Tableau 5. Répartition des écosystèmes côtiers meubles de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent selon les divisions du Saint-Laurent.

Écosystème côtier	Rive sud						Rive nord						Îles-de-la-Madeleine			Total																	
	Estuaire moyen		Estuaire maritime		Golfe du Saint-Laurent		Baie des Chaleurs		Estuaire maritime		Golfe du Saint-Laurent		Golfe du Saint-Laurent		Total		Total																
	(%) km	(%) nb	(%) ha	(%) km	(%) nb	(%) ha	(%) km	(%) nb	(%) ha	(%) km	(%) nb	(%) ha	(%) km	(%) nb	(%) ha	(%) km	(%) nb	(%) ha															
Marais maritime	97	(5)	1 101	97	(1)	97	3	(0)	7	(0)	7	435	(4)	58	(2)	58	44	(2)	44	249	(2)	52	(14)	1	3*	3*	236	(9)	2 956	(26)			
Plage	(2)	(3)	(0)	(11)	(10)	(4)	(13)	(4)	(4)	(13)	(4)	(2)	(2)	(7)	(7)	(3)	(15)	(14)	(8)	(8)	(8)	(5)	(5)	(7)	(4)	(4)	(5)	(57)	(27)	(27)			
Terrasse de plage	42	(1)	49	213	(4)	489	144	(1)	173	(2)	347	212	(0)	160	(1)	325	377	(6)	978	(6)	377	(10)	153	100	561	3040	(8)	(8)					
Flèche littorale	19	(83)	21	77	(0)	104	13	(1)	54	(2)	50	40	(1)	21	(1)	173	267	(2)	647	(1)	17	105	36	12	1748	102	78	2 310	(20)	(20)			
Tombolo et cordon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)		
Total	(8)	(9)	(10)	(15)	(20)	(7)	(15)	(6)	(11)	(13)	(26)	(17)	(7)	(12)	(11)	(26)	(27)	(17)	(1982)	(13)	3	4	(14)	(39)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
	159	245	1 171	319	533	844	317	459	663	195	257	12	258	302	1 426	555	716	1 982	296	1 426	296	156	4 466	2 099	2 668	2 668	11 364	2 668	11 364	2 668	11 364		

*Excluant l'intérieur des lagunes.

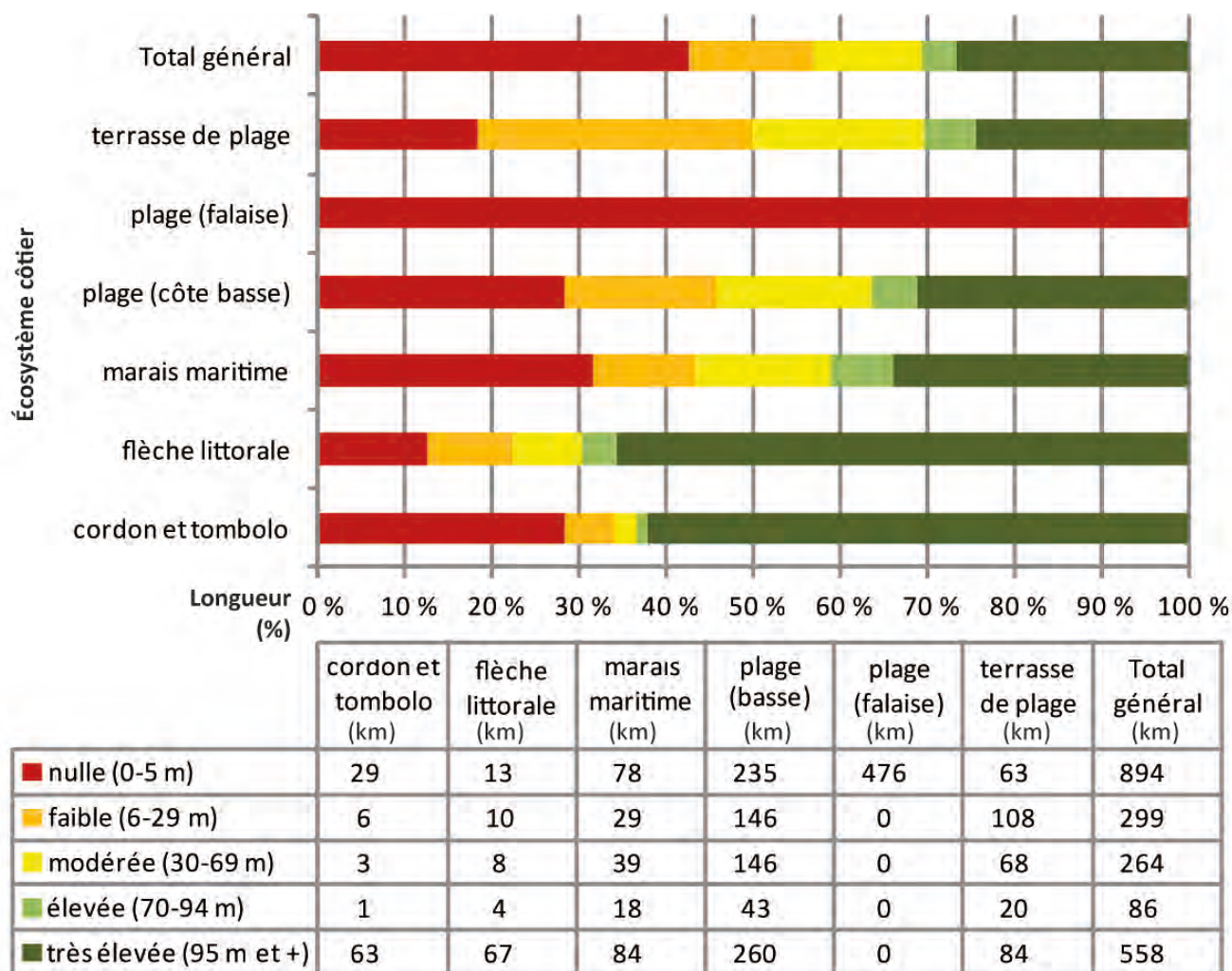
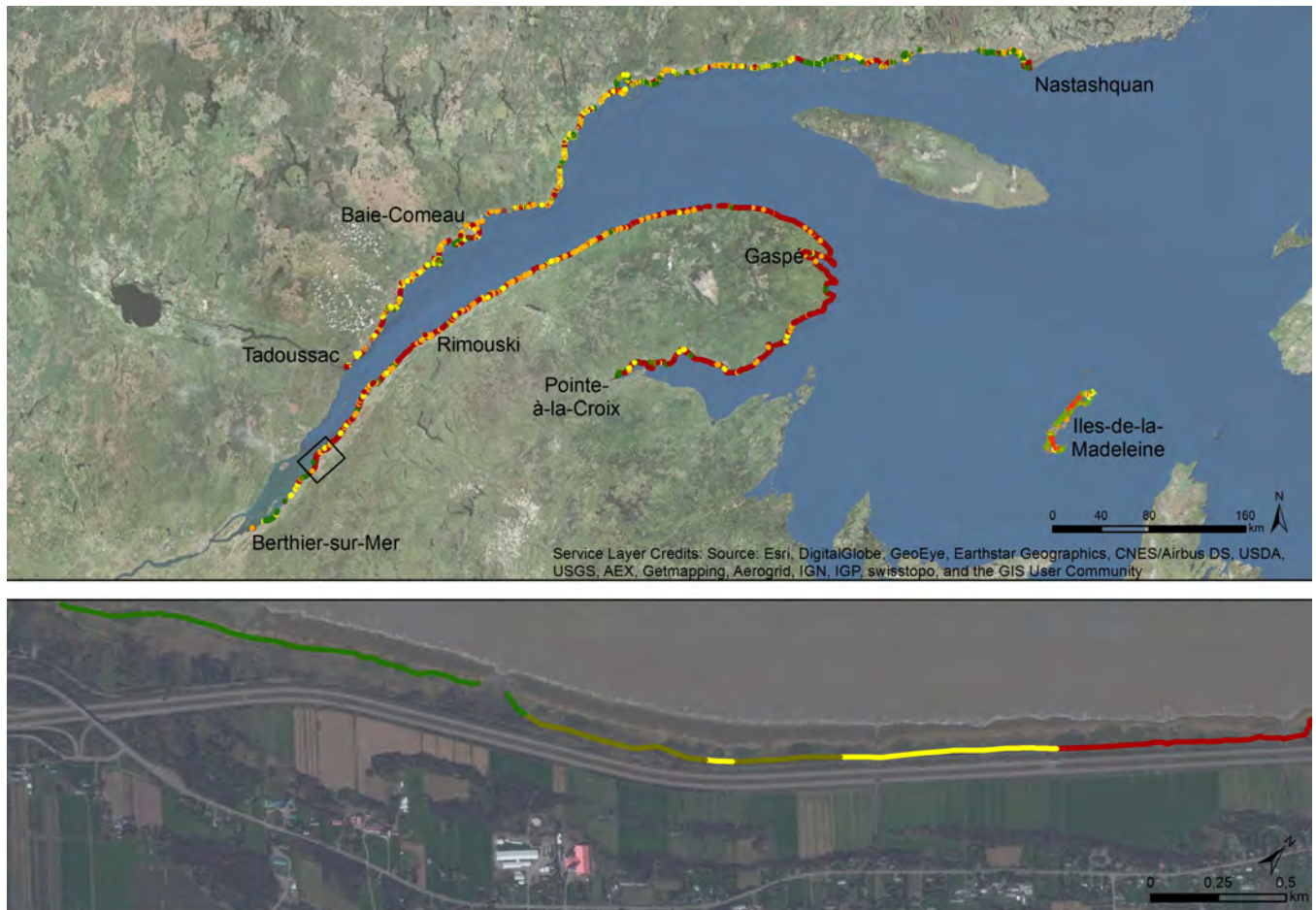


Figure 5. Répartition de la longueur des segments des écosystèmes côtiers selon leur distance de migration potentielle.

des plages, entraînant une augmentation du franchissement des vagues et du risque de submersion lors de tempêtes (Dawson et collab., 2009; Bernatchez et collab., 2011; Chini et Stansby, 2014; Didier et collab., 2015). De plus, ces modifications anthropiques réduisent les fonctions de services écologiques qui étaient offertes par les écosystèmes sableux, notamment celles d'atténuer les risques naturels côtiers (Barbier et collab., 2011; Barbier, 2012; Bernhardt et Leslie, 2013). Sachant que les plages et les terrasses de plage présentent un potentiel de migration plus faible que les autres écosystèmes côtiers (figure 5) et qu'elles ont été beaucoup moins étudiées au Québec comparativement aux milieux humides, il devient urgent de leur accorder une plus grande importance. Ces écosystèmes sableux offrent en effet divers services écologiques. Notamment ils constituent des aquifères pour les collectivités côtières, ils servent à de nombreuses espèces animales et végétales, ils sont bénéfiques pour l'industrie écotouristique ainsi que pour les activités récréatives et ils assurent la connectivité entre les habitats intertidaux et supratidaux (Schleupner, 2008; Barbier et collab., 2011; Bhiry et collab., 2013).

L'analyse de l'évolution historique des terrasses de plage montre qu'elles évoluent selon des cycles d'érosion et d'accumulation. Malgré de forts reculs qui peuvent atteindre 10 à 15 m lors des événements de tempête, le bilan du déplacement de la ligne de rivage des terrasses de plage au cours des 50 dernières années a été légèrement positif sur la rive nord de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent (Bernatchez et collab., 2012b, c, d), à l'exception de la région de Pessamit et de la péninsule de Manicouagan où le bilan a été négatif (Bernatchez, 2003; Bernatchez et collab., 2012e). Sur la rive sud de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent, les mesures d'évolution des côtes réalisées entre 1992-1993 et 2012 entre Rimouski et Sainte-Anne-des-Monts montrent un bilan légèrement négatif (Marie et collab., 2014) alors que le bilan a été stable à négatif dans la baie des Chaleurs entre 1934 et 2007 (Bernatchez et collab., 2012f; Fraser et collab., 2012), et légèrement positif aux Îles-de-la-Madeleine entre 1963 et 2008 (Bernatchez et collab., 2012g). Quant à l'évolution des plages dans le golfe du Saint-Laurent, les données sont très fragmentaires et pointent vers un bilan sédimentaire plutôt



Légende

Distance de migration potentielle — nulle (0-5 m) — faible (6-29 m) — modérée (30-69 m) — élevée (70-94 m) — très élevée (95 m et plus

Figure 6. Cartographie du potentiel de migration des écosystèmes côtiers à l'échelle de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (en haut) et à une échelle plus fine, secteur de la MRC de Kamouraska et de L'Islet (en bas).

déficitaire (Bernatchez et Fraser, 2012; Bernatchez et collab., 2008).

Les marais maritimes, qui occupent 1/4 de la superficie totale des écosystèmes côtiers meubles analysés présentent, sur une longueur de 146 km, un potentiel de migration modéré à nul. Les aboiteaux, les falaises et les infrastructures routières constituent les principaux obstacles à leur migration. En plus de ces contraintes et malgré des taux moyens d'accrétion verticale à long terme variant autour de 1 à 3 mm/an (Dionne, 2004), la vitesse moyenne d'érosion du schorre supérieur varie entre -0,4 et -2 m/an sur les rives nord et sud de l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Troude et Sérodes, 1985; Dionne, 1986; Dionne, 2000; Dionne et Bouchard, 2000; Allard et collab., 2012). Le recul du schorre supérieur laisse généralement place à un accroissement de la superficie du schorre inférieur ou à des surfaces d'érosion dénudées de végétation (Allard et collab., 2012; Dionne, 1986). Néanmoins, dans certains secteurs, les superficies des schorres supérieurs et inférieurs sont à la baisse, notamment à

L'Isle-aux-Grues (Bhiry et collab., 2013) et à Rivière-du-Loup (Dionne, 1986). Ces changements dans la structure des marais auront sans doute des effets sur les services écosystémiques qu'ils rendent. Sur la rive nord de l'estuaire maritime, le recul du schorre supérieur est tout aussi important, avec des vitesses variant entre -0,8 et -1,4 m/an (Bernatchez et Dubois, 2004; Morissette, 2007), sauf dans certains secteurs abrités où les marais se sont développés derrière les flèches littorales et ont gagné en superficie à mesure que ces dernières s'allongeaient latéralement (Morissette, 2007). Sur la rive sud de l'estuaire maritime, le recul du schorre supérieur a été moins important, avec des valeurs inférieures à -0,5 m/an (Dionne, 1999). Bien que, sur la côte nord du golfe, les données de l'évolution à long terme des marais soient limitées spatialement, les études révèlent un bilan plutôt stable avec des cycles d'accumulation-érosion (Bernatchez et collab., 2012c,d). Dans la baie des Chaleurs, les taux de migration historique du schorre supérieur depuis 1934 sont très variables, allant d'un recul moyen de -1,4 m/an dans la MRC de Bonaventure



Figure 7. Contraintes artificielles présentes le long du Saint-Laurent. Présence d'aboiteaux près de marais maritimes, Kamouraska (en haut à gauche), terrasses de plage et plages à proximité de bâtiments et de la route 132, Sainte-Flavie (en haut à droite), route 199 sur un cordon-tombolo, Îles-de-la-Madeleine (en bas à gauche) et autoroute 20 près du marais maritime, Rivière-du-Loup (en bas à droite).

(Fraser et collab., 2012) à une stabilité relative dans la MRC d'Avignon (Bernatchez et collab., 2012f). Une variabilité des changements observés dans la superficie des marais maritimes a également été documentée au sein d'un même système. À l'intérieur du barachois de Nouvelle, Quintin (2010) montre qu'entre 1934 et 2007, le marais localisé à l'embouchure de la rivière a accusé un gain de superficie de près de 20% alors que celui qui est localisé derrière la flèche littorale a subi une perte de 73%. Aux Îles-de-la-Madeleine, malgré une hausse du niveau marin relatif de 35 cm au cours du 20^e siècle (Juneau, 2012), les marais en bordure des lagunes se sont maintenus en migrant vers les terres aux dépens de la bordure forestière dans les zones sans contrainte à leur déplacement (Juneau, 2012).

Conclusion

Vers des mesures écologiques pour atténuer l'impact du coincement côtier

Avec la hausse du niveau de la mer à l'échelle mondiale (Nicholls et Cazenave, 2010; Church et collab., 2013; Horton et collab., 2014), la réduction du couvert de glace de mer et côtière dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (Senneville et collab., 2014) ainsi que l'augmentation de l'exposition des côtes aux événements de tempêtes, la capacité de résilience

des écosystèmes côtiers sera grandement influencée par la présence d'obstacles susceptibles de freiner leur migration vers l'intérieur des terres (Cooper et collab., 2001; Martinez et collab., 2014). Or, pour être en mesure d'offrir ses services écologiques, un écosystème doit être en bon état (UICN France, 2013).

Ces résultats soulèvent la nécessité d'amorcer une réflexion sur l'espace de migration ou de liberté accordé aux écosystèmes côtiers de l'EGSL. Considérant que le type d'utilisation du sol en bordure du littoral influence directement le potentiel de migration des écosystèmes, une partie de la solution doit résider dans la prise en compte de leur évolution dans la planification et l'aménagement du territoire côtier. Il est important de considérer la limite supérieure des écosystèmes non pas comme une limite statique, mais plutôt mobile qui peut subir des cycles d'avancée et de recul en fonction des conditions météo-marines à court et à long terme. Il conviendrait ainsi de délimiter des zones de conservation pour permettre aux responsables régionaux de la gestion du territoire d'appliquer cette notion d'espace de mobilité ou de liberté afin de maintenir les fonctions physiques et écologiques de ces écosystèmes (Hulme, 2005; Defeo et collab., 2009; Doody, 2013). Le gouvernement australien,

par exemple, intègre depuis 2009 dans ses documents officiels le terme *coastal squeeze* et la nécessité de prendre en compte la mobilité des écosystèmes dans la gestion côtière (Australian Government, 2010).

Les mesures écologiques telles que la conservation et la restauration s'avèrent une avenue à privilégier afin d'augmenter la résilience des écosystèmes côtiers et des communautés côtières (Nicholls et collab., 1999; Pethick, 2001; Arkema et collab., 2013; Martinez et collab., 2014). Les mesures écologiques sont intégrées dans les politiques de plusieurs pays côtiers. En Angleterre, la reconnaissance de la problématique liée au coincement côtier par le Gouvernement, a mené à des mesures pour compenser la perte de marais maritimes et, dans certains cas, à des incitatifs pour des propriétaires de terrain en bordure de marais afin de favoriser leur restauration, comme permettre la réouverture de digues et d'aboteaux (French, 2006; Doody, 2004; Defra Flood Management Division, 2005). En France, le Conservatoire du littoral acquiert des terrains pour la conservation de la zone côtière (Conservatoire du littoral, 2015). Aux États-Unis, à la suite du passage de l'ouragan Sandy en 2012, un vaste programme de financement *The Hurricane Sandy Coastal Resiliency Competitive Grant Program* a été lancé par le Gouvernement afin de soutenir des projets visant la diminution de la vulnérabilité des communautés côtières à travers le renforcement de la capacité de résilience des écosystèmes naturels (NFWF, 2015).

Au Québec, la complexité de la juridiction du Saint-Laurent et le manque de connaissance sur l'impact du coincement côtier limitent la mise en œuvre de telles mesures. Néanmoins, des initiatives effectuées par l'organisme Conservation de la nature Canada ont permis d'acheter des terrains côtiers en Gaspésie et dans l'estuaire moyen pour assurer la protection d'une partie du patrimoine naturel (Monticone, K., communication personnelle). De plus, la mise en place des tables de concertation régionales dans le cadre de la gestion intégrée du Saint-Laurent constitue aussi une avenue prometteuse (MDDEFP, 2012). Les résultats permettent d'établir un premier portrait des écosystèmes côtiers meubles de l'EGSL et de fournir une première évaluation plutôt préoccupante de leur vulnérabilité au phénomène de coincement côtier. La mise en place de mesures de gestion écologiques par les décideurs pourrait augmenter la capacité de résilience des écosystèmes côtiers face aux changements environnementaux. Le développement d'un outil de gestion pour les responsables de l'aménagement du territoire leur permettra ultérieurement de tenir compte du potentiel de migration des écosystèmes côtiers dans la planification territoriale en bordure du Saint-Laurent.

Remerciements

Nous tenons à remercier Michelle Garneau de l'Université du Québec à Montréal et Jean-Marie M. Dubois de l'Université de Sherbrooke ainsi que Michel Crête, rédacteur en chef de la revue, pour leurs commentaires constructifs qui ont permis d'améliorer la qualité de cet article. Nous tenons à

souligner la contribution financière du ministère des Ressources naturelles Canada et du consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques, OURANOS, ainsi que le Gouvernement du Québec via le Cadre de prévention des principaux risques naturels (2006-2013). ◀

Références

- ALLARD, M., R.A. FOURNIER, M. GRENIER, J. LEFEBVRE et J.-F. GIROUX, 2012. Forty years of change in the bulrush marshes of the St. Lawrence estuary and the impact of the greater snow goose. *Wetlands*, 32 : 1175-1188.
- ARKEMA, K.K., G. GUANNEL, G. VERUTES, S.A. WOOD, A. GUERRY, M. RUCKELSHAUS, P. KAREIVA, M. LACAYO et J.M. SILVER, 2013. Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms. *Nature Climate Change*, 14 : 1-6.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2010. *Climate change risks to Australia's coast*. Department of Climate Change, Canberra, 172 p.
- BARBIER, E.B., 2012. A spatial model of ecosystem services. *Ecological Economics*, 78 : 70-79.
- BARBIER, E.B., S.D. HACKER, C. KENNEDY, E.W. KOCH, A.C. STIER et B.R. SILLIMAN, 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81 : 169-193.
- BARNETT, R.L., P. BERNATCHEZ, M. GARNEAU et N. CAHILL, 2015. 500 years of sea level variability and acceleration at les Îles-de-la-Madeleine, Canada. Dans : XIXth INQUA Congress, Nagoya, Japon, 26 juillet-2 Août 2015. Science Council of Japan, Japan Association for Quaternary Research, International Union for Quaternary Research, Nagoya, p. 121.
- BERNATCHEZ, P., 2003. *Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et de Manicouagan-Outardes : synthèse, processus, causes et perspectives*. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 460 p.
- BERNATCHEZ, P. et J.-M. DUBOIS, 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 58 : 45-71.
- BERNATCHEZ, P. et C. FRASER, 2012. Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada. *Journal of Coastal Research*, 28 : 1550-1566.
- BERNATCHEZ, P., C. FRASER, S. FRIESINGER, Y. JOLIVET, S. DUGAS, S. DREJZA et A. MORISSETTE, 2008. Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 256 p.
- BERNATCHEZ, P., C. FRASER, D. LEFAIVRE et S. DUGAS, 2011. Integrating anthropogenic factor, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. *Ocean & Coastal Management*, 54 : 621-632.
- BERNATCHEZ, P., G. BOUCHER-BROSSARD et M. SIGOUIN-CANTIN, 2012a. Contribution des archives à l'étude des événements météorologiques et géomorphologiques causant des dommages aux côtes du Québec maritime et analyse des tendances, des fréquences et des temps de retour des conditions météo-marines extrêmes. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 140 p.
- BERNATCHEZ, P., S. FRIESINGER, C. DENIS et Y. JOLIVET, 2012b. Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Nutashkuan dans un contexte de changements climatiques. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 219 p.

- BERNATCHEZ, P., S. FRIESINGER, C. DENIS et Y. JOLIVET, 2012c. Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté d'Ekuanitshit dans un contexte de changements climatiques. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 220 p.
- BERNATCHEZ, P., S. FRIESINGER, C. DENIS et Y. JOLIVET, 2012d. Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Uashat mak Mani-Utenam dans un contexte de changements climatiques. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 239 p.
- BERNATCHEZ, P., S. FRIESINGER, C. DENIS et Y. JOLIVET, 2012e. Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Pessamit dans un contexte de changements climatiques. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 240 p.
- BERNATCHEZ, P., C. FRASER, S. DUGAS et S. DREJZA, 2012f. Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral de la MRC d'Avignon. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 49 p. + annexes.
- BERNATCHEZ, P., S. DREJZA et S. DUGAS, 2012g. Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral des Îles-de-la-Madeleine. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 71 p. + annexes + 100 cartes.
- BERNATCHEZ, P., C. QUINTIN, C. FRASER, U. NEUMEIER, Y. JOLIVET, M. HOUDE-POIRIER, B. HÉTU, C. GIBEAULT, G. BOUCHER-BROSSARD et G. MARIE, 2013. Dynamique de l'écosystème côtier de la péninsule de Penouille dans un contexte de changements climatiques, Parc national du Canada Forillon : Rapport final. Rapport remis au Parc national du Canada Forillon. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 410 p.
- BERNHARDT, J.R. et H.M. LESLIE, 2013. Resilience to climate change in coastal marine ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 5: 371-392.
- BHIRY, N., D. CLOUTIER, L. COUILLARD, A. GERVAIS, P. LAMARRE, M. NORMANDEAU et A.D. OUSMANE, 2013. Évolution des hauts marais de l'estuaire d'eau douce du Saint-Laurent et stratégies de protection des espèces en situation précaire dans une perspective de changements climatiques. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS. Université Laval, Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique et Faculté de sciences et génie, Département de géographie et ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 134 p. + annexes.
- BOON, J. D., 2012. Evidence of sea level acceleration at U.S. and Canadian tide stations, Atlantic coast, North America. *Journal of Coastal Research*, 28: 1437-1445.
- CAZENAVE, A., H.B. DIENG, B. MEYSSIGNAC, K. VON SCHUCKMANN, B. DECHARME et E. BERTHIER, 2014. The rate of sea-level rise. *Nature Climate Change*, 4: 358-361.
- CHINI, N. et P.K. STANSBY, 2014. Coupling TOMAWAC and EurOtop for uncertainty estimation in wave overtopping predictions. Dans: GOURBESVILLE, P., J. CUNGE, et G. CAIGNAERT (édit.). *Advances in hydroinformatics*. Springer Singapore, Singapore, p. 117-127.
- CHURCH, J.A. et N.J. WHITE, 2011. Sea-level from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics*, 32: 585-602.
- CHURCH, J.A., P.U. CLARK, A. CAZENAVE, J.M. GREGORY, S. JEVREJEVA, A. LEVERMANN, M.A. MERRIFIELD, G.A. MILNE, R.S. NEREM, P.D. NUNN, A.J. PAYNE, W.T. PFEFFER, D. STAMMER et A.S. UNNIKISHNAN, 2013. Sea level change. Dans: STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX et P.M. MIDGLEY (édit.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge et New York, p. 1137-1206.
- CONSERVATOIRE DU LITTORAL, 2015. Disponible en ligne à : <http://www.conservatoire-du-littoral.fr/>. [Visité le 15-12-01].
- COOPER, N.J., T. COOPER et F. BURD, 2001. 25 years of salt marsh erosion in Essex: Implications for coastal defence and nature conservation. *Journal of Coastal Conservation*, 7: 31-40.
- DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D., 2005. Conceptual model of the effects of sea level rise on sandy coasts. *Journal of Coastal Research*, 21: 1166-1172.
- DAWSON, R.J., M.E. DICKSON, R.J. NICHOLLS, J.W. HALL, M.J.A. WALKDEN, P.K. STANSBY, M. MOKRECH, J. RICHARDS, J. ZHOU, J. MILLIGAN, A. JORDAN, S. PEARSON, J. REES, P.D. BATES, S. KOUKOULAS et A.R. WATKINSON, 2009. Integrated analysis of risks of coastal flooding and cliff erosion under scenarios of long term change. *Climatic Change*, 95: 249-288.
- DEFEO, O., A. MCLACHLAN, D.S. SCHOEMAN, T.A. SCHLACHER, J. DUGAN, A. JONES, M. LASTRA et F. SCAPINI, 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81: 1-12.
- DEFRA FLOOD MANAGEMENT DIVISION, 2005. Coastal squeeze implications for flood management, the requirements of the European Birds and Habitats Directives. Disponible en ligne à : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/181444/coastalsqueeze.pdf. [Visité le 15-12-01].
- DIDIER, D., P. BERNATCHEZ, G. BOUCHER-BROSSARD, A. LAMBERT, C. FRASER, R.L. BARNETT et S. VAN-WIERTS, 2015. Coastal flood assessment based on field debris measurements and wave runup empirical model. *Journal of Marine Science and Engineering*, 3: 560-590.
- DIONNE, J.-C., 1986. Érosion récente des marais intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent. *Géographie physique et Quaternaire*, 40: 307-323.
- DIONNE, J.-C., 1999. L'érosion des rives du Saint-Laurent : vue d'ensemble et état de la question. Dans: Actes: Colloque régional sur l'érosion des berges : vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin (Baie-Comeau, 19 au 21 février 1999). Municipalité régionale de comté (MRC) de Manicouagan et Comité de la Zone d'intervention prioritaire (ZIP) de la rive nord de l'estuaire, Baie-Comeau, p. 2-19.
- DIONNE, J.-C., 2000. Érosion récente du schorre supérieur à Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 54: 69-89.
- DIONNE, J.-C., 2004. Âge et taux moyen d'accrétion verticale des schorres du Saint-Laurent estuarien, en particulier ceux de Montmagny et de Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 58: 73-108.
- DIONNE, J.-C. et M.-C. BOUCHARD, 2000. Nouvelles données sur l'érosion du schorre supérieur à Montmagny, moyen estuaire du Saint-Laurent. *Géographie physique et Quaternaire*, 54: 219-230.
- DOODY, J.P., 2004. Coastal squeeze, an historical perspective. *Journal of Coastal Conservation*, 10: 129-138.
- DOODY, J.P., 2013. Coastal squeeze and management realignment in southeast England, does it tell us anything about the future? *Ocean and Coastal Management*, 79: 34-41.
- DREJZA, S., S. FRIESINGER et P. BERNATCHEZ, 2014. Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : caractérisation des côtes, dynamique hydrosédimentaire et exposition des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion, Est du Québec, Volume 1, Projet X008.1. Rapport remis au ministère des Transports du Québec. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 225 p. + annexes

- DRYADE (Groupe), 1980. Habitats propices aux oiseaux migrateurs le long des rives de la rivière Richelieu, de la rivière Outaouais, du fleuve Saint-Laurent, de l'estuaire du Saint-Laurent, de la côte nord du golfe du Saint-Laurent, de la péninsule gaspésienne et des Îles-de-la-Madeleine. Environnement Canada, Service canadien de la faune, région de Québec, Québec, 65 p. + cartes.
- DRYADE (GROUPE), 1981. Analyse des pertes de végétation riveraine le long du Saint-Laurent de Cornwall à Matane (1945-1976). Environnement Canada, Service canadien de la faune, région de Québec, Rapport n° 3683, Québec, 28 p.
- DUBOIS, J.-M.M., 1979. Environnement quaternaire et évolution postglaciaire d'une zone côtière en émergence en bordure sud du Bouclier Canadien : la Moyenne Côte-Nord du Saint-Laurent, Québec. Thèse de doctorat, Université d'Ottawa, Ottawa, 754 p.
- ÉÉM (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire), 2005. Ecosystems and human well-being: Current state and trend. Island Press, Washington, 917 p.
- FRASER, C., P. BERNATCHEZ, S. DUGAS et S. DREJZA, 2012. Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral de la MRC de Bonaventure. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 50 p. + annexes.
- FRENCH, P.W., 2006. Managed realignment – the developing story of a comparatively new approach to soft engineering. *Journal of Environmental Management*, 67 : 409-423.
- GAGNON, M., 2002. Étude des caractéristiques biophysiques, des usages et du potentiel mycicole de six barachois du sud de la Gaspésie. Rapport remis à la Société de Développement de l'Industrie maricole (SODIM). Biorex, Québec, 150 p.
- HAN, G., Z. MA, N. CHEN, R. THOMSON et A. SLANGEN, 2015. Changes in mean relative sea level around Canada in the twentieth and twenty-first centuries. *Atmosphere-Ocean*, 53 : 452-463.
- HORTON, B.P., S. RAHMSTORF, S.E. ENGELHART et A.C. KEMP, 2014. Expert assessment of sea-level rise by AD 2100 and AD 2300. *Quaternary Science Reviews*, 84 : 1-6.
- HULME, P.E., 2005. Adapting to climate change: Is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology*, 42 : 784-794.
- JACKSON, A.C. et J. MCILVENNY, 2011. Coastal squeeze on rocky shores in northern Scotland and some possible ecological impacts. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400 : 314-321.
- JEAN, M. et G. LÉTOURNEAU, 2011. Changements dans les milieux humides du fleuve Saint-Laurent de 1970 à 2002. Environnement Canada, Direction générale des sciences et de la technologie, Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau au Québec, Rapport technique n° 511, Montréal, 302 p.
- JEVREJEVA, S., J.C. MOORE, A. GRINSTED, A.P. MATTHEWS et G. SPADA, 2014. Trends and acceleration in global and regional sea levels since 1807. *Global and Planetary Change*, 113 : 11-22.
- JUNEAU, M.-N., 2012. Hausse récente du niveau marin relative aux Îles-de-la-Madeleine. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 160 p.
- KOOHZARE, A., P. VANÍEK et M. SANTOS, 2008. Pattern of recent vertical crustal movements in Canada. *Journal of Geodynamics*, 45 : 133-145.
- LÉTOURNEAU, G. et M. JEAN, 2005. Cartographie par télédétection des milieux humides du Saint-Laurent (1990-1991). Environnement Canada, Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Rapport scientifique et technique ST-232, Montréal, 99 p.
- LINHOSS, A.C., G. KIKER, M. SHIRLEY et K. FRANK, 2015. Sea-level rise, inundation, and marsh migration: Simulating impacts on developed lands and environmental systems. *Journal of Coastal Research*, 31 : 36-46.
- LUCOTTE, M. et B. D'ANGLEJAN, 1986. Seasonal control of the St. Lawrence maximum turbidity zone by tidal-flat sedimentation. *Estuaries*, 9 : 84-94.
- MARIE, G., P. BERNATCHEZ, S. DUGAS, C. FRASER et S. DREJZA, 2014. Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral des MRC de La Mitis et de La Matanie et des municipalités de Cap-Chat et Sainte-Anne-des-Monts. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 73 p.
- MARTINEZ, L., G. MENDOZA-GONZÁLEZ, R. SILVA-CASARÍN et E. MENDOZA-BALDWIN, 2014. Land use changes and sea level rise may induce a "coastal squeeze" on the coasts of Veracruz, Mexico. *Global Environmental Change*, 29 : 180-188.
- MATHIEU, K., 2008. Évolution du marais de la baie de Kamouraska : l'effet de coïncidence. Essai de maîtrise professionnelle en biogéosciences de l'environnement, Université Laval, Québec, 51 p.
- MDDEFP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs), 2012. Gestion intégrée des ressources en eau : cadre de référence. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 36 p.
- MORISSETTE, A., 2007. Évolution côtière haute résolution de la région de Longue-Rive-Forestville, Côte Nord de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski, Rimouski, 303 p.
- MOUSSEAU, P., M. GAGNON, P. BERGERON, J. LEBLANC et R. SIRON, 1997. Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du golfe du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs. Ministère des Pêches et des Océans – Région Laurentienne, Division des sciences de l'environnement marin, Institut Maurice-Lamontagne et Environnement Canada, Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Rapport technique, Zones d'intervention prioritaires 19, 20 et 21, Montréal, 437 p.
- NFWF (National Fish and Wildlife Foundation), 2015. Hurricane Sandy Coastal Resiliency Competitive Grant Program. Disponible en ligne à : <http://www.nfwf.org/hurricanesandy/Pages/home.aspx#.VNkAZmiG98E>. [Visité le 15-12-01].
- NICHOLLS, R.J. et A. CAZENAVE, 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328 : 1517-1520.
- NICHOLLS, R.J., F.M.J. HOOZEMANS et M. MARCHAND, 1999. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: Regional and global analyses. *Global Environmental Change*, 9 : 69-87.
- NICHOLLS, R. J., S. HANSON, C. HERWEIJER, N. PATMORE, S. HALLEGATTE, J. CORFEE-MORLOT, J. CHATEAU et R. MUIR-WOOD, 2008. Ranking port cities with high exposure and vulnerability to climate extremes: Exposure estimates. OECD Environment Working Papers, No. 1, OECD Publishing, Paris. doi:10.1787/011766
- PETHICK, J., 2001. Coastal management and sea-level rise. *Catena*, 42 : 307-322.
- PONTEE, N., 2013. Defining coastal squeeze: A discussion. *Ocean & Coastal Management*, 84 : 204-207.
- QUINTIN, C. 2010. Effets des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux du barachois de la rivière Nouvelle, baie des Chaleurs, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 103 p.
- RAHMSTORF, S., G. FOSTER et A. CAZENAVE, 2012. Comparing climate projections to observations up to 2011. *Environmental Research Letters*, 7 : 1-5.
- SCHILE, L.M., J.C. CALLAWAY, J.T. MORRIS, D. STRALBERG, V.T. PARKER et M. KELLY, 2014. Modeling tidal marsh distribution with sea-level rise: Evaluating the role of vegetation, sediment, and upland habitat in marsh resiliency. *PLoS ONE* 9(2): e88760. doi:10.1371/journal.pone.0088760.
- SCHLEUPNER, C., 2008. Evaluation of coastal squeeze and its consequences for the Caribbean island Martinique. *Ocean & Coastal Management*, 51 : 383-390.

- SENNEVILLE, S., S. ST-ONGE DROUIN, D. DUMONT, A.-C. BIHAN-POUDEC, Z. BELEMAALEM, M. CORRIVEAU, P. BERNATCHEZ, S. BÉLANGER, S. TOLSZCZUK-LECLERC et R. VILLENEUVE, 2014. Modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans la perspective des changements climatiques. Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec, ISMER-UQAR, Rimouski, 384 p.
- SILVERBERG, N. et B. SUNDBY, 1979. Observations in the turbidity maximum of the St. Lawrence estuary. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 16: 939-950.
- SLANGEN, A.B.A., C.A. KATSMAN, R.S.W. VAN DE WAL, L.L.A. VERMEERSEN et R.E.M. RIVA, 2012. Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios. *Climate Dynamics*, 38: 1191-1209.
- TORIO, D.D. et G.L. CHMURA, 2013. Assessing coastal squeeze of tidal wetlands. *Journal of Coastal Research*, 29: 1049-1061.
- TROUDE, J.P. et J.B. SÉRODES, 1985. Régime morpho-sédimentologique d'un estran à forte sédimentation dans l'estuaire du Saint-Laurent. *Proceedings of the Canadian Coastal Conference 1985*, National Research Council, Ottawa, p. 105-119.
- UICN FRANCE (Union internationale pour la conservation de la nature), 2013. Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France - volume 2.2 : les écosystèmes marins et côtiers. UICN, Paris, 28 p.
- VERMEER, M. et S. RAHMSTORF, 2009. Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 21527-21532.
- WONG, P.P., I.J. LOSADA, J.-P. GATTUSO, J. HINKEL, A. KHATTABI, K.L. MCINNES, Y. SAITO et A. SALLENGER, 2014. Coastal systems and low-lying areas. Dans: FIELD, C.B., V.R. BARROS, D.J. DOKKEN, K.J. MACH, M.D. MASTRANDREA, T.E. BILIR, M. CHATTERJEE, K.L. EBI, Y.O. ESTRADA, R.C. GENOVA, B. GIRMA, E.S. KISSEL, A.N. LEVY, S. MACCRACKEN, P.R. MASTRANDREA, et L.L. WHITE (édit.). *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge et New York, p. 361-409.

La faune, notre mission, notre passion.

Depuis 1987, la Fondation de la faune a soutenu plus de **5 000 projets** visant à protéger, améliorer et valoriser des milieux naturels essentiels à la faune dans toutes les régions du Québec : un investissement de **70 millions de dollars** pour la biodiversité du Québec !

➤ Consultez nos programmes d'aide : fondationdelafaune.qc.ca



Recharge en sable et revégétalisation de 2 plages de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec

Étienne Bachand et Sophie Comtois

Résumé

En 2012, le comité ZIP (Zone d'intervention prioritaire) du Sud-de-l'Estuaire a réalisé 2 projets de recharge en sable sur des plages du Bas-Saint-Laurent. C'est respectivement 275 m³ et 295 m³ de sédiments qui ont été déposés sur une plage de Sainte-Flavie et de Rivière-Ouelle. Les recharges en sable étaient accompagnées d'une revégétalisation à l'aide d'espèces indigènes possédant une forte capacité de rétention des sols. Ces techniques souples de restauration des berges s'appuient sur le principe de la dynamique naturelle des écosystèmes côtiers pour atténuer les effets de l'érosion littorale et diminuer les dégâts liés à la submersion marine. Sur chacun des sites, 100 m linéaires de plage ont été restaurés pour une fraction (453 \$/m linéaire) des coûts nécessaires à la construction d'un enrochement (7 000 \$/m linéaire). Après 3 années de suivi, on a noté un engraissement et un élargissement des plages ainsi qu'un développement rapide des végétaux dans le milieu. La restauration des écosystèmes littoraux est une solution durable, écologique, peu coûteuse et accessible aux communautés côtières.

MOTS CLÉS : aléas côtiers, élyme des sables, érosion, plantation, restauration

Abstract

In 2012, the Sud-de-l'Estuaire ZIP (Zones d'intervention prioritaire — Areas of Prime Concern) Committee conducted 2 beach replenishment projects in the Bas-Saint-Laurent region (Québec, Canada). Approximately 275 m³ of sediment were deposited on the beach at Sainte-Flavie, and 295 m³ at Rivière-Ouelle. This was followed by revegetation work, using native plants with a high substrate retention capacity. This soft habitat restoration technique relies on the natural dynamics of coastal ecosystems to reduce erosion and protect infrastructures from flooding. At each site, 100 linear m of beach were restored for a fraction of the costs (\$453/m) that would have been required to construct a rock seawall (\$7,000/m). The restored beaches were monitored for 3 years. During this period, the beach profiles increased in height and length, and the plants that were used rapidly colonized the sites. This shows that soft approaches to coastal ecosystem restoration can offer durable, ecological and low-cost solutions for coastal communities.

KEYWORDS: American dune grass, coastal restoration, coastal risk, erosion, plantation

Introduction

La tempête du 6 décembre 2010 a laissé des marques dans le paysage côtier du Québec maritime, notamment au Bas-Saint-Laurent (Quintin et collab., 2013). La solution habituellement envisagée en réaction aux aléas côtiers (submersion et érosion) consiste à ériger des structures de protections rigides (murs, enrochements, déflecteurs de vagues) qui procurent un sentiment illusoire de sécurité et de durabilité (Friesinger et Bernatchez, 2010). En plus d'être coûteuse aux plans économique et environnemental, cette technique peut avoir des conséquences négatives sur le littoral en dégradant les plages (abaissement, rétrécissement, voire disparition) et en augmentant le risque de submersion (Bernatchez et collab., 2011; Bernatchez et Fraser, 2012).

Le Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, en partenariat avec 2 municipalités côtières du Bas-Saint-Laurent, a voulu expérimenter une technique alternative de protection côtière. Deux projets pilotes de recharge en sable ont été réalisés sur une plage de Sainte-Flavie et de Rivière-Ouelle. La recharge en sable consiste à ajouter du matériel au système côtier en érosion. Une plage plus large et rehaussée possède une meilleure capacité de dissipation de l'énergie des vagues, ce qui permet de réduire les dommages engendrés par des tempêtes

et de protéger les infrastructures adjacentes (Bird et Lewis, 2015). La recharge peut s'accompagner d'une revégétalisation dont le principe consiste à utiliser les végétaux pour capter et stabiliser les sédiments ajoutés. Au Québec, le recours à cette méthode reste encore marginal. Le manque de connaissances concernant le fonctionnement et la mise en œuvre des recharges, l'entretien récurrent requis, les investissements nécessaires et le doute quant aux résultats escomptés peuvent expliquer la réticence de la population à se tourner vers les techniques souples comme solution aux problématiques côtières. Pourtant, des analyses coûts-avantages rapportent que les structures de protections rigides se révèlent globalement

Étienne Bachand possède une maîtrise en géographie réalisée au sein de la chaire en géoscience côtière de l'Université du Québec à Rimouski et travaille au comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire depuis 2010 sur des projets de sensibilisation et de restauration d'habitats côtiers.

Sophie Comtois est titulaire d'une maîtrise en océanographie de l'Institut des Sciences de la Mer de Rimouski. Elle est chargée de projet au comité ZIP depuis 2 ans et coordonne un projet de restauration d'habitat côtier et de sensibilisation auprès des riverains.

bachand.zipse@globetrotter.net

moins avantageuses que des options plus souples comme les recharges de plage (Tecsult, 2008; Circé et collab., 2015).

Les travaux de restauration effectués par le Comité ZIP sur les plages de Sainte-Flavie et de Rivière-Ouelle avaient pour but de :

1. proposer des méthodes de protection côtière alternatives aux structures rigides;
2. illustrer les avantages et les bienfaits de la recharge en sable combinée à une revégétalisation comme technique souple d'atténuation de l'érosion et de la submersion côtière;
3. documenter et faire connaître aux communautés côtières les étapes de mise en œuvre des recharges en sable accompagnées de revégétalisation;
4. démontrer l'accessibilité de telles mesures d'atténuation des risques côtiers aux petites municipalités.

Localisation et description des sites

Les 2 sites à l'étude sont localisés le long de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent, dans la région du Bas-Saint-Laurent (figure 1). Selon l'évolution historique récente, ces sites ont subi un recul persistant depuis le début des années 2000 (Bachand, 2012a, b). Lors de la tempête du 6 décembre 2010, la côte fut submergée et ensevelie de débris ligneux à Rivière-Ouelle, alors qu'une forte érosion fut constatée à Sainte-Flavie.

Rivière-Ouelle

Située dans l'estuaire moyen, la plage des Jésuites s'étire sur 100 m linéaires au fond d'une petite anse encaissée entre 2 affleurements rocheux (figure 1a). L'arrière-plage (figure 2), partiellement végétalisée, est limitée par le chemin des Jésuites situé à quelques mètres au sud de la ligne de rivage (figures 1a, 3a, b). Une microfalaise active et de nombreux débris de tempête marquent la ligne de rivage. À l'ouest du site, la côte est rocheuse, naturelle et végétalisée. À l'est, elle est artificialisée avec un muret de béton vertical ayant entraîné un rétrécissement de la portion est de la plage des Jésuites (effet de bout). Le courant de dérive littorale local engendre un transit sédimentaire net le long de la côte du nord-est vers l'ouest-sud-ouest (Drejza et collab., 2014).

L'orientation nord-est des affleurements rocheux encadrant la plage expose la rive aux vagues de tempête provenant de ce secteur, mais la protège des vagues du nord-ouest. Les affleurements peuvent aussi faire obstacle à la dérive littorale, favorisant la sédimentation d'une partie du matériel en transits sur la plage.

Sainte-Flavie

Située dans l'estuaire maritime, la plage de la halte marine du Gros-Ruisseau s'étend sur 100 m (figure 1b). Elle est bordée par le Gros-Ruisseau à l'est et par un petit ruisseau de drainage à l'ouest. Une microfalaise d'érosion d'une hauteur moyenne de 0,5 m caractérise la ligne de rivage sur l'ensemble du secteur. L'étroite arrière-plage, limitée par la route 132, a été aménagée par la municipalité (halte routière) (figures 3c, d). On trouve

une plateforme rocheuse sous la flexure. Une avancée rocheuse à environ 150 m au nord-ouest du site limite l'impact des vagues de cette provenance. Cependant, la plage est pleinement exposée aux vagues de tempête arrivant du nord-est. L'exutoire du Gros-Ruisseau est un agent d'érosion supplémentaire qui affecte particulièrement la portion est du secteur et qui agit surtout en période de crue et de grandes marées (figure 1b). La dérive littorale induit un mouvement net des sédiments du nord-est vers l'ouest-sud-ouest (Drejza et collab., 2014).

Méthode

Recharge en sable

Les travaux de recharge en sable comprennent le transport, l'aménagement, le nivellement et le compactage des sédiments sur la haute plage (figures 2 et 3). Avant le début des travaux, les demandes d'autorisation ont été effectuées auprès des autorités responsables (municipale, provinciale, fédérale).

Les travaux ont été réalisés à marée basse, au printemps 2012, soit les 9 et 10 mai à Rivière-Ouelle et les 28 et 29 mai à Sainte-Flavie (Bachand 2013a, b). L'exécution des travaux, effectués par un entrepreneur local dans le cas de Rivière-Ouelle et par la municipalité à Sainte-Flavie, nécessitait de la machinerie lourde restreinte au-delà de la limite des pleines mers supérieures de grandes marées (PMSGM, figure 2). Un nettoyage grossier du site avant la mise en place des sédiments a permis d'éliminer les gros débris. Les sédiments utilisés pour le rechargement doivent être exempts de polluants ou contaminants et posséder une granulométrie similaire ou légèrement plus élevée que celle des sédiments présents sur la haute plage. Deux bancs d'emprunts à proximité des sites ont fourni 295 m³ et 275 m³ de matériaux pour, respectivement, Rivière-Ouelle et Sainte-Flavie.

Revégétalisation

L'élyme des sables d'Amérique (*Leymus mollis* ssp. *Mollis*) a été ciblée pour la plantation. Cette espèce indigène résistante aux aléas côtiers possède un système racinaire étendu qui contribue à stabiliser les sols (Juneau et collab., 2012).

La pose d'un filet stabilisateur biodégradable sur la partie supérieure de la recharge sédimentaire a servi à stabiliser cette dernière pendant la période nécessaire à l'implantation des végétaux (1 à 2 ans) (figure 3b, d). Les semis d'élyme provenaient des Jardins de Métis, un organisme local. Ils ont été plantés en quinconce et séparés d'au plus 0,25 m afin d'obtenir une densité moyenne de 15 plants/m². Les plants ont été disposés 1 à 2 m en amont de la ligne de rivage, ce qui offrait une marge de sécurité pour protéger la nouvelle plantation d'un éventuel événement de tempête. Au total, 4 500 semis furent plantés à Rivière-Ouelle et 2 800 à Sainte-Flavie. Les plantations ont été arrosées abondamment immédiatement après les travaux et au besoin au cours de l'été 2012 (Bachand 2013a, b).

Suivi

L'acquisition de données topographiques a été effectuée avant et après les travaux (2011 à 2015), le long de 5 profils de plage perpendiculaires à la côte (figures 1a, b). Les levés

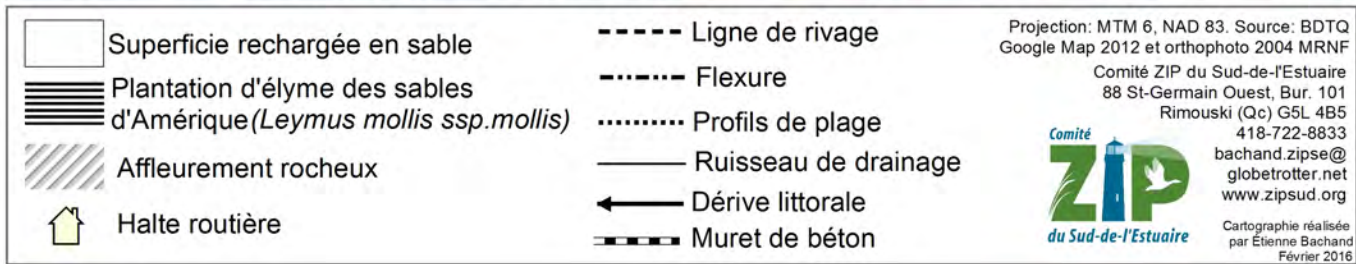
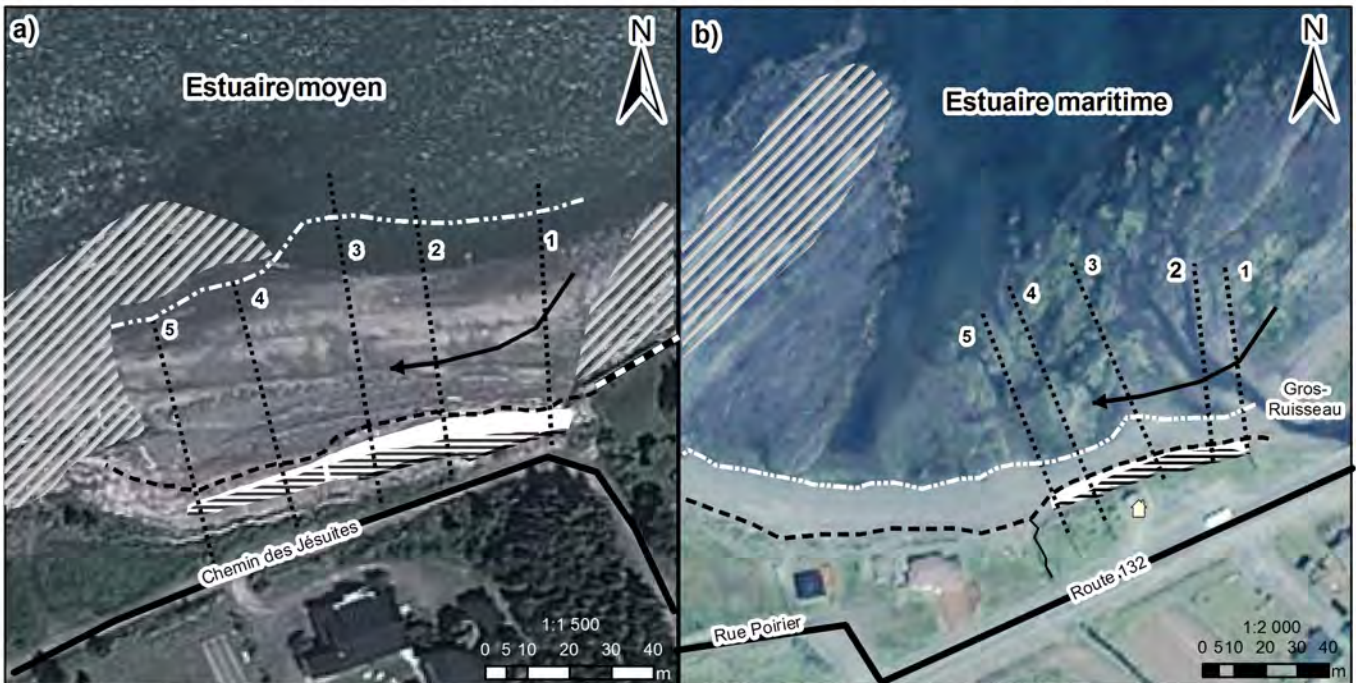
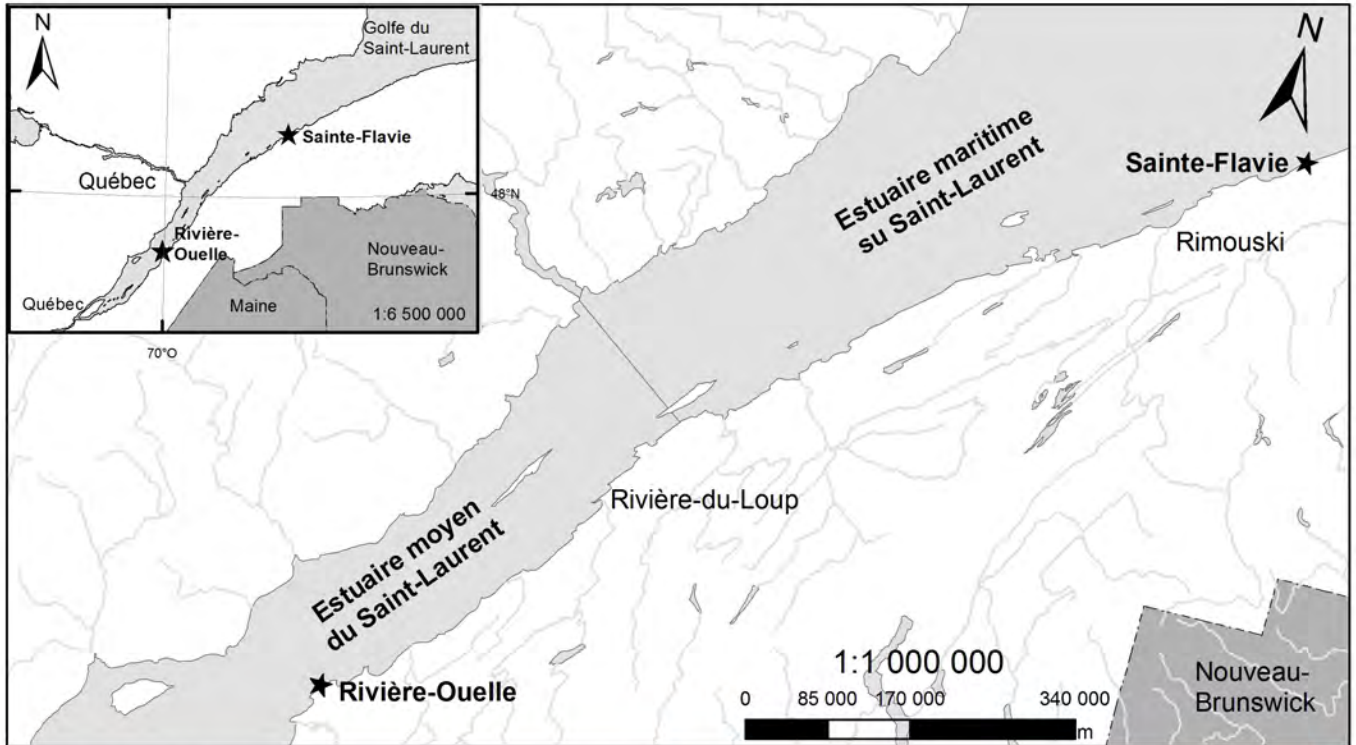


Figure 1. Localisation des plages de a) Rivière-Ouelle et b) Sainte-Flavie sur la côte sud de l'estuaire du Saint-Laurent.

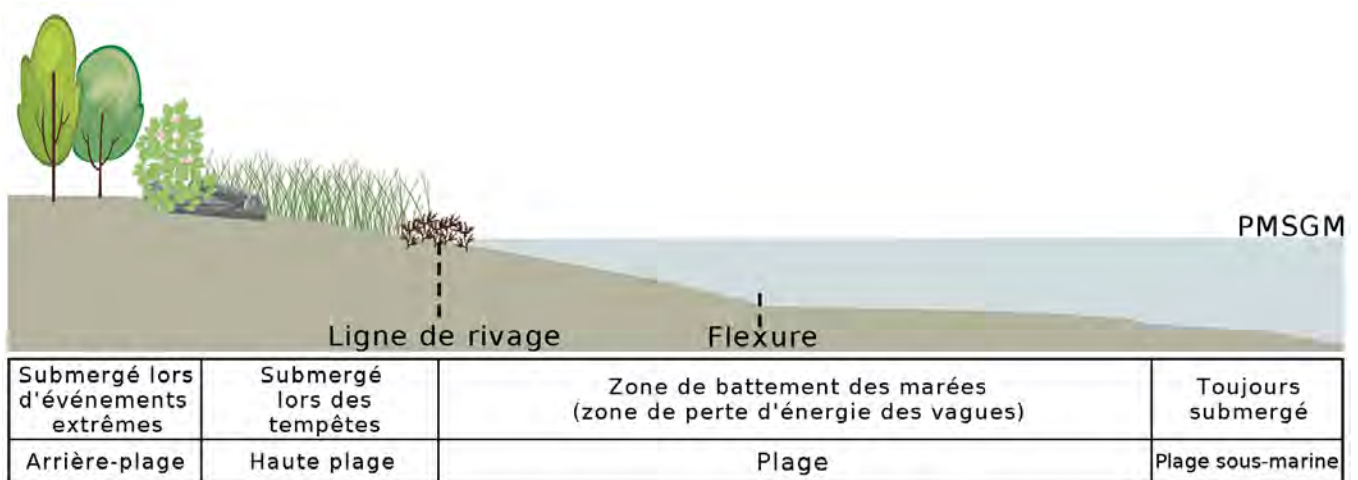


Figure 2. Profil type de plage, nomenclature associée et localisation de la ligne de rivage, de la limite des pleines mers supérieures des grandes marées (PMSGM) et de la flexure.



Figure 3. Plage de Rivière-Ouelle avant A) et après B) les travaux de restauration. Plage de Sainte-Flavie avant C) et après D) les travaux de restauration. La ligne de rivage, qui correspond aussi à la fin de la recharge (B et D), est indiquée en pointillé (source: Comité Zip du Sud-de-l'Estuaire).

ont été effectués à l'aide d'un laser rotatif automatique, d'une règle graduée munie d'un récepteur laser et d'un ruban gradué de 60 m. La comparaison des profils ainsi obtenus permet de suivre l'évolution de la largeur de plage (distance entre un point fixe localisé en amont de la recharge et la flexure), de la ligne de rivage (distance entre un point fixe en amont de la recharge et la ligne de rivage) et du volume sédimentaire. Les volumes sédimentaires sont obtenus en calculant l'aire sous la courbe (en m²) des profils topographiques (entre un point fixe localisé en amont de la recharge et la flexure) multipliée par 1 m afin d'obtenir des volumes.

Le suivi de la plantation consistait en un dénombrement des plants à l'intérieur de 5 quadrats (1 m²) positionnés aléatoirement dans la plantation.

Une compilation détaillée des sommes engagées dans la réalisation des travaux de restauration pour chacun des sites a permis de calculer le coût moyen par mètre linéaire de côte.

Résultats

À Rivière-Ouelle, les largeurs moyennes de la plage obtenues entre 2013 et 2015 (67,4 m, 68,9 m et 68,3 m respectivement) étaient très similaires à celles mesurées avant la recharge (68,8 m en 2011 : figure 4a). La plus faible valeur de largeur moyenne de plage (62,3 m) a été obtenue après les travaux de restauration, en 2012. À Sainte-Flavie, la largeur moyenne de la plage est passée de 19,5 m en 2011 à 23,4 m en 2012, après le rechargement (figure 4d). Entre 2013 et 2015, cet élargissement est demeuré relativement stable (25,2 m, 24,1 m et 25,7 m respectivement). À la suite de la recharge, le profil le plus court mesuré annuellement à Sainte-Flavie s'est généralement élargi et l'écart entre les extrêmes s'est réduit, sauf en 2013.

La distance moyenne de la ligne de rivage mesurée à Rivière-Ouelle a augmenté progressivement chaque année, sauf en 2013 où un recul fut noté (figure 4b). Un patron similaire fut observé à Sainte-Flavie (figure 4e).

À Rivière-Ouelle, le volume total mesuré a diminué entre 2011 (687,3 m³) et 2012 (639,1 m³). L'augmentation la plus marquée a été observée entre 2012 et 2013 (726,9 m³) et s'est poursuivie ensuite (745,3 m³ en 2014 et 751,8 m³ en 2015; figure 4c). À Sainte-Flavie, le volume sédimentaire total a augmenté de façon notable après la recharge (129,7 m³ en 2011 versus 187 m³ en 2012). Cette hausse du volume sédimentaire total a persisté de 2013 à 2015 (182,2 m³, 186,8 m³ et 193,5 m³ respectivement; figure 4f). Il est à noter que la variabilité interannuelle des volumes sédimentaires des profils pris individuellement fut beaucoup plus grande que la tendance générale.

À la suite de la plantation, une densité moyenne de 15 tiges/m² (moyenne des 5 quadrats échantillonnés) a été obtenue à Rivière-Ouelle et de 14 tiges/m² pour Sainte-Flavie. L'été suivant, les densités moyennes atteignaient 49 tiges/m² et 60,5 tiges/m² respectivement (détail des résultats non présentés).

La restauration des 2 sites a nécessité un investissement total de 90 500 \$, ou 453 \$/m linéaire de côte restaurée. Les salaires ont représenté environ la moitié de cet investissement. Un montant prévisionnel alloué à la réalisation de recharges d'entretien futures a également été considéré dans le bilan financier (tableau 1).

Discussion

Les plages naturelles sont d'excellents systèmes de défense côtière. Elles contribuent à la protection des côtes, notamment en réduisant l'impact érosif des vagues et en

Tableau 1. Budget détaillé de la réalisation des travaux de recharge en sable et végétalisation pour les plages de Sainte-Flavie et de Rivière-Ouelle.

	Poste budgétaire	Rivière-Ouelle	Sainte-Flavie	
Salaires et traitement	Recherche, caractérisation, demande de certificat d'autorisation	8 405 \$	8 405 \$	
	Préparation et mise en œuvre des travaux de restauration	7 778 \$	7 593 \$	
	Main-d'œuvre plantation	592 \$	777 \$	
	Suivi des travaux	4 255 \$	4 255 \$	
	Total salaires et traitement	21 030 \$	21 030 \$	42 060 \$
Matériel et déplacement	Déplacements	3 540 \$	3 540 \$	
	Certificat autorisation – MDDELCC	538 \$	538 \$	
	Sédiments	5 485 \$	5 030 \$	
	Machinerie et transport	1 200 \$	3 000 \$	
	Végétaux	4 805 \$	4 250 \$	
	Filet stabilisateur	765 \$	750 \$	
	Entretien	7 500 \$	7 500 \$	
	Total matériel et déplacement	23 833 \$	24 608 \$	48 441 \$
Grand total		44 863 \$	45 638 \$	90 501 \$
Total par mètre linéaire de côte (\$/m)		449 \$	456 \$	453 \$

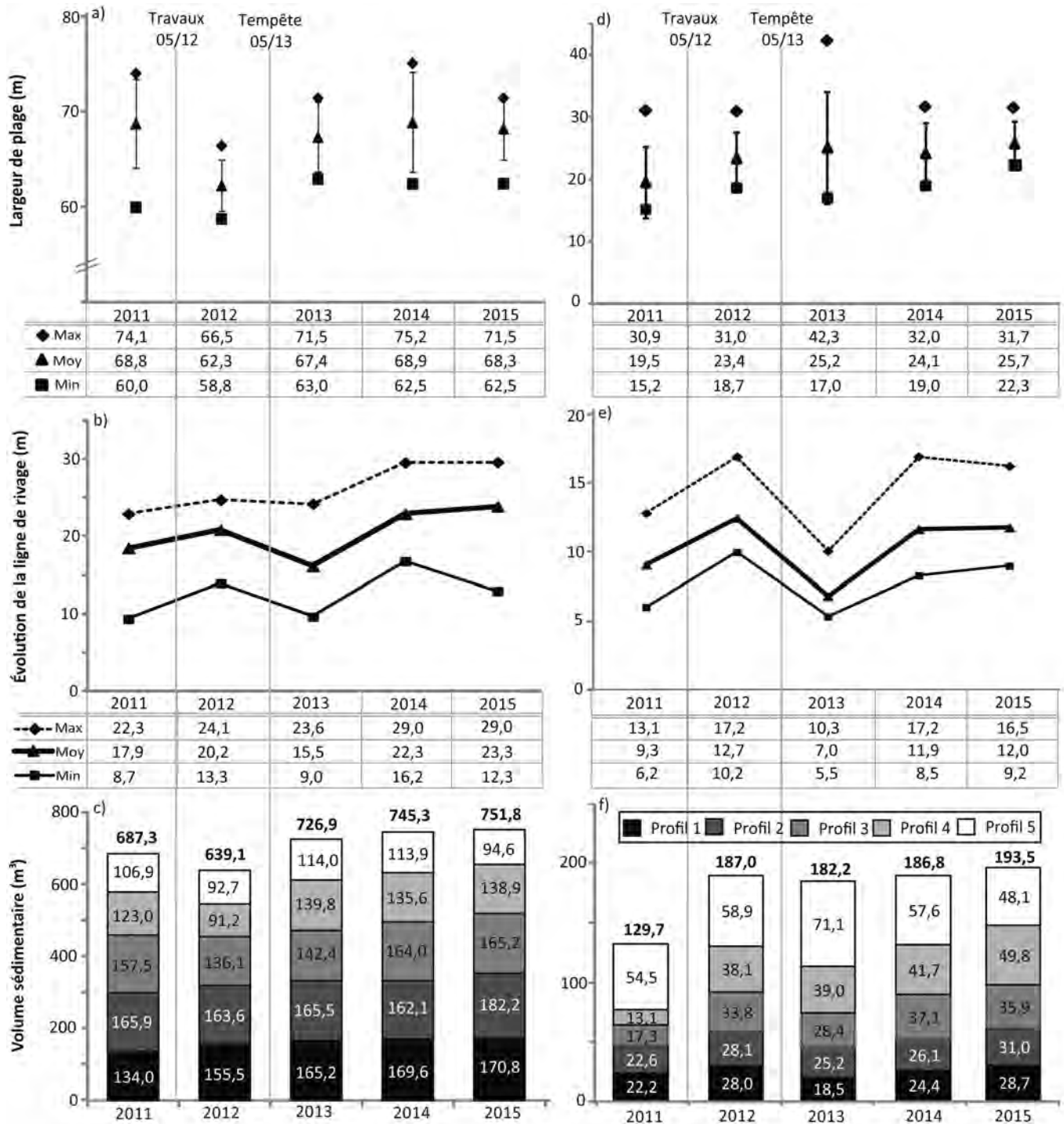


Figure 4. Largeur de plage, évolution de la ligne de rivage et volumes sédimentaires par profil pour a), b) et c) Rivière-Ouelle et d), e) et f) Sainte-Flavie. Pour les volumes sédimentaires, le total annuel est écrit en gras et détaillé par profil dans la colonne sous-jacente. Le moment des travaux de restauration et d'un évènement de tempête important est désigné par une ligne grise sur la figure.

limitant les risques de submersion côtière (Bird et Lewis, 2015). Les plages sont de nature dynamique, constamment modulées par les conditions hydrodynamiques (vague, marée, courant) sans cesse changeantes. Leur évolution morphologique est donc cyclique, alternant entre des périodes d'accumulation et des périodes d'érosion, lors d'évènements de tempêtes ou lorsque les conditions environnementales sont plus dynamiques (Paskoff, 2012; Bird et Lewis, 2015). La stabilité des plages dépend fortement du bilan sédimentaire. Lorsqu'une plage se trouve en déficit sédimentaire, sa capacité de résilience diminue (Paskoff, 2012).

Les recharges en sable visent à corriger le déficit sédimentaire d'une plage (Dean, 2002; Bird et Lewis, 2015). Cette technique de protection côtière souple tient compte de la réponse des plages aux conditions hydrodynamiques plutôt que de chercher à figer la ligne de rivage à la manière des structures rigides (Bernatchez et collab., 2011; Paskoff, 2012). Les sédiments ajoutés sur la haute plage et l'arrière-plage seront redistribués sous l'effet des conditions hydrodynamiques afin de favoriser un élargissement ou un rehaussement de la zone de perte d'énergie des vagues (figure 2 : Dean, 2002; Bird et Lewis, 2015). La recharge en sable favorise donc la capacité de résilience côtière tout en conservant l'état naturel des plages et, conséquemment, leurs valeurs esthétiques et récréotouristiques.

La largeur de la plage, le déplacement de la ligne de rivage et le volume sédimentaire sont de bons indicateurs de la dynamique côtière (Bernatchez et collab., 2011; Bernatchez et Fraser, 2012). Un élargissement ou un rehaussement de la plage ainsi que la migration de la ligne de rivage vers la mer sont des indices d'un système en accumulation tandis que des résultats inverses laissent présager un système côtier en érosion. Globalement, les résultats du suivi de l'évolution côtière montrent une amélioration de la plupart des indicateurs pour les 2 plages à la suite des travaux de restauration. Toutefois, les 2 sites n'ont pas réagi de la même façon au rechargement en sable. La plage de Sainte-Flavie est beaucoup plus étroite et exposée que celle de Rivière-Ouelle. Ces différences majeures dans la configuration des systèmes côtiers à l'étude pourraient expliquer les divergences constatées lors du suivi.

À Sainte-Flavie, la mise en place de la recharge explique la hausse initiale de tous les indicateurs mesurés en 2012. Cet élargissement initial de la plage s'est maintenu, voire s'est poursuivi légèrement par la suite, sauf en 2013. À Rivière-Ouelle, un signal similaire était attendu. Cependant, seule la ligne de rivage a montré des signes positifs (avancée) en 2012 par rapport à 2011. Il est possible qu'une combinaison de conditions hydrodynamiques couplée à un couvert de glace limité ait occasionné un transport sédimentaire et causé la réduction de la largeur de la plage et du volume sédimentaire entre les suivis de 2011 et 2012. La vérification de cette hypothèse aurait nécessité un suivi saisonnier plus régulier. Bien que la plage de Rivière-Ouelle ne se soit pas élargie 3 ans après les travaux de restauration, l'augmentation du volume sédimentaire et l'élargissement de la haute plage (indiqué par

la migration de la ligne de rivage vers la mer) suggèrent un rehaussement du système côtier.

Le 26 mai 2013, au moment des marées de vives-eaux, une dépression atmosphérique accompagnée de vents soufflants du nord-nord-est à des vitesses moyennes avoisinant les 40 km/h (avec des rafales à 61 km/h) a généré une onde de tempête dans l'estuaire (Environnement Canada, 2013). Cette combinaison de facteurs a provoqué le déferlement de vagues de forte envergure sur les recharges et les plantations d'élyme des sables. À Sainte-Flavie, cet évènement a entraîné une réduction de la haute plage (recul de la ligne de rivage) et produit un remaniement important des sédiments de la plage. Une partie du matériel a été transportée hors des limites du suivi de la plage (réduction du volume sédimentaire total) et un transport sédimentaire vers l'ouest, provoqué par la tempête, explique l'engraissement significatif des profils 4 et 5 au détriment des profils 1 et 2. Malgré cela, les indicateurs mesurés montrent tous des signes de rétablissement dès 2014. À Rivière-Ouelle, l'onde de tempête s'est manifestée différemment. Des signes de submersion et d'érosion ont été constatés sur le terrain, ce qui explique d'ailleurs le recul de la ligne de rivage. Cependant, les affleurements rocheux orientés vers le nord-est ont probablement agi comme une barrière physique freinant le transport sédimentaire occasionné par les vagues de tempête et provoqué une accumulation sur la plage. Cela expliquerait l'augmentation du volume sédimentaire et de la largeur de plage obtenue en 2013.

Trois années après les travaux de restauration, les plages de Rivière-Ouelle et de Sainte-Flavie montrent donc des signes encourageants de rétablissement et une résilience face aux aléas côtiers. Cependant, l'ajout artificiel de sédiment n'est pas permanent et la source finit par se tarir. La pérennité de la restauration reste conditionnelle aux recharges de sable d'entretien qui, elles-mêmes, sont principalement dépendantes des évènements de tempête (Dean, 2002).

L'ajout de végétation indigène résistante aux aléas côtiers sur la recharge en sable permet de constituer un filet végétal qui participe à stabiliser les sédiments (Juneau et collab., 2012). Les bénéfices sur l'investissement ont été rapides. En un an, le nombre de tiges implantées a triplé. Malgré la perte du tiers de la plantation à Rivière-Ouelle lors de la tempête de mai 2013 (résultats non présentés), le site est maintenant complètement végétalisé et les traces de l'évènement ne sont presque plus visibles. La forte multiplication de l'élyme des sables d'Amérique permet d'affirmer que pour un effort minimal, les résultats sont remarquables et que la combinaison d'une telle plantation aux travaux de recharge en sable pourrait contribuer à réduire la fréquence des recharges d'entretien.

La période de réalisation des travaux de restauration semble être un facteur prépondérant dans la réussite d'un tel projet. Des rechargements réalisés tard en automne aux Escoumins (Écogénie, 2006) et à Clark City (Radio-Canada, 2016) sur la Côte-Nord ont été sérieusement altérés par les tempêtes hivernales quelque temps seulement après leur mise en place. La réalisation des travaux au printemps permettrait

aux sédiments de se stabiliser et aux végétaux de s'implanter suffisamment avant l'arrivée des conditions hydrodynamiques automnales et hivernales plus intenses (Bernatchez et collab., 2008). Les recharges effectuées en mai à Rivière-Ouelle et Sainte-Flavie semblent d'ailleurs avoir bien résisté et donnent d'excellents résultats.

Dans le choix d'une technique de protection des berges, les recharges en sable et les plantations sont souvent considérées comme coûteuses, surtout à cause de l'entretien requis ultérieurement. Pourtant, un enrochement nécessite un investissement de l'ordre de 7 000 \$/m linéaire (Roche, 2011). Avec un coût moyen au mètre linéaire de 453 \$, incluant un montant pour l'entretien, ces techniques souples sont définitivement beaucoup plus abordables pour les petites municipalités ou les regroupements de riverains.

Remerciements

Ce projet a été rendu possible grâce à une contribution du *Programme Interactions communautaires*, lié au Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, et mis en œuvre par les gouvernements du Canada et du Québec. Le comité ZIP tient à remercier les MRC de Kamouraska et de la Mitis ainsi que les municipalités de Sainte-Flavie et de Rivière-Ouelle pour leur participation au projet. De sincères remerciements aux lecteurs de l'article Antoine Morissette et Chantal Quintin. ◀

Références

- BACHAND, E. 2012a. Rapport de caractérisation, restauration de la plage de Jésusites. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, 26 p.
- BACHAND, E. 2012b. Rapport de caractérisation, restauration de la plage de la halte marine du Gros-ruisseau. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, 25 p.
- BACHAND, E. 2013a. Rapport des travaux et de suivi de la plage de Jésusites. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, 26 p.
- BACHAND, E. 2013b. Rapport des travaux et de suivi de la plage de la halte marine du Gros-ruisseau. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, 26 p.
- BERNATCHEZ, P. et C. FRASER, 2012. Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada. *Journal of Coastal Research*, 28: 1550-1566.
- BERNATCHEZ, P., C. FRASER, S. FRIESINGER, Y. JOLIVET, S. DUGAS, S. DREJZA et A. MORISSETTE, 2008. Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. LDGIZC, UQAR, Rimouski, 256 p.
- BERNATCHEZ, P., C. FRASER, D. LEFAIVRE et S. DUGAS. 2011. Integrating anthropogenic factors, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. *Ocean and Coastal Management*, 54: 621-632.
- BIRD, E et N. LEWIS, 2015. *Beach nourishment*. Springer, New York, 137 p.
- CIRCE, M., L. DA SILVA, X. MERCIER et F. MORNEAU, 2015. Analyses coûts-avantages d'options d'adaptation en zone côtière à Percé. Présentation PowerPoint. Disponible en ligne à : <http://ville.perce.qc.ca/wp-content/uploads/2015/03/MCirce1.pdf>. [Visité le 16-02-22].
- DEAN, R. G., 2002. *Beach nourishment: Theory and practice*. World Scientific, River Edge, 399 p.
- DREJZA, S., S. FRIESINGER, et P. BERNATCHEZ. 2014. Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : caractérisation des côtes, dynamique hydrosédimentaire et exposition des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion, Est du Québec, Volume I, Projet X008.1. LDGIZC, UQAR, Rimouski, 226 p. + annexes.
- ÉCOGÉNIE, 2006. Devis technique, Banc d'essai des Escoumins : rechargement et végétalisation du haut de plage, Municipalité des Escoumins, Projet 633. Écogénie, Québec, 6 p. + annexes.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2013. Données climatiques. Disponible en ligne à : <http://climat.meteo.gc.ca/>. [Visité le 16-02-01].
- FRIESINGER, S. et P. BERNATCHEZ, 2010. Perceptions of Gulf of St. Lawrence coastal communities confronting environmental change: Hazards and adaptation, Québec, Canada. *Ocean and Coastal Management*, 53: 669-678.
- JUNEAU, M-N., É. BACHAND et A. LELIÈVRE-MATHIEU, 2012. Restauration et aménagement du littoral. Guide de bonnes pratiques du Bas-Saint-Laurent. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, 40 p.
- PASKOFF, R., 2012. *Les littoraux; impact des aménagements sur leur évolution*. Armand Colin, Paris, 257 p.
- QUINTIN, C., P. BERNATCHEZ et Y. JOLIVET, 2013. Impacts de la tempête du 6 décembre 2010 sur les côtes du Bas-Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs. LDGIZC et Chaire de recherche en géoscience côtière, UQAR, Rimouski, Volume I, 48 p.; Volume II, 170 p.
- RADIO-CANADA, 2016. De nouveaux travaux d'ensablement dans le secteur de Clarke City. Disponible en ligne à : <http://ici.radio-canada.ca/regions/est-quebec/2016/02/09/005-ensablement-sept-iles-clarke-city-val-marguerite.shtml>. [Visité le 16-02-09].
- ROCHE, 2011. Analyse des solutions en érosion côtière dans la Baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine, Étude en hydraulique maritime, N° 61933. Roche, Québec, 219 p. + annexes.
- TECSULT, 2008. Analyse coûts-avantages de solutions d'adaptation à l'érosion côtière pour la Ville de Sept-Îles. TecSult, Montréal, 150 p.

 Les Presses de l'Université Laval

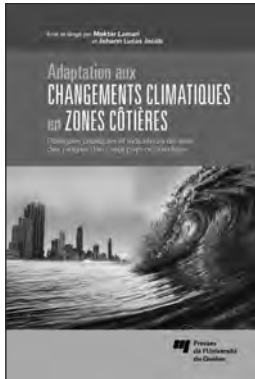
20 %
sur tout le catalogue
en entrant ce code
NATURCAN20

Valide jusqu'au 30 septembre 2016

www.pulaval.com

Les livres

Adaptations aux changements climatiques en zones côtières – Politiques publiques et indicateurs de suivi des progrès dans sept pays occidentaux



Le recul des rives de la Côte-Nord, qui a fait périodiquement les manchettes, et les spectaculaires marées de décembre 2010, qui ont ravagé l'est du Québec, l'illustrent: les côtes du Québec sont aussi vulnérables aux changements climatiques. Pour combler un « certain retard institutionnel ayant mené à l'ignorance par omission », divers organismes publics ont donné le mandat, à un groupe d'universitaires, de faire une revue des politiques publiques et des indicateurs de suivi des progrès relatifs aux adaptations

aux changements climatiques, afin de tracer la route à suivre au Québec. Ce groupe de chercheurs a choisi 6 pays de l'OCDE pour étudier les politiques en place et les indicateurs utilisés pour mesurer les progrès en adaptations aux changements climatiques: Royaume-Uni, Pays-Bas, France, États-Unis, Australie, Nouvelle-Zélande. En plus, il s'est penché sur la situation québécoise. L'étude comparative des pays a révélé que ce champ de connaissance et de gestion en était à ses balbutiements, et que le Royaume-Uni ainsi que la France étaient les 2 pays les plus avancés en la matière et les plus susceptibles d'inspirer une stratégie québécoise à mettre en place. Le Royaume-Uni s'illustre par la disponibilité de données historiques fiables ainsi qu'un cadre législatif clair, alors que l'implication et le soutien des communautés locales, en France, représentent un facteur facilitant important. De cette revue, les auteurs proposent un jeu d'indicateurs de suivi des progrès, pour le Québec, qui devrait être pris en compte lors de la confection des plans d'adaptations régionaux, prévus dans le *Plan d'action Saint-Laurent*, ainsi que dans l'élaboration de la *Politique québécoise de sécurité civile*. Ce livre s'adresse donc aux universitaires et aux experts œuvrant dans les organismes publics, ainsi qu'aux décideurs qui doivent approfondir leur réflexion afin de choisir les orientations judicieuses.

Lamari, Moktar et Johann Lucas Jacob (écrit et dirigé par), 2015, *Adaptations aux changements climatiques en zones côtières – Politiques publiques et indicateurs de suivi des progrès dans sept pays occidentaux*. Presses de l'Université du Québec, Québec, 434 pages. (Prix régulier = 40,00 \$; membres de la Société = 32,80 \$*)

Source: Michel Crête

L'art d'imiter la nature – Le biomimétisme



Le biomimétisme est une discipline émergente qui se situe à l'interface de la biologie, du génie et du design. Ce qui le caractérise est la recherche systématique, dans la nature, de solutions à des problèmes humains, que ce soit pour créer de nouveaux produits, de nouveaux procédés industriels ou des formes d'organisation. Le biomimétisme représente également une philosophie

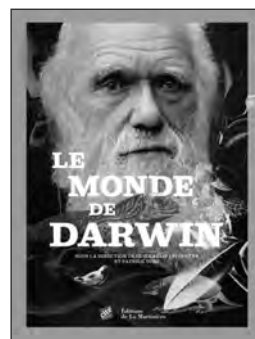
de vie, qui appelle une reconnexion avec la nature pour vivre en harmonie avec celle-ci. Le biomimétisme compte suffisamment d'adeptes pour organiser des symposiums internationaux et certaines universités s'intéressent à la discipline. Le livre rédigé par Andrée Mathieu et Moana Lebel se veut une introduction au concept de biomimétisme pour le lectorat francophone. La première partie du livre démontre pourquoi les sociétés humaines devraient fonctionner en s'inspirant de la nature: celle-ci utilise l'énergie solaire, n'emploie que l'énergie nécessaire, adapte la forme à la fonction, recycle tout, favorise la coopération, etc. La deuxième partie du livre, qui en forme le cœur, illustre les stratégies et les structures que les organismes vivants ont développées pour se perpétuer, avec de nombreux exemples d'applications dans nos sociétés. Les auteurs y décrivent les techno-trucs développés par la nature dans 18 domaines, avec leurs applications pratiques pour l'Homme. Par exemple dans le chapitre qui traite du déplacement dans l'air, on apprend que les plumes du bout de l'aile des vautours, ces rémiges retroussées vers le haut, diminuent la résistance de l'air, rendant le vol plus économique. Et n'avez-vous pas remarqué avec curiosité, en montant à bord, que les avions modernes possèdent des ailes avec l'extrémité retroussée vers le haut? C'est pour la même raison: économiser du carburant! La dernière partie du livre amène une vision holistique du biomimétisme, en promouvant une organisation sociale inspirée de la nature, des écosystèmes, de la biodiversité. Il s'agit d'un livre moderne, richement illustré, contenant de nombreux renvois à des vidéos disponibles en ligne. C'est un livre accessible à un large public et qui intéressera celles et ceux qui s'interrogent au sujet du développement durable et de la place que l'Homme devrait occuper dans la biosphère.

Mathieu, Andrée et Moana Lebel, 2015, *L'art d'imiter la nature – Le biomimétisme*. Éditions MultiMondes, Québec, 176 pages.

(Prix régulier = 29,95 \$; membres de la Société = 27,55 \$*)

Source: Michel Crête

Le monde de Darwin



Il n'y a que quelques scientifiques dont la réputation a survécu au temps qui passe, qui sont universellement connus et dont les théories demeurent encore influentes plus de 200 ans après leur naissance: Charles Darwin est l'un d'eux. Sa proposition, dans *De l'origine des espèces*, un livre paru en 1859, que toutes les espèces vivantes ont évolué, au cours du temps, à partir d'un ou quelques ancêtres communs – la théorie de l'évolution – reste encore aujourd'hui le fondement de la biologie moderne. Le Muséum national d'Histoire naturelle, en collaboration avec Universcience, a inauguré à Paris, à l'automne 2015, une exposition pluriannuelle intitulée: Darwin, l'original. *Le monde de Darwin* représente le catalogue de cette exposition qui vise à « faire entrer les visiteurs dans la tête de Darwin ».

Les 2 scientifiques qui ont dirigé l'ouvrage, Lecointre et Tort, possédaient toutes les qualifications pour produire une œuvre de haute qualité: le premier est professeur et chercheur en systématique et en évolution au Muséum, avec plus de 100 publications à son

actif et 13 livres, le second est directeur de l'Institut Charles Darwin et chercheur au même endroit, auteur de près de 50 livres, avec notamment un intérêt pour l'histoire des sciences biologiques. Le but de l'exposition et du livre n'est pas tant de décrire en détail la théorie darwinienne et son actualité, que d'explorer le contexte de sa naissance, des luttes idéologiques qu'elle a provoquées et qu'elle provoque encore aujourd'hui, ainsi que de l'influence qu'elle a eue dans le domaine artistique. Le livre se compose de 9 sections, possède une facture moderne, bien aérée, et il est illustré de nombreuses peintures et photos. Au 19^e siècle, le créationnisme et le fixisme représentaient des dogmes en vigueur depuis des centaines d'années, dogmes que la théorie de l'évolution allait révolutionner. Charles Darwin, que son père destinait à la médecine, une tradition dans la famille, a habilement su amadouer son tempérament autoritaire pour pouvoir recevoir une éducation adaptée à ses passions, les collections de toutes sortes, les sciences naturelles, en particulier la géologie. Son tour du monde en 5 ans (1831-1836), et les observations qu'il fit sur la faune et la flore de l'hémisphère sud, en plus de ses relevés géologiques, furent la base sur laquelle il échauffa la théorie de l'évolution. Bien sûr, il subit également l'influence de ses maîtres et de certains scientifiques de son époque. Ce n'est toutefois qu'en 1859 que le fruit fut mûr et qu'il publia son célèbre livre : *De l'origine des espèces*. Bien qu'il usât de tout son talent pour éviter la controverse, elle éclata rapidement. Au milieu de la controverse, Darwin adopta toujours une attitude respectueuse et calme. Il fit notamment l'objet de nombreuses caricatures peu élogieuses de la part de ses détracteurs alors que d'autres déformèrent sa théorie pour supporter, par exemple, l'eugénisme, le racisme et le sexisme. Sa théorie influença les artistes de l'époque, écrivains, peintres et architectes. Malgré la controverse, la théorie de l'évolution reçut l'approbation de la communauté scientifique du vivant de Darwin alors qu'il fallut attendre les années 1930 pour que sa théorie sur la sélection naturelle reçoive la même acceptation.

Ce livre captivera ceux et celles qui s'intéressent au cadre social dans lequel a vécu Darwin et aux divers effets que sa théorie a eus, et a toujours, sur la société, sans compter que l'ouvrage fait découvrir la personnalité de ce fameux scientifique.

Lecoindre, Guillaume et Patrick Tort (sous la direction de), 2015, *Le monde de Darwin*. Éditions de la Martinière, Paris, 192 pages. (Prix régulier = 59,95 \$; membres de la Société = 49,15 \$*)

Source : Michel Crête

Curieuses histoires de plantes du Canada, tome 2



Deux botanistes et un historien ont uni leurs efforts pour retracer les mentions de plantes canadiennes disséminées dans les écrits historiques et les mettre en contexte. Leur travail gigantesque couvre la période allant des premières visites des Vikings à Terre-Neuve, vers l'an 1000, à la fin du Régime français en Nouvelle-France. Ce second tome porte sur des documents répertoriés entre la décennie 1670 et 1758. Le livre prend

la forme de 29 histoires, des genres de chapitres, présentées par ordre chronologique. Par exemple, une histoire résume le récit du voyage que le botaniste français Dièreville fit en Acadie en 1699 et 1700. On y apprend notamment que ce botaniste, qui a donné son nom à un genre de plante, a bu de la limonade à l'eau d'érable durant son séjour et qu'il y décrit en détail comment les Amérindiens s'y prenaient pour soigner une fracture. Une autre histoire, datée de 1715, concerne le coureur des bois Nicolas Perrot, marchand de fourrure et fin négociateur avec les Amérindiens du centre du continent. Dans un mémoire qu'il rédige à l'intention de l'intendant de la colonie, il mentionne notamment le fait que les autochtones qu'il côtoyait portaient une bourse contenant toutes sortes d'objets, dont des plantes médicinales pour leurs voyages. Il décrit aussi la récolte de la zizanie par la nation des Assiniboines, une plante qu'il dit délicieuse et qu'il compare au riz. Ailleurs, il écrit que les Amérindiens utilisaient une branche de peuplier faux-tremble comme appât lorsqu'ils chassaient le castor. L'ouvrage contient beaucoup d'information, notamment des notes biographiques, sans compter un grand nombre d'illustrations et d'encarts. Ce livre, qui fournit moult détails sur la pharmacopée amérindienne et sur l'introduction de plantes canadiennes en Europe à l'époque du Régime français, intéressera sûrement ceux et celles qui se passionnent pour les plantes et l'histoire.

Asselin, Alain, Jacques Cayouette et Jacques Mathieu, 2015, *Curieuses histoires de plantes du Canada, tome 2*. Septentrion, Québec, 328 pages. (Prix régulier = 49,95 \$; membres de la Société = 40,95 \$*)

Source : Michel Crête

* La librairie L'Horti-centre du Québec offre aux membres de la Société Provancher un rabais de 18% pour ce livre :

HORTI-CENTRE DU QUÉBEC INC. Division CLUB DE LIVRES HORTIGRAF

2020, rue Jules-Verne, Québec (Québec) G2G 2R2

Tél. : 418 872-0869, poste 117; téléc. : 418 872-7428; cell. (J. Brisson) : 418 262-5115

courriel : horti-centre@floraliesjouvence.ca

Vie de la Société

Conférence de J. André Fortin – 4 novembre 2015

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada recevait M. J. André Fortin, le 4 novembre 2015, au Théâtre de Poche de l'Université Laval, pour une conférence intitulée « Les mycorhizes : un monde à découvrir ». Vingt personnes ont assisté à cette première conférence de la saison 2015-2016.

M. Fortin est professeur émérite de l'Université Laval, associé au Département des sciences du bois et de la forêt. Il s'intéresse aux mycorhizes depuis plus de 50 ans et il détient 3 brevets d'invention dans le domaine de la mycologie. C'est avec beaucoup de passion qu'il a entretenu son auditoire sur la symbiose mycorhizienne, qui est une association entre les champignons et les racines des plantes. Cette relation particulière existe depuis plus de 400 millions d'années alors qu'apparaissaient les premières espèces végétales.

Dans un premier temps, M. Fortin a bien expliqué ce que sont les mycorhizes et démontré à quel point elles rendent service aux plantes dans leur conquête des habitats, partout dans le monde.

En fait, les champignons contribuent à augmenter la surface de contact des racines des plantes. Ainsi, les plantes peuvent mieux puiser dans le sol les éléments nutritifs dont elles ont besoin et s'adapter au milieu. En échange, les plantes font profiter les champignons de leur photosynthèse.

Il existe différents types d'associations mycorhiziennes, par exemple les mycorhizes arbusculaires, les ectomycorhizes et les mycorhizes éricoïdes. Alors que les mycorhizes arbusculaires ont un mycélium qui pénètre dans les racines des plantes, chez les ectomycorhizes, le mycélium entoure les cellules végétales des racines sans pénétration. Au Québec, nous trouvons les mycorhizes arbusculaires principalement dans les forêts feuillues, sur sols alluvionnaires, et les ectomycorhizes dans les forêts de conifères aux sols à texture plus grossière.

Plus tard dans son exposé, M. Fortin a partagé ses connaissances reliées au développement de la production et de l'utilisation d'inoculum endomycorhiziens en agriculture et en sylviculture. Il est fier de voir que plus de 250 000 hectares de terres ont été inoculés en 2014 au Canada. Cela apporte une plus-value à diverses productions car les mycorhizes sont maintenant accessibles tant pour les petites que pour les grandes cultures. Les mycorhizes plaisent également aux jardiniers amateurs.

Les travaux de recherche se poursuivent dans le domaine à l'Université Laval. Ils font valoir le potentiel d'une roche, l'apatite, afin de gérer l'apport en phosphore pour les plantes, dans un contexte d'utilisation des mycorhizes. En renfort, une bactérie entre en jeu et permet une meilleure utilisation du phosphore. Les bactéries dissolvent l'apatite et il y a même libération de calcium!

En terminant, M. Fortin a présenté des photos intéressantes de champignons forestiers comestibles et nous a démontré que la mycologie est une science à la portée de tous. Depuis quelques années, les adeptes de champignons sauvages sont de plus en plus nombreux au Québec et certains font du mycotourisme.

Quelques questions sont venues de la salle et elles portaient sur les mycorhizes en agriculture. M. Fortin y a répondu avec tout l'optimisme qui le caractérise. Il parle avec engouement de la nouvelle révolution verte qui est aussi mise à profit dans le réaménagement de sites dégradés.

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada remercie sincèrement le conférencier pour la qualité de sa conférence. Elle tient, de plus, à le féliciter pour la nouvelle édition du livre *Les mycorhizes – la nouvelle révolution verte*, publié aux Éditions MultiMondes. Le livre écrit en collaboration avec Christian Plenchette et Yves Piché est disponible dans la plupart des librairies.

Source : Elisabeth Bossert

Conférence d'Isabelle Gauthier – 27 janvier 2016

La Société Provancher recevait Mme Isabelle Gauthier, le 27 janvier 2016, au Théâtre de Poche de l'Université Laval, pour une conférence intitulée « La loi sur les espèces menacées ou vulnérables – un outil au service de la biodiversité ». Plus de 30 personnes ont assisté à cette deuxième conférence de la saison 2015-2016.

Mme Gauthier est biologiste, détentrice d'une maîtrise en gestion de la faune et de ses habitats. Elle travaille au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, où elle agit comme coordonnatrice provinciale des espèces menacées ou vulnérables. Elle représente également le Québec au sein du Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, connu sous l'appellation COSEPA.

Tout d'abord, Mme Gauthier a fait connaître la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables* (LEMV) à son auditoire. Elle en a présenté les principaux objectifs, dont celui de sauvegarder la diversité biologique du Québec. C'est en 1989 que cette loi a été adoptée, précisant ainsi les différents statuts qui sont à la base de la désignation des espèces concernées.

On reconnaît 3 catégories ou statuts : les espèces menacées, les espèces vulnérables et les espèces susceptibles. Une espèce est dite menacée lorsque sa survie est incertaine. Une espèce vulnérable est celle dont la survie est précaire mais la disparition n'est pas appréhendée, alors qu'une espèce susceptible est une espèce pouvant devenir menacée ou vulnérable.

Actuellement, 20 espèces sont menacées au Québec, 18 sont vulnérables et 115 sont considérées susceptibles. La loi provinciale est un outil appréciable et il faut considérer également l'apport de la *Loi fédérale sur les espèces en péril* (LEP). Cette autre loi a été adoptée en 2004 et 3 statuts y sont associés : les espèces en voie de disparition, les espèces menacées et les espèces préoccupantes. À titre d'exemple, pour les 2 paliers de gouvernement, le béluga détient le niveau le plus élevé de protection.

Mais qu'en est-il de la concordance entre ces lois? Cette concordance retient l'attention et une entente de partenariat existe entre les travaux qui se font au Québec et ceux au niveau fédéral. La cohérence est visée afin, entre autres, de ne pas doubler les efforts déployés.

Mme Gauthier a fait part de plusieurs exemples concrets d'application de ces 2 lois. Les cas du caribou, du chevalier cuirvé et des chauves-souris ont été mentionnés. Elle nous a expliqué le processus de rétablissement des espèces qui se traduit par les travaux de 14 équipes veillant à la protection de 29 espèces, sous-espèces et populations. Ces travaux se font sur un horizon de 10 ans avec des mises à jour prévues en fin de processus. Ils contribuent à éviter que la situation d'espèces ne s'aggrave, à rétablir les espèces, à favoriser la recherche et à informer le public sur la précarité des espèces.

Un cadre de référence guide ces équipes et, dans tous les cas, l'acquisition de connaissances et leur diffusion sont essentielles.

La conférencière a tenu à souligner les travaux qui se font à diverses échelles et avec des contributions provenant des collectivités. Par exemple, les municipalités, les MRC, les communautés autochtones et diverses organisations bénévoles sont maintenant impliquées dans la sauvegarde des espèces. Après plusieurs années, les initiatives sont porteuses et ce sont les espèces qui sont gagnantes !

Le faucon pèlerin, le bar rayé et la rainette faux-grillon de l'Ouest comptent parmi ces espèces gagnantes. En 2017, il faudra voir comment évolue la situation alors que la liste des espèces menacées ou vulnérables sera mise à jour.

La Société Provancher remercie Mme Gauthier qui, avec son dynamisme, a su captiver l'auditoire en offrant une conférence de qualité.

Source : Élisabeth Bossert et Robert Patenaude

Nous recherchons des bénévoles pour le contrôle du roseau commun dans la Réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher

Comme vous le savez sans doute, le roseau commun est une espèce envahissante qui commence à s'établir dans la Réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher. Pour freiner son expansion, la Société Provancher a entamé un programme de contrôle qui consiste à couper les roseaux, à poser des bâches pour priver les roseaux de lumière et à planter des boutures de saules ou d'aulnes ou encore des plants de mélèzes qui, après quelques années, créeront de l'ombre et limiteront l'expansion des roseaux.

Nous recherchons 8 bénévoles qui auraient 14 heures à consacrer, entre la mi-juin et la fin de juillet, pour la coupe des roseaux en périphérie des colonies. Les travaux se dérouleront entre le 13 et le 30 juin ainsi qu'entre le 18 et le 31 juillet. La tâche consiste à couper les roseaux à l'aide de taille-haies afin de favoriser la croissance des boutures de saules qui ont été plantées en 2013. Des coupes seront également faites en périphérie de colonies où des bâches ont été posées. Le travail sera effectué en équipes de 4 personnes afin de favoriser les échanges. Le travail n'est pas dur physiquement mais exige une certaine minutie pour ne pas couper les boutures de saules et d'aulnes. Ce travail convient également bien aux personnes aimant jardiner. Les techniques utilisées pour le contrôle du roseau n'exigent aucune formation particulière. Le responsable du projet participe toujours aux travaux et oriente les équipes. Nous recherchons des personnes désirant travailler en équipe, en plein air. Les travaux se font habituellement par beau temps.

Pour obtenir des renseignements ou pour vous inscrire, contactez : Réhaume Courtois, 418 836-0979, societe.provancher@gmail.com

Source : Réhaume Courtois

INVESTIR, PARTAGER, DONNER

INVESTISSEZ dans la nature si nécessaire à notre équilibre et faites une différence

PARTAGEZ avec vos parents et amis votre initiative et rassemblez-vous autour d'une même cause

DONNEZ maintenant. Joignez la Société Provancher qui réalise ses projets de conservation et d'éducation

1 – Don unique ou mensuel

Un don soigneusement investi au profit de la nature.

Par paiement automatisé sur CanaDon de préférence, ou par la poste en remplissant le formulaire disponible sur Internet.

2 – Don commémoratif à la mémoire d'une personne décédée

Un geste de générosité gage d'avenir pour les générations qui suivront.

Par paiement automatisé sur CanaDon ou par la poste. Pour recevoir des formulaires de dons commémoratifs, communiquez avec nous à societe.provancher@gmail.com ou par téléphone au 418 554-8636.

3 – Dons planifiés

Un engagement naturel

- Don par testament
- Legs particulier
- Don par une police d'assurance vie
- Don d'actions cotées en bourse
- Don d'une rente viagère
- Don en argent, etc.

Par le site sécurisé de CanaDon, vous pouvez effectuer directement un don de valeurs mobilières ou de parts de fonds communs de placement existant au Canada. Pour plus de renseignements ou pour savoir comment procéder, communiquez avec nous au 418 554-8636.

La Société Provancher est un organisme de bienfaisance reconnu (n° 131610669RR0001).

Saviez-vous que...

Gisèle Lamoureux reçoit le Prix du Québec Georges-Émile-Lapalme 2015

Les personnes qui s'intéressent aux plantes sauvages seront certainement heureuses d'apprendre que Gisèle Lamoureux, botaniste-écologiste bien connue, a reçu le Prix du Québec Georges-Émile-Lapalme pour son travail de vulgarisation en français et pour la nomenclature et la documentation des plantes du Québec. Les Prix du Québec sont la plus haute distinction décernée par le gouvernement du Québec en culture et en sciences. Les lauréats reçoivent un parchemin calligraphié, une médaille en argent, une épinglette et une bourse de 30 000 \$.

Gisèle Lamoureux a reçu ce prix le 18 novembre 2015, des mains de la ministre de la Culture et des Communications, Hélène David, qui l'honore...

« ... pour avoir contribué comme nulle autre à tisser des liens étroits entre la population et la flore du Québec, pour avoir mis sa plume lyrique et résolument écologique, au service de la science et de la conscience. Nous devons à son militantisme patient autant qu'énergique le choix de l'iris versicolore en tant qu'emblème floral du Québec. »

À l'occasion de cette remise de prix, Catherine Perrin, à la radio de Radio-Canada, a fait une entrevue intitulée « Gisèle Lamoureux, la botaniste qui donnait des noms aux plantes ». C'est l'Université Laval qui avait présenté la candidature de Gisèle Lamoureux pour l'obtention de ce prestigieux prix.

Source : Fleurbec

Surveillance des maladies de la faune

Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs vient de publier un rapport intitulé : *2011-2014 Surveillance des maladies de la faune. Stratégie québécoise sur la santé des animaux sauvages*. Ce rapport présente les résultats, pour les années 2011 à 2014, des différentes activités de surveillance des maladies d'intérêt particulier pour la santé publique, la santé du cheptel d'animaux domestiques et la santé des animaux sauvages, telles que l'influenza aviaire, la rage du raton laveur, la maladie débilitante chronique (MDC) des cervidés, la tique d'hiver de l'original, le syndrome du museau blanc (SMD), l'apparition anormale de lésions externes chez les achigans du lac Saint-François et la septicémie hémorragique virale (SHV). En plus des activités de surveillance ciblée, ce rapport fait également état du programme de surveillance en continu visant la détection précoce des maladies émergentes pour lesquelles une surveillance spécifique n'est pas en place, ainsi que le suivi des maladies endémiques. Le document est disponible en ligne à : <http://mffp.gouv.qc.ca/surveillance-maladie-faune/>.

Source : Jacques Nadeau, MFFP



LE SAINT-LAURENT, UNE RICHESSE NATURELLE UNIQUE



Apprenez-en plus sur ce que nous faisons pour le conserver et le mettre en valeur

Canada

www.planstlaurent.qc.ca

Québec



LA SOCIÉTÉ
PROVANCHER
D'HISTOIRE
NATURELLE
DU CANADA

FORMULAIRE D'ADHÉSION À LA SOCIÉTÉ PROVANCHER
MEMBRE INDIVIDUEL, FAMILIAL ou CORPORATIF

ANNÉE _____

N° de membre si connu : _____

TITULAIRE DE LA CARTE DE MEMBRE

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Ville : _____ Province : _____

Code postal : _____ Téléphone : _____

Adresse électronique : _____

CONJOINT (Si carte familiale)

Nom : _____ Prénom : _____

FRAIS D'ADHÉSION

Membre familial : 40 \$ [] Membre individuel : 35 \$ [] Membre corporatif : 80 \$ []

Toute adhésion comme membre individuel ou familial donne droit à la revue *Le Naturaliste canadien* en format électronique. Un supplément de 10 \$ est chargé pour recevoir le format papier. Les membres corporatifs reçoivent automatiquement le format papier uniquement, sans frais additionnel. Veuillez préciser votre choix en complétant la partie suivante :

Je désire recevoir *Le Naturaliste canadien* :

En format électronique : ___ En format papier : ___ (supplément de 10 \$). (Vous pouvez cocher les deux formats).

Je ne désire pas recevoir *Le Naturaliste canadien* : _____

DON : Un reçu pour fins d'impôt est émis pour les dons de dix dollars et plus.

Je fais un don à la Société Provancher au montant de : _____ \$, à répartir ainsi :

Île aux Basques _____ Marais Provancher _____ *Naturaliste canadien* _____ Société Provancher _____

SIGNATURE : _____

Veuillez rédiger votre chèque ou mandat-poste à l'ordre de la Société Provancher et le faire parvenir à l'adresse ci-dessous :

Adhésion – Société Provancher, 1400, route de l'Aéroport, Québec (Québec) G2G 1G6

Site Internet : www.provancher.qc.ca/

Téléphone : 418 554-8636

Pour vos randonnées : deux territoires à découvrir...

Le marais Léon-Provancher

Le territoire du marais Léon-Provancher, situé à Neuville, est doté d'un réseau de 5 km de sentiers. C'est un milieu idéal pour la randonnée, la photo de nature et l'initiation des enfants à la découverte des plantes et des animaux.

Grâce au travail de nombreux bénévoles, le territoire est accessible toute l'année, gratuitement.

Pour de plus amples renseignements, consultez le site Internet de la Société Provancher :

www.provancher.qc.ca



L'île aux Basques

L'île aux Basques, située au large de Trois-Pistoles, représente une destination de choix pour des visites guidées ou pour de courts séjours en chalet.

Les visites guidées durent 3 heures et sont offertes de juin à septembre. Les personnes intéressées doivent réserver auprès du gardien de l'île aux Basques, Jean-Pierre Rioux, au numéro de téléphone 418 851-1202 à Trois-Pistoles.



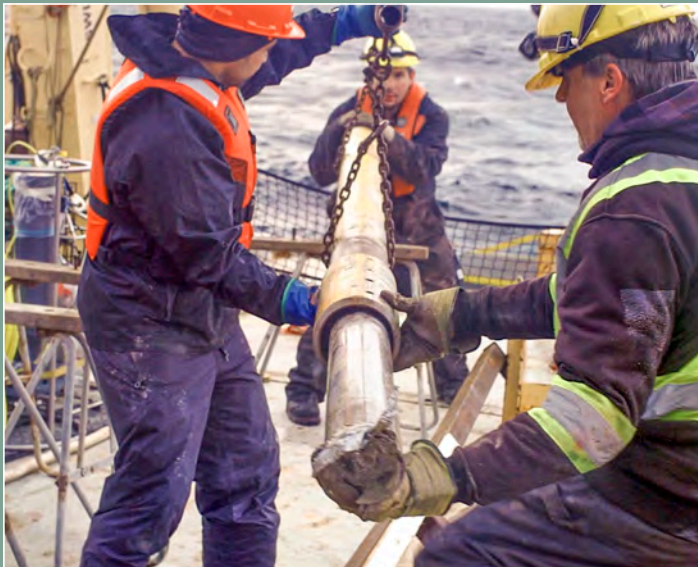
La location de chalets est offerte aux membres de la Société Provancher pour des séjours allant d'une à sept nuitées. Les modalités de réservation, le tableau des disponibilités et la grille tarifaire sont disponibles sur le site Internet de la Société Provancher :

www.provancher.qc.ca



Aurore Pérot

Harrington Harbour



Félix Lamarque

Récupération d'une carotte de sédiments, p. 41



Félix Lamarque

Mise à l'eau du carottier à gravité, p. 41



Stratégies Saint-Laurent

Plage – Baie-Trinité