

ANALYSE DES IMPACTS DES EMBARCATIONS DE PLAISANCE SUR LES ÉCOSYSTÈMES RIVERAINS
DU LAC SAINT-PIERRE

Par Laurie-Ève Lamarche

Essai présenté en vue de l'obtention du double diplôme
Maîtrise en environnement
Master Gestion Intégrée de l'Environnement, de la Biodiversité et des Territoires

Sous la direction de Claude Delisle

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE (Québec, Canada)

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER (France)

Juillet 2020

SOMMAIRE

Mots clés : navigation de plaisance, embarcation de plaisance, lac Saint-Pierre, impacts environnementaux, bateau à moteur, embarcation à propulsion manuelle, voilier, véhicule amphibie, analyse multicritère

La navigation de plaisance est une activité couramment pratiquée au lac Saint-Pierre. Celle-ci n'est toutefois pas sans effet sur l'environnement. Cet essai a pour but d'analyser les impacts des embarcations de plaisance sur les écosystèmes riverains du lac Saint-Pierre. Ce plan d'eau est un élargissement du fleuve Saint-Laurent regorgeant de biodiversité. Des dizaines de milliers de plaisanciers viennent naviguer sur les eaux de ce lac chaque année. La navigation de plaisance concerne également les gouvernements fédéral et provincial, les municipalités régionales de comté, les municipalités ainsi que le Comité ZIP du lac Saint-Pierre. Ce dernier permet aux différents acteurs de se concerter quant à la gestion de ce tronçon du fleuve. La navigation de plaisance regroupe plusieurs types d'embarcations tels que les embarcations à propulsion manuelle, les voiliers, les bateaux à moteur, dont les bateaux à fort sillage (*wakeboats*), les motomarines ainsi que les véhicules amphibies. Tous ces navires récréatifs engendrent des impacts environnementaux physiques et biologiques. En effet, les embarcations peuvent causer l'érosion des berges et l'augmentation de la matière en suspension dans la colonne d'eau. Ces engins peuvent être une source de stress ou de blessures pour le plancton, les plantes aquatiques, le benthos, l'épifaune, les poissons, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les mammifères. Pour certains organismes, la navigation de plaisance engendre aussi de la mortalité.

Une analyse multicritère permet d'évaluer l'intensité des impacts environnementaux selon le type d'embarcation de plaisance. À partir des résultats obtenus, des recommandations sont formulées aux différents acteurs dans l'objectif de protéger la richesse du lac Saint-Pierre. Il est donc suggéré de réduire la vitesse des embarcations ainsi que la mise en place d'une distance minimale de la rive pour les bateaux à moteur. Certaines zones plus sensibles pourraient également être restreintes d'accès et des normes plus strictes imposées quant aux bruits des bateaux. L'installation d'infrastructures de nettoyage d'embarcations serait très utile pour diminuer les risques de propagation d'espèces exotiques envahissantes. L'éducation des plaisanciers aux bons comportements à adopter est essentielle. Les encourager à rester à distance de la faune serait aussi bénéfique. Il faudrait s'assurer que la réglementation encadre adéquatement l'utilisation des véhicules amphibies. Enfin, des suivis devraient être mis en place pour s'assurer que les mesures prises soient efficaces.

REMERCIEMENTS

Pour la réalisation de cet essai, je tiens à remercier particulièrement mon directeur d'essai, Monsieur Claude Delisle, pour ses conseils et sa patience. Je voudrais exprimer ma reconnaissance pour sa disponibilité, son intérêt et son ouverture d'esprit.

Je voudrais également remercier le Comité ZIP du lac Saint-Pierre et tout particulièrement sa directrice générale, Madame Louise Corriveau, pour leur aide. J'apprécie leur effort pour me soutenir malgré le déménagement des locaux et la pandémie.

Pour finir, je souhaite exprimer ma gratitude à ma famille pour le soutien qu'elle m'a apporté tout au long de la rédaction de mon essai. Je les remercie de croire en moi.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. LAC SAINT-PIERRE.....	4
1.1 Portrait	4
1.2 Localisation.....	5
1.3 Flore.....	7
1.3.1 Marécages	8
1.3.2 Prairie humide.....	8
1.3.3 Marais.....	9
1.3.4 Herbier aquatique	10
1.3.5 Espèces à statut.....	10
1.4 Faune	11
1.4.1 Poissons.....	11
1.4.2 Amphibiens et reptiles	11
1.4.3 Oiseaux.....	12
1.4.4 Mammifères	12
1.4.5 Invertébrés	13
1.5 Zones sensibles et zones protégées	13
1.6 Activités pratiquées.....	14
1.6.1 Agriculture	15
1.6.2 Villégiature	15
1.6.3 Chasse et pêche.....	16
1.6.4 Navigation commerciale.....	17
1.6.5 Navigation de plaisance.....	20
2. ACTEURS CONCERNÉS	22

2.1	Gouvernement	22
2.1.1	Gouvernement canadien.....	22
2.1.2	Gouvernement québécois.....	23
2.2	Municipalités régionales de comté et municipalités.....	24
2.3	Plaisanciers.....	25
2.4	Comité ZIP du lac Saint-Pierre	25
3.	EMBARCATIONS DE PLAISANCE	28
3.1	Embarcations à propulsion manuelle.....	28
3.2	Voiliers.....	29
3.3	Embarcations à moteur	29
3.3.1	Moteurs hors-bords et intérieurs.....	29
3.3.2	Wakeboat	30
3.3.3	Motomarine	30
3.4	Véhicule amphibie.....	31
4.	IMPACTS DES EMBARCATIONS DE PLAISANCE.....	32
4.1	Impacts physiques	32
4.1.1	Érosion des rives.....	35
4.1.2	Mise en suspension des sédiments.....	37
4.2	Impacts biologiques.....	40
4.2.1	Plancton.....	40
4.2.2	Plantes aquatiques	42
4.2.3	Benthos et épifaune	44
4.2.4	Poissons.....	46
4.2.5	Amphibiens et reptiles	49
4.2.6	Oiseaux.....	50

4.2.7	Mammifères	52
4.2.8	Propagation des espèces exotiques envahissantes	53
5.	ANALYSE DE L'INTENSITÉ DES IMPACTS SELON LE TYPE D'EMBARCATION	55
5.1	Méthodologie	55
5.2	Sélection et description des critères	56
5.2.1	Critères pour le milieu physique	56
5.2.2	Critères pour la biodiversité	57
5.3	Pondération des types d'embarcations	58
5.4	Analyse	58
5.5	Interprétation des résultats	60
6.	RECOMMANDATIONS.....	63
6.1	Recommandations à court et moyen terme	63
6.2	Recommandations à long terme	65
	CONCLUSION	67
	RÉFÉRENCES	69

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	Localisation du lac Saint-Pierre et de son littoral.....	6
Figure 1.2	Bassin versant du lac Saint-Pierre	6
Figure 1.3	Localisation des accès nautique au lac Saint-Pierre et à proximité	21
Figure 4.1	Schéma des deux types de vague générée par les embarcations.....	33
Tableau 1.1	Les municipalités régionales de comté (MRC) et les villes et municipalités couvertes par la région du lac Saint-Pierre telle que délimitée par la zone d'intervention prioritaire (ZIP)	7
Tableau 1.2	Nombre d'aires protégées selon leur type dans la région du lac Saint-Pierre	14
Tableau 1.3	Nombre de passages de navires sur le lac Saint-Pierre selon le type de navires entre le 1er octobre 2015 et le 30 septembre 2017.....	18
Tableau 1.4	Nombre de passages des navires au lac Saint-Pierre par intervalles de largeur entre 2014 et 2017.....	19
Tableau 5.1	Grille d'évaluation de la priorité des actions à prendre selon l'évaluation des critères et de la pondération des types d'embarcations de plaisance	58
Tableau 5.2	Analyse multicritère de l'intensité des impacts environnementaux selon le type d'embarcations	59

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

%	Pourcentage
AFC	Aire faunique communautaire
AMQ	Association maritime du Québec
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
GISL	Gestion intégrée du Saint-Laurent
MAMH	Ministère des Affaires municipales et de l’Habitation
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l’Environnement, de la Faune et des Parcs
MELCC	Ministère de l’Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques
MFFP	Ministères des Forêts, de la Faune et des Parcs
MPO	Ministère de Pêches et Océans Canada
MRC	Municipalité régionale de comté
MTQ	Ministère des Transports
PGIR	Plan de gestion intégrée régionale
SARCEL	Société d’aménagement récréatif pour la conservation de l’environnement du lac Saint-Pierre
SSL	Stratégies Saint-Laurent
TC	Transports Canada
TCR	Table de concertation régionale
TCRLSP	Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l’éducation, la science et la culture
ZICO	Zone d’intérêt pour la conservation des oiseaux

LEXIQUE

- Bateau à fort sillage ou *wakeboat*** Les bateaux à fort sillage ou de type « *wakeboat* » sont des embarcations adaptées pour la pratique de sports nautiques, notamment le *wakesurf* et le *wakeboard* (Mercier-Blais et Prairie, 2014).
- Wakeboard*** Le *wakeboard* est un sport nautique consistant à « surfer » sur la vague produite par une embarcation de plaisance grâce à une planche en étant rattaché à ladite embarcation. (Mercier-Blais et Prairie, 2014).
- Wakesurf*** Le *wakesurf* est un sport nautique consistant à « surfer » sur la vague produite par une embarcation de plaisance grâce à une planche en n'étant pas rattaché à ladite embarcation (Mercier-Blais et Prairie, 2014)

INTRODUCTION

L'eau est une ressource naturelle très importante et fait partie intégrante de la vie humaine. Avec le temps, l'humain a su tirer avantage des milieux aquatiques. Il profite des services écosystémiques comme la filtration de l'eau par les milieux humides ou encore la production de ressources comestibles (poissons, crustacés, bivalves, etc.) (Blais, 2013). Il se sert également de voies maritimes pour transporter des marchandises de tout genre à travers le monde. Plusieurs personnes profitent également des écosystèmes aquatiques pour faire du tourisme, se baigner ou observer la nature.

Au Québec, l'eau occupe 22 % du territoire, dont 13 % d'eau douce (Institut de la statistique du Québec, 2014). Les milieux humides, soit les étangs, les marais, les marécages ainsi que les tourbières, recouvrent un peu plus de 10 % du territoire québécois (Gouvernement du Québec, 2014; Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques [MELCC], s. d.b). Il y a également environ 3,6 millions de plans d'eau douce au Québec ainsi que plusieurs dizaines de milliers de rivières et de ruisseaux (Gouvernement du Québec, 2014). L'un de ces cours d'eau est particulièrement et étroitement lié à l'histoire du Québec, soit le Saint-Laurent. Depuis l'arrivée des Européens, la majorité de la population habite et se développe à proximité de celui-ci (MELCC, s. d.a). Pour développer le port de Montréal, pôle tournante de l'économie, le fleuve est dragué depuis le XIX^e siècle. Voie commerciale majeure, elle est toujours considérée comme la plus importante au Canada. D'ailleurs, une bonne partie du Canada et des États-Unis accèdent au reste du monde grâce à ce passage navigable. (Marsh, 2015) Le fleuve Saint-Laurent est aussi un milieu riche en biodiversité.

Le lac Saint-Pierre est un élargissement du fleuve Saint-Laurent entre Sorel-Tracy et Trois-Rivières. Il se compose d'une vaste étendue d'eau libre, d'un archipel d'une centaine d'îles entrelacées de chenaux et de milieux humides. Depuis 1998, il est reconnu comme site Ramsar, notamment grâce à ses milieux humides. (Ramsar, 2001; Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a) Sa grande biodiversité lui vaut également le titre de réserve mondiale de la biosphère selon l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). Parmi la diversité d'espèces fauniques et floristiques présentes, plusieurs possèdent un statut précaire. De plus, le site accueille la plus grande héronnière en Amérique du Nord et constitue la halte migratoire la plus importante pour la sauvagine dans l'est du Canada. (UNESCO, s. d.a; Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a) Par ailleurs, plusieurs activités humaines s'y déroulent quotidiennement comme l'agriculture, la chasse, la pêche, la villégiature et la navigation. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a) Cette dernière se divise en deux catégories. La première est la navigation

marchande qui regroupe les navires commerciaux généralement de grande taille et permet notamment le transport de marchandises partout à travers le monde ou la pêche commerciale. La seconde est la navigation de plaisance qui a pour but principal le loisir. Plusieurs mesures sont prises pour poursuivre toutes ces activités anthropiques et protéger le lac Saint-Pierre. Par exemple, en 2012, un moratoire sur la pêche à la perchaude a été émis pour permettre la régénération de la population afin d'assurer une pêche durable (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs [MFFP], s. d.b). C'est d'ailleurs l'objectif du Comité ZIP du lac Saint-Pierre de réhabiliter, de protéger et de valoriser le lac Saint-Pierre (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a).

Actuellement, le comité s'intéresse notamment à la navigation de plaisance au lac Saint-Pierre. Celle-ci peut avoir plusieurs impacts sur l'environnement tels que la perturbation de la faune aquatique, l'érosion des rives, la mise en suspension de sédiments et la propagation des espèces exotiques envahissantes. Ces impacts sont plus marqués selon le type d'embarcation, l'usage qui en est fait et les secteurs empruntés. (Savard, 2000) Pour préserver la richesse du lac Saint-Pierre, il est donc pertinent d'analyser les impacts des embarcations de plaisance pour mettre en place les mesures de protection adéquates.

L'objectif principal de cet essai est donc d'analyser les impacts des embarcations de plaisance sur les écosystèmes riverains du lac Saint-Pierre. Ces écosystèmes se situent entre les milieux aquatiques et les milieux terrestres et comprennent les milieux humides, les berges ainsi que les herbiers aquatiques. Pour ce faire, une description de la situation au lac Saint-Pierre est réalisée. Puis, les zones les plus sensibles sont identifiées. Ensuite, les impacts des embarcations de plaisance sont détaillés avant d'analyser leur intensité selon les différents types d'embarcations. Finalement, des recommandations sont apportées pour préserver la richesse naturelle du lac Saint-Pierre.

Le premier chapitre porte sur le lac Saint-Pierre, son environnement et les principales activités anthropiques pratiquées dans la région. Le deuxième chapitre décrit les divers acteurs concernés par la navigation de plaisance et leur rôle. Le troisième chapitre présente brièvement les différents types d'embarcations ainsi que leurs principales caractéristiques. Le quatrième chapitre aborde les impacts physiques et biologiques de la navigation récréative. Le cinquième chapitre est une analyse de l'intensité des impacts précédemment détaillés selon le type d'embarcation de plaisance. Le sixième et dernier chapitre amène des recommandations quant à la navigation au lac Saint-Pierre avant de terminer avec la conclusion.

Pour assurer la qualité et la validité des sources, quelques critères sont respectés. D'abord, les informations primaires sont recueillies auprès d'organismes ou de personnes, s'il y a lieu, présentant plusieurs années d'expérience ou des connaissances vérifiables sur la navigation de plaisance, ses impacts, le lac Saint-Pierre, le fleuve Saint-Laurent ou autres milieux aquatiques présentant des caractéristiques similaires. En ce qui a trait aux sources secondaires, elles sont les plus récentes possibles. Elles datent des années 2000 et idéalement, des années 2010. Toutefois, une source un peu plus ancienne est utilisée si l'information semble toujours actuelle et qu'il n'y a pas de source plus récente sur le sujet. L'auteur est une personne crédible ou un organisme présentant de l'expérience professionnelle sur le sujet (ex. chercheurs, professeurs). Les blogues sont proscrits tout comme les sources qui ne semblent pas objectives. Les références citées dans les sources sont sérieuses également. De plus, lorsque possible, l'information est vérifiée à l'aide de différentes sources. Ces sources comprennent notamment des articles scientifiques, des rapports, des mémoires, des thèses et des sites internet fiables.

1. LAC SAINT-PIERRE

Joyau québécois, le lac Saint-Pierre est un plan d'eau unique qui suscite l'intérêt de plusieurs, et ce, depuis longtemps. Ce chapitre apporte une description succincte de ce milieu aquatique particulier. Il raconte également son histoire et son évolution sous l'influence anthropique. La dernière partie couvre les activités humaines qui affectent actuellement le lac Saint-Pierre.

1.1 Portrait

Le lac Saint-Pierre est un élargissement du fleuve Saint-Laurent d'environ 30 kilomètres de longueur et de 13 kilomètres de largeur. Sa superficie est d'approximativement 500 kilomètres carrés. (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs [MDDEFP], 2013) Dans son amont, le lac accueille une centaine d'îles. Il possède la plus grande plaine inondable du Québec avec une superficie d'au moins 7 000 hectares inondés annuellement. (Ramsar, 2001) Il est aussi traversé par un chenal de navigation en son centre d'une profondeur de 11,3 mètres. Le reste du lac présente une profondeur moyenne de trois mètres. Le débit moyen est de 9 500 mètres cubes par seconde. Toutefois, il est beaucoup plus faible en zone riveraine comparativement à la vitesse d'écoulement de l'eau dans le chenal. D'ailleurs, ce chenal sépare les masses d'eau de part et d'autre du lac et limite les échanges. En fait, il semblerait que les eaux des différents tributaires se mélangent très peu vu des airs. La majorité de l'eau provient du lac Ontario, soit des Grands Lacs. De bonne qualité, elle se déverse par le chenal sans se répandre de part et d'autre du lac. Les autres principaux tributaires sont les rivières des Outaouais, l'Assomption, Maskinongé, du Loup et Yamachiche au nord du lac et les rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François et Nicolet au sud. De qualité moindre, ces eaux s'écoulent dans les milieux humides et les eaux libres de part et d'autre du chenal. (MDDEFP, 2013)

La région du lac Saint-Pierre présente une topographie très peu accidentée. Les terres adjacentes sont généralement plates ou possèdent une pente faible de moins de 6 %. Ces rives plutôt planes sont idéales pour l'établissement de milieux humides et d'herbiers aquatiques. Plusieurs espèces animales et végétales bénéficient de ces habitats. (UNESCO, s. d.c) De plus, les précipitations sont constantes avec environ 100 centimètres par année. C'est également la région qui possède la période sans gel la plus longue du

Québec et la plus ensoleillée. En effet, il y a annuellement plus de 2 100 heures d'ensoleillement, dont environ 16 jours en moyenne d'insolation mensuelle de mai à septembre. (UNESCO, s. d.b) Ces conditions sont excellentes pour l'agriculture, mais également pour pratiquer diverses activités comme la navigation de plaisance.

1.2 Localisation

Le lac Saint-Pierre se situe sur le tronçon fluvial entre Sorel-Tracy et Trois-Rivières (figure 1.1 tirée de : Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a) et s'avère être la dernière étendue d'eau douce du fleuve (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a). Au nord-est de Montréal et au sud-ouest de Québec, le lac se trouve dans la région géologique des basses terres du Saint-Laurent (UNESCO, s. d.c). Il possède un bassin versant de plus de 990 000 kilomètres carrés, soit 1 980 fois sa taille, qui se prolonge au-delà de la frontière québécoise (figure 1.2 adaptée de : MDDEFPP). En fait, seulement 14 % du bassin se trouve au Québec. La majorité se situe aux États-Unis et le reste est en territoire ontarien, soit 58 % et 28 % respectivement. (MDDEFPP, 2013)

Dans le cadre de cet essai, l'analyse et les recommandations portent sur la région du lac Saint-Pierre telle que délimitée par sa zone d'intervention prioritaire. Toutefois, il ne faut pas oublier que des actions prises en amont du bassin versant peuvent avoir des répercussions positives, neutres ou négatives sur le lac. Ainsi, la ZIP du lac Saint-Pierre s'étend sur une vingtaine de villes et de municipalités alentour, dont une communauté autochtone, et regroupe quatre MRC. Ces MRC sont celles de D'Autray, de Maskinongé, de Nicolet-Yamaska et de Pierre-De Saurel. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a) La liste des villes et des municipalités est présentée dans le tableau 1.1.



Figure 1.1 Localisation du lac Saint-Pierre et de son littoral (Tiré de : Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a)

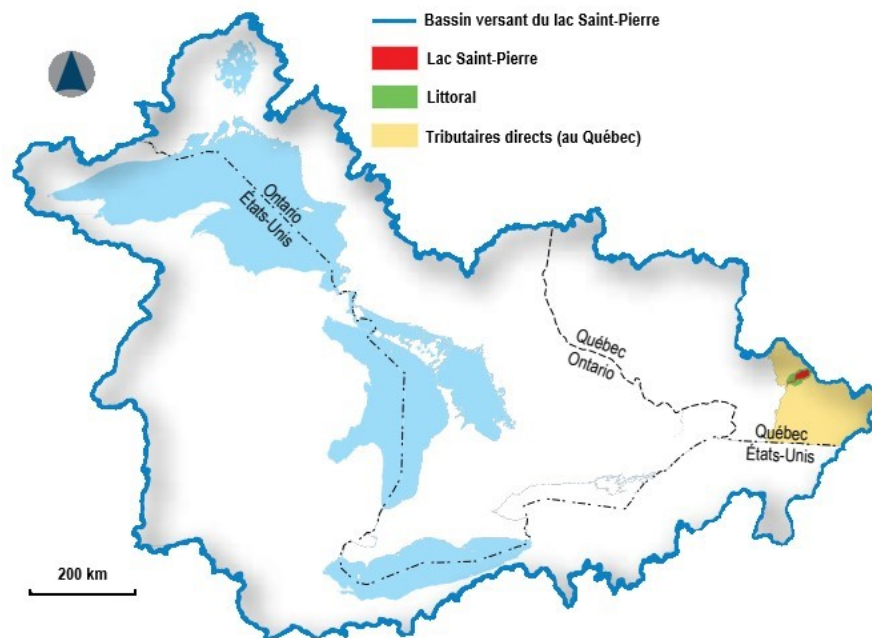


Figure 1.2 Bassin versant du lac Saint-Pierre (Adapté de : MDDEFP, 2013)

Tableau 1.1 Les municipalités régionales de comté (MRC) et les villes et municipalités couvertes par la région du lac Saint-Pierre telle que délimitée par la zone d'intervention prioritaire (ZIP)

MRC	Ville/Municipalité
D'Autray	Berthierville
	La Visitation-de-l'île-Dupas
	Saint-Barthélemy
	Saint-Cuthbert
	Saint-Ignace-de-Loyola
	Sainte-Geneviève-de-Berthier
Maskinongé	Louiseville
	Maskinongé
	Yamachiche
Nicolet-Yamaska	Baie-du-Febvre
	Nicolet
	Pierreville
	Saint-François-du-Lac
	Yamaska
Pierre-De Saurel	Saint-Joseph-de-Sorel
	Sainte-Anne-de-Sorel
	Saint-Gérard-Majella
	Sorel-Tracy
Autre	Pointe-du-Lac (Trois-Rivières)
Hors MRC	Odanak

1.3 Flore

La végétation d'une région varie avec le climat. Située dans la zone tempérée nordique, la région du lac Saint-Pierre est dominée par la forêt décidue. Ses rives nord et sud-est font partie du domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul alors que sa rive sud-ouest appartient au domaine de l'érablière à caryer cordiforme. (MFFP, s. d.c) Les terres fertiles sont parfaites pour l'agriculture qui occupe une part importante du territoire. La région est aussi reconnue pour être la plus grande plaine inondable du Québec. (Ramsar, 2001) Les conditions y sont idéales pour les milieux humides. En quittant les terres pour s'approcher du lac, la végétation devient de plus en plus hydrophile. Le milieu terrestre est graduellement

remplacé par les marécages, les prairies humides, les marais et viennent les herbiers aquatiques pour finir. (Benoit, Bergeron, Bourgeois, Desjardins et Picard, 1987; MDDEFP, 2013) Chacun de ces milieux possède des caractéristiques qui lui sont propres et des espèces adaptées aux conditions présentes. Certaines de ces espèces possèdent un statut particulier.

1.3.1 Marécages

Le marécage se distingue de la forêt par la présence de la nappe phréatique près du niveau du sol et est entretenu en tout temps par de l'eau stagnante (MDDEFP, 2013). Ce biome représente environ 36 % des milieux humides au lac Saint-Pierre (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2017). Lorsque les tiges ligneuses sont majoritairement des arbres, il s'agit de marécages arborescents. Dans la région, l'un des principaux peuplements de ce milieu est l'érablière argentée qui se fait de plus en plus rare au Québec. C'est d'ailleurs l'une des dernières places où des peuplements sont en bonne condition. Les érables argentés (*Acer saccharinum*) sont accompagnés d'autres espèces appréciant l'humidité et résistantes aux inondations printanières comme le noyer cendré (*Juglans cinerea*). Bien que les arbustes et les herbacés recouvrent généralement peu d'espace, des tapis monospécifiques sont parfois présents. Par exemple, ceux-ci peuvent se composer de matteucie fougère-à-l'autruche (*Matteucia struthiopteris*). Par ailleurs, lorsque les arbres se font plus rares et que les arbustes sont dominants, il s'agit de marécages arbustifs. Au lac Saint-Pierre, ces milieux sont généralement représentés par le saule pétiolé (*Salix petiolaris*), le saule noir (*Salix nigra*) et l'aulne rugueux (*Alnus incana rugosa*). Ils fournissent des habitats précieux pour la faune. Plusieurs espèces aquatiques et terrestres y viennent pour se nourrir, s'abriter ou se reproduire. (Benoit et al., 1987)

1.3.2 Prairie humide

La prairie humide se forme sur les berges qui émergent en été. Elle est composée de végétations herbacées qui s'avèrent généralement être des graminées. (MDDEFP, 2013) Le sol est gorgé d'eau en permanence et lors des crues, 15 à 30 centimètres d'eau peuvent s'accumuler. Les espèces dominantes sont principalement le phalaris roseau (*Phalaris arundinacea*) et la calamagrostide du Canada (*Calamagrostis*

canadensis) au lac Saint-Pierre. Ce milieu est favorable pour le développement rapide des invertébrés. Plusieurs poissons s’y reproduisent ou s’y nourrissent. Plusieurs espèces d’oiseaux viennent également s’y installer après les crues. Parfois, certains éleveurs se servent de la prairie humide comme pâturage et la surnomme prairie broutée. (Benoit et al., 1987) Au lac Saint-Pierre, 11 % des milieux humides s’avèrent être des prairies humides (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2017).

1.3.3 Marais

Le marais est un milieu humide inondé périodiquement et où la végétation herbacée émerge de l’eau (MDDEFP, 2013). Il occupe 38 % de la superficie des milieux humides au lac Saint-Pierre (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2017). Ce milieu peut se diviser en deux catégories, soit le marais peu profond et le marais profond. Le premier possède au plus 15 centimètres d’eau en été, mais peut atteindre un mètre de profondeur pendant les crues printanières. Le second a une profondeur variant de 15 centimètres à un mètre. Dans tous les cas, la profondeur de l’eau ne dépasse pas les deux mètres. Il est possible d’observer quelques arbres et arbustes dispersés bien que les herbacées émergentes soient dominantes. Les espèces floristiques qui caractérisent la région sont le rubanier à gros fruits (*Sparganium eurycarpum*), le sagittaire latifolié (*Sagittaria latifolia*), la quenouille (*Typha angustifolia*), la pontédérie cordée (*Pontederia cordata*), le scirpe fluviatile (*Bolboschoenus fluviatilis*), le scirpe aigu (*Schoenoplectus acutus*) ainsi que la salicaire commune (*Lythrum salicaria*). (Benoit et al., 1987) Cette dernière espèce a été introduite et est considérée comme envahissante. D’ailleurs, une étude a comparé les espèces végétales des marais du lac Saint-Pierre de 2000 et 2015. Le nombre d’espèces indigènes a diminué de quatre, passant de 128 à 124 alors que le nombre d’espèces introduites est passé de 19 à 22, soit trois supplémentaires. L’auteur de l’étude a également observé que la répartition de certaines espèces facultatives des milieux humides s’est déplacée vers le lac. Cela est probablement dû à la baisse du niveau de l’eau engendrée par les changements climatiques. (Dubois, 2019) Il est possible de supposer qu’un phénomène semblable soit aussi observable dans les autres types de milieux humides. Cela est d’autant plus plausible que les milieux humides, comme tous les milieux naturels, sont des écosystèmes dynamiques amenés à évoluer dans le temps.

1.3.4 Herbier aquatique

L'herbier aquatique se trouve dans les zones du lac ayant deux mètres de profondeur tout au plus. Ce milieu naturel est dominé par des espèces floristiques submergées ou flottantes. (MDDEFP, 2013) Parmi ces espèces se retrouvent le nénuphar, l'élodée, le myriophylle et des algues. Ces habitats sont capitaux pour la faune. Plusieurs organismes de petite taille vivent sur la végétation. Certains poissons s'y abritent et s'y reproduisent. Les plantes représentent également une source de nourriture importante pour les canards. Les herbiers sont d'autant plus importants qu'ils recouvrent une bonne partie du lac. En effet, comme celui-ci est généralement peu profond, la lumière pénètre suffisamment pour permettre à la végétation de s'implanter. (Benoit et al., 1987) Au lac Saint-Pierre, les eaux peu profondes représentent environ 15 % des milieux humides (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2017).

1.3.5 Espèces à statut

La flore du lac Saint-Pierre est très diversifiée. En effet, plus de 500 espèces végétales sont identifiées à travers les divers types de milieux naturels (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018b). Il s'y retrouve plus d'une centaine d'espèces juste dans les marais (Dubois, 2019). Parmi toutes ces espèces, environ 50 possèdent un statut de protection au niveau fédéral et/ou provincial (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018b). C'est notamment le cas du noyer cendré susceptible d'être désigné menacé ou vulnérable au Québec (MELCC, 2020). Au Canada, il est considéré en voie de disparition selon la *Loi sur les espèces en péril*. L'arisème dragon (*Arisaema dracontium*) est une espèce préoccupante au Canada (*Loi sur les espèces en péril*) et menacée au Québec selon le *Règlement sur les espèces floristiques menacées ou vulnérables et leurs habitats*. Selon ce même règlement, la matteucie fougère-à-l'autruche, présente dans les marécages, est désignée comme vulnérable. Par ailleurs, certaines plantes détiennent le statut d'espèce exotique envahissante. Il y a le phalaris roseau, la salicaire commune, le phragmite commun (*Phragmites australis*), la renouée japonaise (*Fallopia japonica*), le butome à ombelle (*Butomus umbellatus*), l'hydrocaride grenouillette (*Hydrocharis morsus-ranae*) ainsi que le myriophylle à épi (*Myriophyllum spicatum*). La châtaigne d'eau (*Trapa natans*) est également susceptible d'apparaître au lac Saint-Pierre. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.g) Il est donc important de prendre des précautions pour éviter de l'introduire par mégarde dans ce milieu.

1.4 Faune

La grande diversité d'habitats au lac Saint-Pierre s'accompagne d'une pléthore d'espèces provenant de plusieurs taxons. Les animaux trouvent leurs nourritures, s'abritent et se reproduisent dans les divers milieux présents. Certaines espèces vivent au lac tandis que d'autres n'y sont que de passage. Parmi tous ces animaux, certains sont protégés alors que d'autres espèces sont envahissantes. (MDDEFP, 2013)

1.4.1 Poissons

Près de 70 % des espèces de poissons d'eau douce du Québec sont présentes au lac Saint-Pierre, soit environ 79 espèces (Comité du lac Saint-Pierre, 2017; MDDEFP, 2013). Il se pourrait que quelques-unes de plus fréquentent aussi le lac et son archipel. En effet, une quinzaine d'espèces potentiellement présentes possède un statut de protection au Québec et/ou au Canada comme le méné d'herbe (*Notropis bifrenatus*), le bar rayé (*Morone saxatilis*) qui a été réintroduit ou le dard de sable (*Ammocrypta pellucida*). L'espèce la plus notable est probablement le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) qui est endémique de la région. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.h) Ce poisson est menacé au Québec (MFFP, s. d.a) et en voie de disparition au Canada (*Loi sur les espèces en péril*). Pour ce qui est de la perchaude, malgré le moratoire, elle ne possède pas de statut (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.h). Par ailleurs, certaines espèces sont considérées comme des espèces exotiques envahissantes. C'est le cas pour le carassin (*Carassius auratus*), le gardon rouge (*Scardinius erythrophthalmus*), le gobie à taches noires (*Neogobius melanostomus*) et la tanche (*Tinca tinca*). (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.c)

1.4.2 Amphibiens et reptiles

Plusieurs amphibiens et reptiles vivent au lac Saint-Pierre. En fait, environ de 28 espèces y sont observables (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018b). Beaucoup d'habitats sont favorables pour le développement de ces espèces, dont la grenouille léopard (*Lithobates pipiens*), la grenouille verte (*Lithobates clamitans melanota*) et le ouaouaron (*Lithobates catesbeianus*) (Benoit et al., 1987; MDDEFP, 2013). Huit amphibiens et reptiles qui fréquentent parfois le lac Saint-Pierre possèdent un statut québécois et/ou canadien de

précarité. Il y a six espèces de tortues, soit la tortue serpentine (*Chelydra serpentina serpentina*), la tortue molle à épines (*Apalone spinifera*), la tortue géographique (*Graptemys geographica*), la tortue des bois (*Glyptemys insculpta*), la tortue mouchetée (*Emydoidea landingii*) et la tortue ponctuée (*Clemmys guttata*). La couleuvre verte (*Liochlorophis vernalis*) et la couleuvre tachetée (*Lampropeltis triangulum*) ont aussi un statut. La dernière espèce est la grenouille des marais (*Lithobates palustris*). (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.b) Il semblerait également que des tortues à oreilles rouges (*Trachemys scripta elegans*) soient présentes et elles sont considérées comme envahissantes (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.4).

1.4.3 Oiseaux

Le lac Saint-Pierre est la plus grande halte migratoire pour la sauvagine de l'est du Canada et possède quatre zones d'intérêt pour la conservation des oiseaux (ZICO). 288 espèces d'oiseaux vivent ou transitent par le lac. Certaines espèces s'arrêtent brièvement comme la bernache lors de leur migration alors que 168 autres restent assez longtemps pour y nidifier. Parmi les oiseaux nicheurs, il y a notamment les hérons qui forment la plus grande héronnière nord-américaine au lac Saint-Pierre. (MDDEFP, 2013) Par ailleurs, 23 espèces sont potentiellement présentes et possèdent un statut de protection au Québec et/ou au Canada. Neuf d'entre elles sont des espèces nicheuses, dont le martinet ramoneur (*Chaetura pelagica*) et le troglodyte à bec court (*Cistothorus platensis*). Les quatorze autres ont été aperçus dans le secteur depuis 1998. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.f) De plus, le cygne tuberculé (*Cygnus olor*) serait le seul oiseau désigné comme envahissant au lac Saint-Pierre (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.4).

1.4.4 Mammifères

Les mammifères sont aussi présents au lac Saint-Pierre avec 40 espèces différentes (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2017). Parmi celles-ci, il y a le rat musqué (*Ondatra zibethicus*), le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), l'orignal (*Alces americanus*), le castor (*Castor canadensis*), le renard roux (*Vulpes vulpes*) et le coyote (*Canis latrans*). (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018b; Ministère de l'Environnement et de la Faune, 1998) Les mammifères en péril potentiellement observable au lac Saint-Pierre sont constitués de quatre

chauves-souris et de deux micromammifères. Ceux-ci sont la chauve-souris argentée (*Lasionycteris noctivagans*), la chauve-souris cendrée (*Lasiurus cinereus*), la chauve-souris rousse (*Lasiurus borealis*), la pipistrelle de l'est (*Pipistrellus subflavus*), le campagnol-lemming de Cooper (*Synaptomys cooperi*) ainsi que le campagnol sylvestre (*Microtus pinetorum*). (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.e) Le chat domestique est le seul animal de ce taxon considéré comme envahissant (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.4).

1.4.5 Invertébrés

Les invertébrés sont nombreux au lac Saint-Pierre. De tailles généralement plus petites, les mollusques, les crustacés, et les insectes jouent un rôle de grande importance dans l'écosystème. (MDDEFP, 2013) Bien qu'il soit difficile d'estimer le nombre d'espèces présentes de chacun de ces groupes, certaines espèces possèdent un statut. Chez les insectes, le monarque (*Danaus plexippus*) est le seul considéré en péril avec son statut de préoccupant au Canada. Les mollusques ont deux représentants susceptibles d'être désignés menacés ou vulnérables, soit l'obovarie olivâtre (*Obovaria olivaria*) et le potamile ailé (*Potamilus alatus*). (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.d) Par contre, plusieurs espèces sont considérées comme envahissantes. Il y a quatre espèces de crustacés dont le crabe vert (*Carcinus maenas*), trois mollusques dont la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) et la moule quagga (*Dreissena bugensis*) ainsi que trois insectes dont l'agrile du frêne (*Agrilus planipennis*). (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.4)

1.5 Zones sensibles et zones protégées

Le long du Saint-Laurent, des traces d'érosion causées en partie par la navigation sont observées depuis des décennies. Au lac Saint-Pierre, il semblerait que les chenaux de l'archipel ainsi que les herbiers aquatiques soient les plus affectés notamment par la navigation de plaisance. (Dauphin, 2000) Par ailleurs, le lac est reconnu comme site Ramsar depuis 1998 pour l'importance internationale de ce milieu humide et Réserve mondiale de la biosphère par l'UNESCO en 2001. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.; MDDEFP, 2013; Ramsar, 2001) À cet effet, 44 aires protégées ont été créées dans la région et protègent

250 kilomètres carrés (MDDEFP, 2013). Ces aires protégées offrent différents niveaux de protection et sont décrites au tableau 1.2 (tiré de : MDDEFP, 2013).

Tableau 1.2 Nombre d'aires protégées selon leur type dans la région du lac Saint-Pierre (Tiré de : MDDEFP, 2013)

Type d'aire protégée	Nombre	Catégorie UICN
Habitat d'une espèce floristique menacée ou vulnérable	3	Ia
Habitat faunique	35	VI
Refuge d'oiseaux migrateurs	1	Ia
Refuge faunique	2	IV
Réserve écologique	2	Ia
Réserve naturelle reconnue	1	variable

Les catégories UICN traduisent le type de gestion. La catégorie Ia est la plus restrictive

1.6 Activités pratiquées

Le lac Saint-Pierre est un milieu naturel possédant une biodiversité incroyable. Parmi toutes les espèces présentes dans la région, il ne faudrait pas oublier l'humain. En effet, déjà bien avant la Nouvelle-France, les Amérindiens parcouraient le territoire. Les premiers colons à s'installer près du lac sont arrivés en 1634 avec la fondation de Trois-Rivières. (Ministère de la Culture et des Communications, s. d.) Quelques années plus tard en amont du lac, c'est au tour de la ville de Sorel d'être fondée (Objois, Jones et Olivier, 2005). Ainsi, avec le temps, la colonisation s'est étendue sur les berges. De nos jours, l'humain pratique plusieurs activités économiques et récréatives. Ces activités comprennent notamment l'agriculture, la villégiature, la chasse et la pêche ainsi que la navigation commerciale et de plaisance. Il est important de noter que toutes ces activités ont des impacts sur l'environnement qui s'additionnent ou agissent en synergie. Donc, même si cet essai porte sur la navigation de plaisance, il ne faut pas oublier que ce n'est pas la seule activité responsable des pressions au lac Saint-Pierre bien qu'elle ait son rôle à jouer.

1.6.1 Agriculture

Les terres de la région étant fertiles, il n'est pas étonnant que l'agriculture occupe une place importante (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2017; MDDEFP, 2013; Ramsar, 2001). Dans la zone littorale du lac, les milieux anthropiques occupent environ 5 547 hectares, dont 5 264 hectares de terres agricoles, soit 8,9 % et 8,4 % de la superficie totale respectivement. Toutefois, ce n'est pas la totalité de ces terres qui est cultivée, mais environ 5 000 hectares. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2017) Dans les années 1950, la majorité des cultures sont pérennes, ce qui correspond principalement au fourrage, au foin et aux pâturages (Dauphin et Jobin, 2016). Lors des crues printanières, ces cultures deviennent des milieux importants pour la reproduction de nombreux oiseaux, invertébrés aquatiques et poissons dont la perchaude (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2017). À partir des années 1960, l'agriculture s'est intensifiée et les cultures annuelles, notamment le soya et le maïs, ont remplacé la majorité des cultures pérennes et certains milieux naturels. En une quarantaine d'années, c'est près de 3 200 hectares qui ont été convertis. (Dauphin et Jobin, 2016) En 2014, il y avait près de 700 hectares convertis supplémentaires. Ces cultures annuelles facilitent l'apport de sédiments et d'éléments nutritifs dans les cours d'eau puisque le sol est généralement dénudé lors des crues printanières. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2017) L'utilisation d'engrais chimiques et de pesticides a aussi augmenté avec la conversion des cultures. Éventuellement, une portion de ces composés se retrouvent dans le lac Saint-Pierre, notamment sur la rive sud. (Trudeau, Rondeau et Simard, 2011) De plus, la faible qualité de la majorité des bandes riveraines dans la zone du littoral est défavorable à la stabilisation des berges et la rétention des sédiments (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2017).

1.6.2. Villégiature

Les gens peuvent venir dans la région pour découvrir les monuments historiques, profiter de la culture ou encore goûter aux saveurs locales comme la gibelotte des îles de Sorel, soit une soupe de poisson. En 2011, c'est près de 5,45 millions de touristes qui ont fréquenté les quatre régions administratives autour du lac et ont dépensé 603 millions de dollars (MDDEFP, 2013). Ils peuvent explorer la région en auto, en moto ou en vélo et emprunter la Route des navigateurs. Celle-ci traverse la région en longeant la rive sud du lac. (Baie-du-Febvre, s. d.b) Les curieux peuvent visiter le Biophare pour découvrir, entre autres, diverses

expositions en lien avec la richesse de la biosphère du lac Saint-Pierre (Biophare, s. d.c). Les villégiateurs peuvent également s'aventurer sur les multiples sentiers d'interprétation bordant le lac et voir la faune et la flore. D'ailleurs, c'est un endroit idéal pour observer les oiseaux surtout lors des migrations printanières et automnales. (Biophare, s. d.b; Tourisme Nicolet-Yamaska, s. d.) Pour davantage d'informations, notamment sur les migrations, il est possible de visiter le Centre d'interprétation de Baie-du-Febvre (Biophare, s. d.a; Baie-du-Febvre, s. d.a). La région est également idéale pour la navigation (Nautisme Québec, s. d.) ou pour pratiquer la chasse et la pêche (Tourisme Nicolet-Yamaska, s. d.).

1.6.3. Chasse et pêche

La chasse et la pêche attirent une vaste clientèle. Il est estimé que ce secteur d'activités engendre 2 millions de dollars annuellement en frais d'hébergement, d'alimentation et d'équipement pour la pratique des activités (MDDEFP, 2013). Depuis 1985, la Société d'aménagement récréatif pour la conservation de l'environnement du lac Saint-Pierre (SARCEL) gère la pratique de la chasse à la sauvagine contrôlée en milieu agricole. L'organisme possède 350 hectares et 155 hectares supplémentaires en servitudes fauniques. L'accès se fait par tirage au sort moyennant une certaine somme et les revenus sont reversés pour la conservation et l'éducation. (SARCEL, s. d.) Le Regroupement des Sauvaginaires du lac Saint-Pierre souhaite améliorer les conditions de chasse à la sauvagine en travaillant de concert avec les services gouvernementaux. Cependant, la sauvagine n'est pas la seule proie disponible. En effet, la chasse au cerf de Virginie qui gagnerait en popularité au Québec pourrait être amenée à croître dans la région. Par ailleurs, des lignes de trappages sont aussi déployées pour notamment attraper du rat musqué. (Dulude, 2017) De plus, il a trois pourvoiries sur le territoire qui offre des services quant à la chasse et la pêche, dont des forfaits et l'hébergement (Domaine du lac Saint-Pierre, s. d.; Pourvoirie du lac Saint-Pierre, s. d.; Pourvoirie Roger Gladu, s. d.). Deux sont situés à Saint-Ignace-de-Loyola, soit la Pourvoirie du lac Saint-Pierre (s. d.) et la Pourvoirie Roger Gladu (s. d.). La troisième, le Domaine du lac Saint-Pierre, se trouve à Louiseville (s. d.). Il est aussi possible de faire de la pêche sur glace en hiver (MDDEFP, 2013). Toutefois, une autorisation est nécessaire pour pouvoir pêcher dans l'aire faunique communautaire (AFC) du lac Saint-Pierre. L'AFC vise à améliorer la qualité de la pêche, à protéger la faune et ses habitats ainsi qu'à assurer un développement durable des secteurs récréatif et économique. (AFC, s. d.) Les pêcheurs recherchent principalement les dorés jaune (*Sander vitreus*) et noir (*S. canadensis*), le grand brochet (*Esox*

lucius), le maskinongé (*Esox masquinongy*), les achigans à grande bouche (*Micropterus salmoides*) et à petite bouche (*M. dolomieuil*), l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) et la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*). La perchaude était également très appréciée avant le moratoire. (Dulude, 2017) Pour ce qui est de la pêche commerciale, son histoire remonte à plus d'un siècle (Magnan, 2002). Par contre, elle a chuté en passant de 42 permis en 2002 à seulement six permis en 2008. L'une des principales raisons est le déclin des populations, dont la perchaude et l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). (Dulude, 2017)

1.6.4. Navigation commerciale

La voie navigable du Saint-Laurent occupe une place importante dans l'histoire du Québec surtout en ce qui concerne l'économie. Dès le début du 17^e siècle, le fleuve permet le commerce des fourrures entre la Nouvelle-France et la France. Pendant longtemps, les fourrures ont formé le pilier de l'économie. (Foster et Eccles, 2019) Avec le temps, l'économie s'est diversifiée et la navigation commerciale s'est développée. Cependant, la navigation et le transport de produits jusqu'à Montréal étaient grandement entravés au niveau du lac Saint-Pierre. Celui-ci étant peu profond, la taille des navires pouvant le traverser était limitée et les capacités techniques de dragage étaient restreintes. Il faut attendre en 1844 pour que les premiers travaux d'envergure voient le jour grâce aux machines à vapeur. En trois ans, 11 kilomètres ont été dragués à 2,1 mètres de profondeur sur 30 à 45 mètres de largeur. Quelques années plus tard, les hauts-fonds du lac ont également été approfondis. De 1855 à 1865 et de 1875 à 1882, ce sont 16,3 kilomètres qui ont été creusés à un peu plus de six mètres et 28,1 kilomètres qui ont été approfondis à près de sept mètres et demi de profondeur respectivement. Le chenal avait alors une largeur variant de 91 à 137 mètres. De 1883 à 1888, la profondeur du chenal a été augmentée à 8,4 mètres. Pendant les deux décennies suivantes, le gouvernement fédéral a fait draguer le chenal à une profondeur de 9,1 mètres ainsi que l'élargir à au moins 137 mètres dans les lignes droites et jusqu'à 243 mètres dans les courbes. À partir de 1902, une drague plus puissante à remplacer celles à vapeur et les travaux se sont achevés en 1907. Dès 1910 jusqu'à 1917, le chenal a été approfondi à 10,7 mètres. Dans les années qui ont suivi, seulement des travaux mineurs et d'entretien ont été effectués. Vers 1930, le niveau de référence a été revu à la baisse suite à des niveaux d'eau extrêmement bas. Alors de 1937 à 1952, le chenal a été creusé d'environ 0,3 mètre pour conserver sa profondeur de 10,7 mètres ainsi qu'élargi énormément dans les courbes et à au moins 167 mètres dans les portions rectilignes. La largeur minimale a été augmentée à 244 mètres de 1968 à 1970. Puis, en 1992,

le centre du chenal a été creusé à 11 mètres de profondeur sur 230 mètres de largeur. Enfin, c’est en 1998 que le chenal a atteint sa profondeur actuelle de 11,3 mètres. Tous ces travaux de dragage représentent des centaines de millions de mètres cubes de sédiments déposés dans le lac près du chenal et à l’embouchure pour former l’île aux Sternes. D’autres interventions ont également été effectuées, notamment l’installation de cinq ouvrages dans les îles de Sorel pour mieux contrôler le niveau d’eau en amont ainsi que des ouvrages pour mieux gérer les glaces. (Morin et Côté, 2003)

Aujourd’hui encore, la navigation commerciale est un secteur économique important pour le Québec. Il est toutefois difficile d’évaluer les retombées économiques de l’industrie maritime pour la région du lac Saint-Pierre. Par contre, des données sur le trafic maritime sont recueillies par Xpert Solutions Technologies (tableau 1.3 tiré de : Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a). Pendant trois ans, soit d’octobre 2014 à septembre 2017, le nombre de navires ainsi que leur taille ont été colligés. En moyenne, 4 830 navires traversent le lac annuellement dont 83 % sont commerciaux et 14 % sont de services (ex. garde-côtes). Les 3 % restant correspondent aux navires à vocation touristiques et nautiques. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a)

Tableau 1.3 Nombre de passages de navires sur le lac Saint-Pierre selon le type de navires entre le 1er octobre 2015 et le 30 septembre 2017 (Tiré de : Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a)

Type de navires	Nombre de passage		
	01 oct. 2014 au 30 sept. 2015	01 oct. 2015 au 30 sept. 2016	01 oct. 2016 au 30 sept. 2017
Navires commerciaux (ex. : vraquiers, conteneurs, cargos, citernes, etc.)	3 859	3 941	4 190
Navires de services (ex. : remorqueurs, garde-côtes, dragues)	524	695	792
Navires à vocations touristiques et nautiques (ex. : croisière, yachts voiliers, yachts motorisés)	162	177	151
Total	4 545	4 813	5 133

Pour ce qui est de la taille de ces bateaux, elle est limitée à une largeur maximale de 44 mètres depuis 2013. Le tableau 1.4 (tiré de : Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a) présente le nombre de passage au lac Saint-Pierre de 2014 à 2017 selon la taille des navires. Des 11 544 passages de navires commerciaux entre

2014 et 2017, la majorité sont des *Seawaymax* (entre 21 et 24,4 mètres de largeur) et des *Panamax* (entre 25 et 32,5 mètres de largeur), soit au moins 88 % annuellement. Environ 10 % des passages sont effectués par des navires de moins de 21 mètres de largeur tandis que les *Post-Panamax* (plus de 32,5 mètres) correspondent à 1 % des passages tout au plus. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a)

Tableau 1.4 Nombre de passages des navires au lac Saint-Pierre par intervalles de largeur entre 2014 et 2017 (Tiré de : Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a)

	Nombre de passage		
	2014-2015	2015-2016	2016-2017
≤ 20,99 m	406 (11 %)	417 (11 %)	332 (8,2 %)
Entre 21 m et 24,4 m (<i>Seawaymax</i>)	1 762 (48 %)	1 599 (42 %)	1 859 (46 %)
Entre 25 m et 32,5 m (<i>Panamax</i>)	1 500 (40 %)	1 734 (46 %)	1 816 (45 %)
≥ 32,5 m (<i>Post-Panamax</i>)	38 (1 %)	56 (1 %)	25 (0,6 %)
Total	3 706	3 806	4 032

Ces navires commerciaux peuvent se diriger vers les ports à proximité comme le port de Sorel-Tracy. Ce dernier est situé en amont du lac et reçoit des cargaisons régulièrement. Le principal import est l'ilménite de Havre-Saint-Pierre pour alimenter l'usine de Rio Tinto Fer et Titane, soit 70 % des déchargements. Les exports, d'importance moindre, sont acheminés un peu partout à travers le monde. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a) La principale destination reste néanmoins le port de Montréal. Celui-ci est un des principaux moteurs économiques de la métropole et le premier port en importance dans l'est du Canada. En croissance constante et à près de 85 % de sa capacité, l'agrandissement du port de Montréal à Contrecoeur, juste en amont de Sorel-Tracy, est envisagé sérieusement. En fait, selon des prévisions, le transport maritime, notamment de conteneurs, augmenterait dans les années à venir. (SNC-Lavalin, 2017) Il faudrait alors s'attendre à un accroissement du nombre de passages de navires commerciaux. Leur taille pourrait également augmenter, mais il y a quand même plusieurs restrictions physiques, dont la voie maritime.

Par ailleurs, la navigation commerciale est en partie responsable de l'érosion de certaines berges du fleuve Saint-Laurent. Selon une étude réalisée en 2000, les navires commerciaux auraient un impact sur l'érosion

des berges situées à 600 mètres et une influence jusqu'à 800 mètres. Le lac Saint-Pierre serait donc presque totalement épargné puisque seulement deux kilomètres de rives seraient situés à moins de 800 mètres de la voie de navigation. Il était tout de même recommandé de diminuer la vitesse des navires lorsqu'ils traversent l'archipel. (Dauphin, 2000) Toutefois, la taille des navires a augmenté depuis (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a). Il faudrait peut-être reconsidérer l'impact des navires commerciaux, surtout de grande taille, sur l'érosion des berges du lac Saint-Pierre ainsi que sur la biodiversité.

1.6.5. Navigation de plaisance

La navigation de plaisance ou le nautisme comprend l'« ensemble des activités nautiques relatives à la navigation et pratiquées pour l'agrément » (Gouvernement du Québec, s. d.). Ainsi, la navigation de plaisance comprend les embarcations motorisées et à propulsion humaine. L'industrie du nautisme s'étend aux écoles nautiques, aux pourvoies, aux organismes publics et autres qui travaillent autour des plaisanciers. (Plan d'action Saint-Laurent, 2017) Cette industrie serait à l'origine d'une grande portion des retombées économiques du tourisme dans la région du lac Saint-Pierre (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a). Ceux-ci s'élevaient à 603 millions de dollars en 2011 (MDDEFP, 2013). En 2009, une étude a estimé qu'environ 16 128 bateaux et 45 797 plaisanciers parcourent le lac pendant la période estivale (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018b). À bord d'une variété d'embarcations, les plaisanciers apprécient particulièrement de se promener dans l'archipel. Il semble également que le surf aérotracté soit de plus en plus populaire dans la région. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a)

Un élément particulièrement important de la navigation de plaisance est l'accès au plan d'eau. Plusieurs accès sont privés, mais il en existe aussi des publics. Au total dans la région du lac Saint-Pierre, il y a 41 points d'accès publics qui sont des marinas et/ou des rampes de mise à l'eau (figure 1.3). Les marinas, avec ou sans rampe de mise à l'eau, sont au nombre de 17. Pour 12 d'entre elles, il y a près d'une centaine de places à quai en moyenne. Seulement deux marinas possèdent plus de 200 places et elles se situent à Sorel-Tracy. Les deux autres plus grosses marinas ont une centaine de places et se trouvent à Pierreville et à Sainte-Anne-de-Sorel. Les huit marinas restantes offrent moins d'une centaine de places. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2020). Par ailleurs, une bonne partie des points d'accès se situe en amont du lac, soit à proximité de l'archipel.

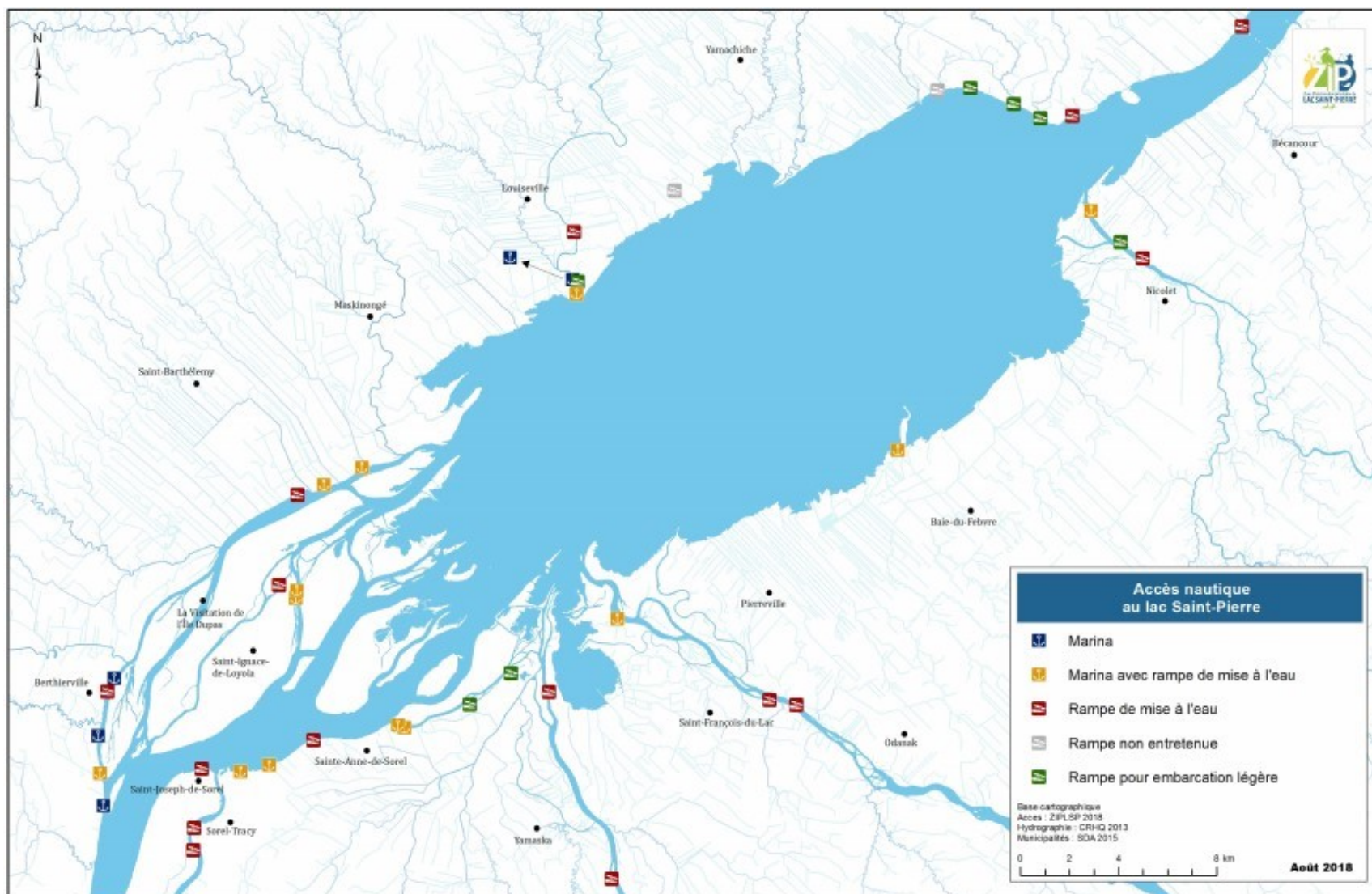


Figure 1.3 Localisation des accès nautique au lac Saint-Pierre et à proximité (Tiré de : Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018a)

2. ACTEURS CONCERNÉS

Plusieurs acteurs sont concernés quant à la gestion de la navigation de plaisance au lac Saint-Pierre. Bien que certains possèdent davantage de pouvoir, tous peuvent agir à différentes échelles. Chacun joue un rôle important que ce soit le gouvernement, les municipalités, le Comité ZIP du lac Saint-Pierre ou les plaisanciers.

2.1 Gouvernement

Au Canada, le gouvernement possède des pouvoirs lui permettant de gérer les aspects socio-économiques et environnementaux du Saint-Laurent. Les différents pouvoirs sont divisés entre le gouvernement fédéral et le gouvernement provincial selon la *Loi constitutionnelle de 1867*.

2.1.1 Gouvernement canadien

Le gouvernement fédéral agit par l'entremise principalement d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), de Pêches et Océans Canada (MPO) et de Transports Canada (TC). Le premier ministre s'occupe notamment de protéger l'environnement et de préserver le patrimoine naturel (Gouvernement du Canada, 2020a). Pour accomplir ses objectifs, l'ECCC peut s'aider de lois comme la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, la *Loi sur les pêches* et la *Loi sur les espèces en péril*. Ce ministère peut aussi gérer des politiques et des programmes environnementaux. Le MPO, quant à lui, fournit plusieurs services permettant aux usagers de naviguer sécuritairement sur les plans d'eau canadiens. (Plan d'Action Saint-Laurent, 2016) Sous sa responsabilité, le Service hydrographique du Canada rend disponibles des cartes marines et d'autres informations utiles à la navigation (MPO, 2020). La Garde côtière assure la sécurité des navigateurs ainsi que l'utilisation des voies navigables respectueuses de l'environnement (Plan d'Action Saint-Laurent, 2016). Pour ce qui est de TC, il y a plusieurs lois à sa disposition pour garantir la circulation sécuritaire des embarcations de plaisance, des bateaux de pêche ou toutes autres embarcations (Gouvernement du Canada, 2020b; Plan d'Action Saint-Laurent, 2016). Avec la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* et le *Règlement sur les restrictions visant l'utilisation des bâtiments*,

le fédéral peut imposer des restrictions à la navigation sur un plan d'eau. Cela peut notamment comprendre l'interdiction de certains ou de tous les types de bateaux, la prohibition du ski nautique à certains moments ou en tout temps ainsi que la limitation de la vitesse. (Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation [MAMH], s. d.a)

Il est possible de croire que la mise en place d'éventuelles améliorations pour protéger le lac Saint-Pierre soit compliquée. En effet, le processus pour faire adopter une nouvelle loi ou la modifier par le Parlement peut s'avérer long et complexe (Parlement du Canada, 2011). Toutefois, il n'est pas impossible que le gouvernement fédéral, via ses ministères, développe des programmes ou autres moyens de préservation par exemple. En effet, le gouvernement canadien possède plusieurs outils à sa disposition pour apporter des modifications à la navigation au lac Saint-Pierre. Ces améliorations pourraient peut-être même s'appliquer aux autres plans d'eau canadiens navigables et mieux les protéger.

2.1.2 Gouvernement québécois

Le gouvernement provincial possède également plusieurs moyens pour améliorer la gestion de la navigation de plaisance au lac Saint-Pierre. D'ailleurs, quelques ministères sont davantage concernés par la question. Le MELCC a pour principales missions la protection de l'environnement et de la biodiversité ainsi que la lutte contre les changements climatiques. Il peut préparer, coordonner et même réaliser des projets, des stratégies et des programmes pour atteindre ses objectifs. Il peut notamment concevoir des politiques, des lois et des règlements. (MELCC, s. d.) Le MELCC a déjà plusieurs textes législatifs à sa disposition tels que la *Loi sur la qualité de l'environnement*, la *Loi sur le développement durable*, la *Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune* ou la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* (Plan d'Action Saint-Laurent, 2016). Le MFFP joue également un rôle important dans la protection de la faune comme lorsqu'il a imposé le moratoire sur la pêche à la perchaude en 2012 (MFFP, s. d.b). Pour s'aider, il peut, entre autres, s'appuyer de la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables*. Le ministère des Transports (MTQ) s'applique à développer le secteur maritime pour qu'il soit durable. Il souhaite notamment adopter une gestion environnementale et socio-économique pérenne de la navigation commerciale et de plaisance grâce à la Stratégie de navigation durable pour le Saint-Laurent. (MTQ, s. d.)

Il semble donc que l'amélioration des pratiques de navigation de plaisance concorde avec la vision de différents ministères du gouvernement québécois. Le gouvernement aurait alors intérêt à prendre les mesures nécessaires pour protéger l'environnement et l'économie relatifs à la navigation de plaisance.

2.2 Municipalités régionales de comté et municipalités

Les municipalités régionales de comté (MRC) sont des entités administratives permettant la coordination des municipalités locales pour que celles-ci travaillent de concert sur certains aspects. D'ailleurs, le conseil se compose des maires et autres représentants des municipalités présentes sur le territoire de la MRC. (MAMH, s. d.b) Une MRC possède plusieurs responsabilités, dont celle de définir les zones de plaines inondables et de contraintes pour les rives et le littoral selon la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*. Elle peut également prendre des mesures pour préserver les milieux qu'elle considère d'intérêt écologique dans son schéma d'aménagement et de développement. (Plan d'Action Saint-Laurent, 2016)

Les municipalités, suivant le plan d'aménagement de leur MRC, réalisent et mettent en place un plan d'urbanisme à l'aide de divers outils. Le développement anthropique ne devrait pas se faire au détriment de l'intégrité des rives, du littoral ou des plaines inondables. Pour la réalisation de travaux comme la stabilisation des berges ou la confection de quais, il faut une autorisation municipale. (Plan d'Action Saint-Laurent, 2016) Une municipalité peut aussi aider les riverains à revégétaliser leurs bandes riveraines pour mieux les protéger de l'érosion causée par les vagues notamment. À Magog par exemple, des plantes sont distribuées à faible coût depuis 10 ans pour encourager la végétalisation des berges (Ville de Magog, 2019). De plus, une municipalité peut protéger ses plans d'eau en règlementant directement la navigation de plaisance. En effet, elle possède l'autorité pour gérer les débarcadères autorisés, les permis de mises à l'eau, les conditions d'obtention de ce permis ainsi que l'obligation de nettoyer les embarcations. Une municipalité peut également faire une demande au gouvernement fédéral pour imposer ou modifier des restrictions à la navigation de plaisance telles que la limite de vitesse ou l'interdiction de certains types d'embarcations. Les restrictions peuvent être adaptées en limitant la vitesse sur une certaine largeur autour du plan d'eau plutôt que pour toute sa superficie par exemple. L'adaptation peut aussi faire référence à une période où la restriction s'applique. (MAHM, s. d.a) Cela pourrait être le cas notamment lors de la saison du frai de certaines espèces de poissons.

Dans le cas du lac Saint-Pierre, plusieurs municipalités et MRC sont concernées. Bien qu'une municipalité veuille règlementer la navigation de plaisance ou faire une demande au gouvernement fédéral, elle n'est pas seule. Idéalement, il lui faudrait l'appui des autres municipalités, voire des MRC. Toutefois, il est dans l'intérêt de tous de préserver la qualité du lac Saint-Pierre, ses rives et ses plaines inondables pour continuer à jouir de ses bienfaits et de ses services écologiques encore longtemps.

2.3 Plaisanciers

Les plaisanciers sont des personnes qui ont pour loisir la navigation et sont les principaux concernés quant à l'impact des embarcations plaisances. Selon l'Association maritime du Québec (AMQ), un Québécois sur dix était propriétaire d'une embarcation de plaisance en 2017-2018. Parmi les milliers de membres de l'association, la majorité des plaisanciers sont des hommes, soit 69 %. Les embarcations privilégiées sont les bateaux à moteur, les voiliers, les embarcations non motorisées et les bateaux de pêche, soit respectivement 41 %, 20 %, 15 % et 13 % des membres. Une minorité utilise des pontons (6 %) ou des motomarines (5 %). (AMQ, 2018) Sans extrapoler ces chiffres à tous les plaisanciers du Québec ou au lac Saint-Pierre, des tendances peuvent être observées. En effet, il est possible de croire que la majorité des plaisanciers au lac Saint-Pierre soit de sexe masculin et qu'une bonne proportion possède des bateaux à moteur. Cela peut être intéressant pour mieux établir le public cible lors de l'élaboration de recommandations, bien qu'il ne faut pas oublier les minorités. Il est primordial d'inclure tous les plaisanciers pour trouver et mettre en place des solutions durables. Leur participation et leur bonne volonté sont une nécessité pour mener à bien la préservation et la mise en valeur du lac Saint-Pierre.

2.4 Comité ZIP du lac Saint-Pierre

Les ZIP ou zones d'intervention prioritaire sont des territoires tout le long du Saint-Laurent délimités socialement et écologiquement. Créés en 1988 par Environnement Canada, les ZIP devaient être gérés par une collaboration entre les citoyens et les acteurs sociaux. Leur mission est de développer leur portion du Saint-Laurent tout en assurant sa protection. De son côté, l'Union québécoise pour la conservation de la nature, soutenue par plusieurs groupes environnementaux, souhaitait que la population et les décideurs

locaux puissent s'impliquer plus facilement dans la préservation et la mise en valeur du Saint-Laurent. C'est alors qu'ils ont fondé Stratégies Saint-Laurent (SSL) en 1989. Le programme ZIP de 1993 regroupe ces deux approches de collaboration et permet de soutenir financièrement les concertations. Les comités ZIP découlent de ce programme et ils collaborent entre eux pour garder une vision d'ensemble du Saint-Laurent avec l'aide de SSL. (Plan d'action Saint-Laurent, 2012a) Présentement au nombre de douze, les comités ZIP ont pour mission de favoriser la concertation entre les différents usagers du Saint-Laurent pour résoudre les problèmes locaux et régionaux (SSL, s. d.b). Les membres des comités ZIP sont responsables d'amener des points de convergence quant à la façon d'agir malgré les contradictions d'opinions. Ils encouragent les consensus pour décider des gestes à poser en priorité pour satisfaire les attentes de la population. Ils regroupent des acteurs qui autrement n'arriveraient pas à discuter pour travailler sur une vision commune de la restauration et la préservation du Saint-Laurent. Les comités ZIP permettent également aux acteurs de partager leurs informations et leur expertise. (Plan d'action Saint-Laurent, 2012a; SSL, s. d.b)

Fondé en 1993, le Comité ZIP du lac Saint-Pierre a été mis sur pied par la Corporation pour la mise en valeur du lac Saint-Pierre. Il est devenu indépendant en 1996. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a; SSL, s. d.a) Il a pour but la concertation des acteurs locaux, régionaux et provinciaux pour préserver et développer le tronçon fluvial du lac Saint-Pierre. Pour faciliter la participation de tous, le gouvernement du Québec souhaite établir des tables de concertation régionales (TCR), soit une douzaine, pour harmoniser la gestion intégrée du Saint-Laurent (GISL). Il y a quelques années, le Comité ZIP du lac Saint-Pierre a fondé la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre (TCRLSP). Le Comité ZIP est responsable de la coordination de la TCRLSP et participe activement aux échanges. Les autres membres, soit plus de 70 organismes variés, comprennent entre autres des instances gouvernementales et municipales, des fédérations agricoles, des institutions d'enseignement et de recherche, une communauté autochtone, des organismes de bassins versants, des entreprises privées, des organismes environnementaux et des citoyens. Ils sont regroupés par secteurs ou catégories d'acteurs qui partagent des similitudes. Chacun des groupes est représenté par un membre à la table principale, ce qui équivaut à près d'une trentaine de personnes. La composition des sièges se veut équilibrée et représentative des acteurs. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a) Ainsi rassemblés, les intervenants régionaux pourront se concerter pour conceptualiser, réaliser et assurer le suivi d'un plan de gestion intégrée régionale (PGIR). Ce PGIR correspondra alors aux besoins et aux intérêts de la région. (Plan d'action Saint-Laurent, 2012b)

À l'heure actuelle, la TCRLSP a identifié cinq sujets prioritaires, soit la conservation des milieux humides et hydriques, la cohabitation agriculture-faune en zone littorale, l'amélioration de la qualité de l'eau, la gestion écologique des niveaux d'eau ainsi que la navigation commerciale, de plaisance et autochtone durables. La navigation autochtone fait référence aux déplacements sur l'eau de ces peuples. La TCRLSP s'est également donné comme mandat d'éduquer la population sur la GISL. (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a)

Donc, pour préserver et mettre en valeur le lac Saint-Pierre, il est primordial que la TCRLSP soit consultée. Toutes mesures pour y parvenir doivent s'inscrire dans leur PGIR. Il semble toutefois qu'il soit dans leur intérêt d'agir puisque la Table considère la gestion de la navigation de plaisance comme une priorité (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a). Ensemble, ils pourront se concerter et arriver à un consensus qui leur conviendrait pour appliquer les recommandations proposées ou les modifier pour qu'elles soient davantage adaptées à la réalité sur le terrain.

3. EMBARCATIONS DE PLAISANCE

Il existe différents types d'embarcations de plaisance. Ces dernières sont utilisées à des fins personnelles, notamment pour le loisir. Elles varient en forme, en taille et en mode de propulsion. (Boisclair, 2012) Selon les préférences et les activités qu'ils souhaitent réaliser, les plaisanciers sélectionnent l'embarcation qui leur convient le mieux. Celle-ci peut être à propulsion manuelle ou motorisée, à voile ou de type plus particulier.

3.1 Embarcations à propulsion manuelle

Les embarcations à propulsion manuelle regroupent plusieurs engins flottants qui se déplacent grâce à la force musculaire. Cela comprend notamment les canots, les kayaks, les pédalos, les *paddleboards* et les rabaskas. En fait, toutes embarcations avançant à l'aide de pagaies, de rames ou de pédales font partie de ce groupe (Savard, 2000). Pour cet essai, l'attention est particulièrement portée sur les canots et les kayaks. Il est toutefois possible de croire que les autres types d'embarcations à propulsion manuelle agissent de façon similaire sur l'environnement.

Les canots et les kayaks sont des embarcations très pratiques qui gagnent en popularité. Les deux se transportent plutôt facilement en dehors de l'eau. Ils ne nécessitent pas non plus de dispositif particulier pour les mettre à l'eau et peuvent alors accéder au lac d'à peu près n'importe où. (Savard, 2000) Au lac Saint-Pierre et ses environs, il est également possible d'en louer à plusieurs endroits. Ils sont idéaux pour se promener dans l'archipel et observer la faune. En effet, une dizaine de centimètres d'eau suffisent pour le passage de ce type d'embarcation. Les canots et les kayaks peuvent donc se promener aisément dans les milieux humides. (Savard, 2000) Ils peuvent aussi circuler en eau libre, bien que le canot soit plus instable et influencer par les vagues (Boisclair, 2012). De plus, il est estimé qu'un canot peut avancer à une vitesse de cinq à sept kilomètres par heure tandis qu'un kayak peut posséder une vitesse de dix à douze kilomètres par heure (LocationCanot.com, s. d.). La vitesse peut varier en fonction de la forme (Coulombe, 2011; Hugonnier, s. d.), mais aussi avec le vent, les vagues et les capacités physiques du navigateur.

3.2 Voiliers

Les voiliers sont des embarcations propulsés grâce au vent qui souffle dans la ou les voiles. Il est possible de les distinguer en deux groupes, soit les petits voiliers et les voiliers de taille moyenne à grande. Les premiers font moins de six mètres alors que les seconds sont plus grands. Parmi les petits voiliers se retrouvent la planche à voile, les petits dériveurs lestés ou non ainsi que les petits catamarans et multicoques. Les voiliers de taille supérieure sont principalement de gros dériveurs lestés et des quillards. Ce sont des embarcations qui nécessitent une certaine profondeur d'eau pour pouvoir naviguer. Ainsi, elles ne sont pas adaptées pour aller se promener dans les milieux humides ou même près des rives pour certains voiliers de grande taille. De plus, les voiliers sont généralement lents en raison de leur morphologie, surtout les gros dériveurs lestés et les quillards. Leur vitesse est habituellement inférieure à 18,5 kilomètres par heure. Il en résulte aussi un sillage modeste. Par ailleurs, certaines embarcations peuvent posséder un petit moteur. Comme les voiliers ne déjaugent pas, il n'est pas nécessaire, voire recommandé, d'installer un moteur plus puissant. Certains gros dériveurs lestés ont également des ballasts pour davantage de stabilité. (Savard, 2000) Les ballasts sont des réservoirs emmagasinant de l'eau pouvant entre autres servir à stabiliser le bateau (Gouvernement du Canada, 2010).

3.3 Embarcations à moteur

Les embarcations à moteur, comme leur nom l'indique, sont propulsées par un ou plusieurs moteurs. Ces derniers peuvent être électrique, à essence ou diesel ainsi que posséder une large gamme de tailles et de puissances. Les caractéristiques des embarcations à moteur telles que la morphologie et la longueur sont également très variables. Dans le cadre de cet essai, les embarcations sont divisées entre les moteurs hors-bords et intérieurs, les motomarines, ainsi que les bateaux à fort sillage ou *wakeboats*.

3.3.1 Moteurs hors-bords et intérieurs

La différence entre les hors-bords et les moteurs intérieurs (ou *in-board*) vient principalement de la position et l'accès au dit moteur. Ces embarcations peuvent servir pour pêcher ou se promener tranquillement autant que pour se déplacer très rapidement. (Savard, 2000) Selon l'utilisation, la taille du

bateau et la puissance du moteur varient. Plus ceux-ci augmentent, plus les vagues engendrées à une vitesse donnée sont grandes. Par exemple, lorsqu'une petite embarcation atteint une vitesse suffisante pour planer, elle génère des vagues oscillant à une hauteur approximative de 25 centimètres. Des embarcations de taille plus imposante engendrent facilement des vagues plus hautes. (Issa, 2019) De plus, les moteurs sont généralement bruyants et des silencieux peuvent parfois être requis comme pour les bateaux de course et les *cigar-boats*. Il y a une exception pour les moteurs électriques, ceux-ci étant peu bruyants. (Savard, 2000)

3.3.2 Bateau à fort sillage

Les bateaux à fort sillage, ou *wakeboats*, sont des embarcations de plaisance permettant de naviguer sur l'eau et sont également idéales pour pratiquer des sports nautiques tractés. Ils peuvent se déplacer et se comporter comme les autres bateaux à moteur hors-bord ou intérieur. À la différence des autres bateaux à moteur, ces engins sont capables de générer différents types de vague. (Mercier-Blais et Prairie, 2014) Ils possèdent tous un système de ballasts positionné au centre et à l'arrière du bateau. (Côté, 2014, 3 août) En naviguant normalement, soit en laissant les ballasts vides, ils font des vagues de façon similaire aux autres. Lorsqu'un seul côté des ballasts est rempli, ce type d'embarcation produit des vagues de wakesurf. Il est également possible de remplir les deux côtés des ballasts pour obtenir des vagues de *wakeboard*. (Mercier-Blais et Prairie, 2014) La vocation des bateaux à fort sillage pour les sports nautiques pourrait expliquer la faible proportion de plaisanciers optant pour ce type d'embarcation (AMQ, 2011), considérant que tous ne sont pas adeptes de ce genre d'activité.

3.3.3 Motomarine

Les motomarines se distinguent des autres embarcations à moteur en employant une turbine plutôt qu'une hélice. Cette turbine aspire et propulse de l'eau à travers une tuyère pour faire avancer ce type d'embarcation. Ce mécanisme nécessite une profondeur d'au moins 60 centimètres pour pouvoir naviguer. Dans le cas contraire, des particules telles que de la vase ou des débris pourraient fortement endommager l'appareil en traversant la tuyère. Par ailleurs, le jet de propulsion de la turbine est inférieur au jet d'hélice à puissance équivalente. Pour ce qui est des vagues produites, elles sont aussi moindres

généralement que celles générées par d'autres bateaux à moteur. Les vagues des motomarines sont d'environ 45 centimètres. De plus, ces engins sont reconnus pour émettre beaucoup de bruits. (Savard, 2000) Ils sont tout de même moins bruyants sous la surface de l'eau que d'autres embarcations à moteur (Erbe, 2013). Cependant, l'intensité des sons émis varie avec la vitesse et les rebonds de la coque sur l'eau. Les motomarines, possédant une grande manœuvrabilité, changent beaucoup plus facilement de vitesse et de direction et peuvent passer plus de temps dans une même zone. (Komanoff et Shaw, 2000) Il semble alors que le son émis perdure plus longtemps à un endroit donné que lors d'un passage simple d'un autre type d'embarcation.

3.4 Véhicule amphibie

Certaines embarcations atypiques et peu répandues peuvent s'inviter au lac Saint-Pierre. C'est notamment le cas du véhicule amphibie qui pourrait possiblement être employé dans les années à venir. Ces engins sont conçus pour se déplacer aussi bien sur la terre ferme que dans l'eau. Ils avancent comme des véhicules sur terre et flottent comme un bateau. Ils sont adaptés pour se mouvoir dans les milieux humides et passer d'un environnement à un autre. Ils sont propulsés par un moteur interne et certains possèdent des chenilles. (Hydratrek, s. d.) D'autres véhicules sont plutôt munis de pneus larges. Ils sont accessibles au public pour quelques milliers de dollars américains. Leurs prix peuvent varier d'une à plusieurs dizaines de milliers de dollars. (Argo, s. d.) Ces engins s'utilisent à des fins récréatives, mais sont également employés aux États-Unis par l'armée, le gouvernement et plusieurs industries. Ils pourraient même servir à la restauration des milieux humides. (Hydratrek, s. d.) Au Québec, certains prototypes voient le jour. Un entrepreneur croit que les véhicules amphibies pourraient remplacer les autres véhicules récréatifs puisqu'ils sont adaptés pour toutes les conditions climatiques et tous les milieux (Dauphinais-Pelletier, 2018, 1er novembre). Pour l'instant, ces engins sont peu présents sur le territoire, mais pourraient gagner en popularité.

4. IMPACTS DES EMBARCATIIONS DE PLAISANCE

La navigation de plaisance est une activité divertissante et pouvant procurer du plaisir de différentes façons aux usagers, qu'ils soient seuls, entre amis, en couple ou en famille. Certains aiment bien passer un moment tranquille pour pêcher. D'autres en profitent pour se tenir en forme lors d'une promenade en kayak. D'autres encore se détendent au soleil ou pratiquent un sport nautique. Ce loisir attire aussi plusieurs touristes dans la région. Ceux-ci dépensent dans les restaurants, les hébergements lorsqu'ils passent plusieurs jours ou tous autres services offerts. Ils permettent de faire tourner l'économie locale. La navigation de plaisance ne se limite toutefois pas au secteur socio-économique. En effet, elle peut engendrer divers impacts pour l'environnement. Certains effets sont directement liés à la navigation comme la mise en suspension des sédiments alors que d'autres sont indirects et découlent d'une chaîne de réactions plus ou moins longue (Lubinski et al., 1981). Par exemple, une augmentation des sédiments en suspension, et donc, de la turbidité peut nuire à la reproduction chez certaines espèces de poisson. Les impacts sur les milieux naturels et la biodiversité peuvent être d'ordres physiques, chimiques ou biologiques.

4.1 Impacts physiques

Les impacts physiques de la navigation de plaisance sont principalement causés par les vagues produites par les embarcations. Ces vagues sont la résultante du déplacement de l'embarcation dans l'eau. En avançant, la coque du bateau, qu'elle soit plus ou moins hydrodynamique, repousse l'eau de part et d'autre de façon perpendiculaire. Ce déplacement de l'eau forme un gradient de pression autour du bateau qui varie selon la morphologie de l'embarcation et sa vitesse. Une plus forte pression se reflète par le relèvement du niveau d'eau alors qu'un niveau plus bas signifie que la pression est plus faible. Lorsque l'embarcation possède une coque typique, l'allure de l'eau permet de visualiser une augmentation de la pression à la proue et à la poupe ainsi qu'une diminution de la pression à son centre. La pression génère alors un mouvement de haut en bas continu de l'eau tout au long du passage de l'embarcation. Cette oscillation se traduit par la génération des vagues de sillage. Ces dernières se divisent en deux catégories (figure 4.1 tirée de : Sorensen, 1997). La première regroupe les vagues perpendiculaires à la ligne de passage de l'embarcation. Ce sont les vagues transversales et elles sont générées par la poupe. La deuxième catégorie comprend les vagues qui s'écartent diagonalement de la ligne de passage de

l'embarcation, d'où leur nom de vagues divergentes. Celles-ci sont produites par la proue. (Péloquin-Guay, 2013; Sorensen, 1997)

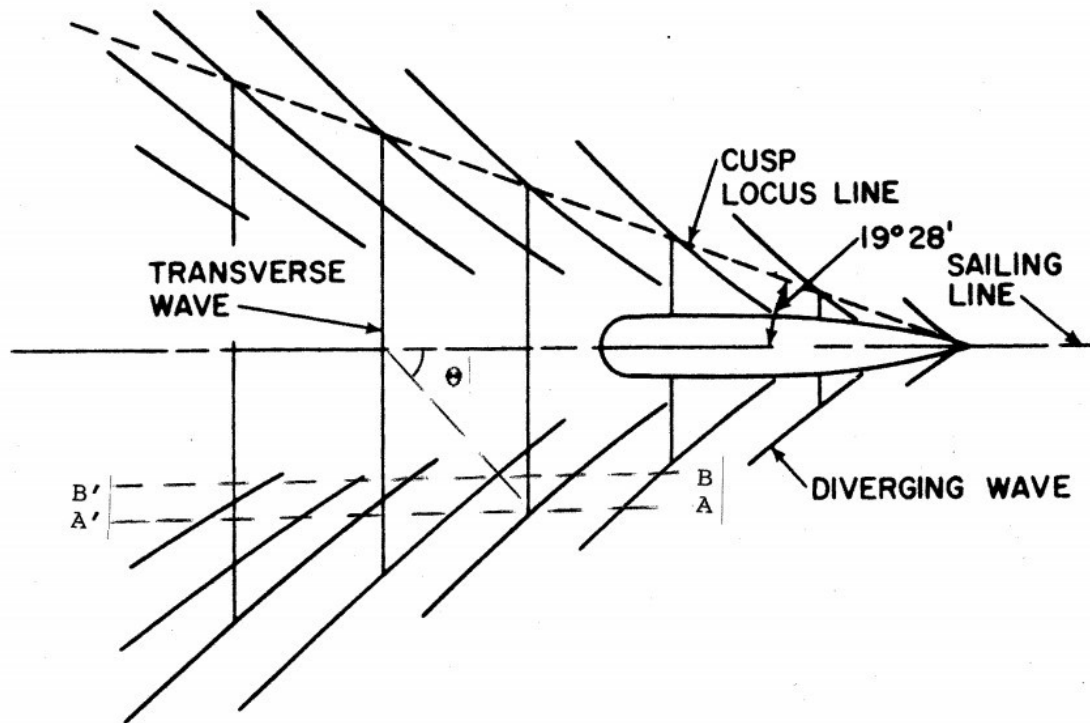


Figure 4.1 Schéma des deux types de vague générée par les embarcations (Tiré de : Sorensen, 1997)
Diverging wave : vague divergente; Transverse wave : vague transversale; Cusp locus line : ligne de pointe où se rencontrent les deux types de vagues; Sailing line : ligne de navigation

En eau profonde, les vagues vont pouvoir dissiper toute leur énergie avant d'atteindre le fond ou la rive, et ce, des deux côtés du navire. Les bateaux étant généralement symétriques, leurs vagues le sont tout autant. Alors, la hauteur maximale des vagues est la même de chaque côté ainsi qu'à la même distance de l'embarcation. L'oscillation atteint son apogée lorsque les deux types de vagues se rencontrent et que leur énergie s'additionne. La hauteur maximale est illustrée à la figure 4.1 par la ligne de pointe (*cusp locus line*). Lorsqu'une embarcation navigue en eau peu profonde, les vagues ne réagissent pas tout à fait de la même façon. (Sorensen, 1997) Effectivement, ne pouvant pas atteindre leur pleine amplitude avant d'atteindre le fond de l'eau, elles se répercutent et s'élèvent alors davantage (Levasseur, 2009; Sorensen, 1997). Il faut toutefois noter que la qualification de la profondeur de l'eau ne se fait pas à partir d'une

donnée constante. Celle-ci dépend de la longueur de la vague produite par l'embarcation. Ainsi, une eau est considérée comme peu profonde lorsque sa profondeur est inférieure à approximativement la moitié de la longueur de la vague (Sorensen, 1997). La longueur et les autres caractéristiques des vagues comme la hauteur ou la période dépendent entre autres de la vitesse de l'embarcation, la forme de sa coque, sa distanciation de la rive (Péloquin-Guay, 2013, Sorensen, 1997), sa taille, la distribution de son poids et évidemment, la profondeur de l'eau (Issa, 2019). Cependant, il est difficile de prévoir comment ces variantes interagissent entre elles. Il est d'autant plus difficile de savoir comment les variantes vont influencer les caractéristiques des vagues, notamment puisque les effets sont non linéaires (Soomere, 2007). La vitesse de l'embarcation est un cas bien documenté. Lorsque le bateau avance lentement et que la proue reste en tout temps dans l'eau, soit la vitesse de déplacement, les vagues générées sont les plus faibles. En accélérant, le moteur s'enfonce davantage dans l'eau et soulève une partie de la proue hors de l'eau. C'est la vitesse de transition et celle-ci engendre les vagues les plus fortes. Avec certaines embarcations, il y a une possibilité d'accélérer davantage et d'atteindre la vitesse de planage. À ce stade, la coque est presque entièrement hors de l'eau. Les vagues générées sont plus importantes que pour la vitesse de déplacement. Elles sont toutefois inférieures à celles de la vitesse de transition. (Issa, 2019; Sorensen, 1997)

Un autre impact physique de la navigation de plaisance est engendré par l'hélice. Cette dernière produit un jet sous la surface de l'eau. Celui-ci cause de la turbulence qui peut se propager jusque dans le fond du cours d'eau. L'effet est généré en fonction du diamètre de l'hélice, de sa force, et de sa distance par rapport au fond de l'eau (Mujal-Colilles, Gironella, Sanchez-Arcilla, Polo et Garcia-Leon, 2017). Donc, l'impact n'est pas le même selon l'endroit où se situe l'embarcation et de l'utilisation. L'effet est moins grand lors de déplacement à basse vitesse qu'à haute vitesse. La puissance maximale du jet d'hélice est atteinte lorsque le bateau est à l'arrêt et qu'il démarre. Ainsi, les zones les plus sensibles sont généralement les quais, les rampes de mise à l'eau, les écluses et dans les courbes. (Bouchard, 1983) Selon une étude, une hélice de moteur peut perturber le lit d'un cours d'eau se situant à environ trois mètres de profondeur (Symonds, Britton, Donald et Loehr, 2017). Le lac Saint-Pierre ayant en moyenne trois mètres de profondeur en dehors de la voie navigable, il est très probable que le passage d'embarcations engendre de la turbulence jusqu'au fond du lac.

Ensemble, les vagues et le jet d'hélice engendrent le batillage, soit l'abaissement moyen du plan d'eau lorsque l'embarcation passe. L'impact du batillage dépend donc de l'intensité des vagues et du jet d'hélice.

(Issa, 2019) Ceux-ci varient notamment avec le type d'embarcation, la vitesse et la distance avec la rive ou le fond du cours d'eau. Un autre aspect important à considérer est la fréquence des passages. (Péloquin-Guay, 2013) Une fréquence plus élevée peut amplifier les effets sur l'environnement. D'ailleurs, les principaux impacts du batillage sont l'érosion des berges et la mise en suspension des sédiments. (Issa, 2019)

4.1.1 Érosion des rives

L'érosion est un phénomène tout à fait naturel. Elle se déroule entre autres lors de la période de gel et de dégel, sous l'effet d'un courant d'eau ou encore pendant une tempête. L'érosion est une composante essentielle de la dynamique des rivières et de la formation de certains milieux naturels comme les marais salés (Morissette, s. d.). Il va sans dire que l'humain est également responsable en grande partie de l'érosion des rives. Plusieurs activités anthropiques sont à l'origine de la dégradation des berges telles que l'agriculture, le déboisement riverain ainsi que la navigation commerciale et de plaisance. Dans les dernières décennies, un recul des berges du fleuve Saint-Laurent a été observé pouvant atteindre plus d'un mètre annuellement à certains endroits (Dauphin, 2000; Richard, 2010). Il est toutefois difficile de savoir quelle proportion est imputable à la navigation de plaisance. Dans la région du lac Saint-Pierre, l'érosion est principalement constatée sur les rives des îles entre Berthier et Sorel-Tracy (Dauphin, 2000; Richard, 2010). De 1998 à 2008, le recul annuel a varié environ entre 0,2 et 1,2 mètre (Richard, 2010). Plusieurs des chenaux sont dégradés à divers degrés par le passage des embarcations de plaisance (Dauphin, 2000). La limite de vitesse est actuellement de dix kilomètres par heure dans la plupart des chenaux (Sacco, s. d.). L'érosion des îles est inquiétante en considérant la perte de superficie de milieux naturels particuliers. Avec le temps, cela n'est pas sans répercussion sur la biodiversité.

Certaines caractéristiques physiques du milieu naturel peuvent influencer l'impact du batillage des bateaux comme le type de sol, le couvert végétal ainsi que la pente des berges. Dépendamment du type de sol, la cohésion entre les particules diffère. Cette cohésion offre une résistance plus ou moins grande au cisaillement des particules sous l'effet d'une vague par exemple. Concrètement, un sol meuble est plus facilement érodable qu'un sol rocheux. Parmi les diverses particules de sol, les plus petites, telles que l'argile, possèdent une grande cohésion et glissent moins les unes sur les autres. Au contraire, les substrats plus grossiers comme le sable ont une cohésion plus faible et sont donc plus sujets à l'érosion. (Asplund,

2000; Bastien, Demers, Dénomée P. et Rancourt, 2009; Comité ZIP Côte-Nord du Golfe, 2006) Les plantes, grâce à leur système racinaire, peuvent retenir les particules de sol. Selon le couvert végétal, il y aura une plus ou moins grande protection contre l'érosion. De façon générale, les arbres s'enracinent et maintiennent le sol plus en profondeur. Les plantes vasculaires retiennent mieux les particules de surface alors que les arbustes jouent un rôle intermédiaire. Tous ensemble, ils réduisent davantage l'effet érosif, surtout si le couvert végétal est plus dense. Les tiges et les feuilles protègent également le sol en absorbant l'énergie des vagues. (Bastien et al., 2009) D'où l'importance de ne pas laisser le sol des rives à nu. L'inclinaison des berges influence aussi l'érosion par les vagues de bateaux. Les pentes plus faibles sont moins sensibles puisqu'elles permettent à l'énergie de la vague de se dissiper sur une distance supérieure et l'effet est alors plus diffus. Au contraire, une pente plus abrupte engendre un impact plus intense et localisé puisque la vague rencontre le fond de l'eau plus lentement. Elle a donc moins de temps et d'espace pour évacuer son énergie avant de s'échouer sur le rivage. Les risques d'érosion sont alors augmentés. (Asplund, 2000; Mercier-Blais et Prairie, 2014) L'inclinaison des pentes faibles dans la région du lac Saint-Pierre joue en sa faveur. Pour ce qui est du couvert végétal, comme 90 % du territoire du lac est conservé naturel (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, s. d.a), il est fort probable que la majorité des rives soit végétalisée en bordure directe du lac. Le substrat est quant à lui principalement composé d'argile marine. À certains endroits se retrouvent aussi des sédiments fins, du sable, du gravier et des affleurements rocheux. (Ministère de l'Environnement et de la Faune, 1998) Ainsi, les caractéristiques naturelles du lac Saint-Pierre offrent une certaine protection contre l'érosion engendrée par les embarcations de plaisance. Il ne faudrait pas affaiblir ces défenses considérant que l'érosion est déjà observée et importante à certains endroits, notamment dans l'archipel.

Les vagues des embarcations de plaisance vont avoir un effet érosif plus ou moins prononcé selon leur hauteur. Des vagues plus hautes contiennent davantage d'énergie et sont plus dommageables pour les rives. En fait, les dommages engendrés augmentent de façon exponentielle plutôt que linéaire avec l'élévation des vagues. Pour donner un ordre de grandeur, il est estimé que des vagues d'une douzaine et demie de centimètres n'ont pas d'impacts significatifs. En doublant la hauteur, les dégâts engendrés sont quintuplés. Si la hauteur est multipliée par cinq pour obtenir 62,5 centimètres, l'érosion causée sera trente fois supérieure. (Issa, 2019) En comparaison, lors de tempêtes, les vents forts peuvent former des vagues atteignant 40 à 50 centimètres (Asplund, 2000). Ces vagues éoliennes se distinguent du sillage par leur caractère épisodique. Les bateaux à moteur hors-bords et intérieurs, les bateaux à fort sillage ainsi que les véhicules amphibies atteignent de plus grandes vitesses et produisent des vagues de taille assez

importante pour causer de l'érosion sur les rives. C'est particulièrement le cas pour les bateaux à fort sillage et leurs vagues de *wakeboard* et de *wakesurf*, ces dernières étant plus dommageables. Les vagues de *wakeboard* ont un impact intermédiaire entre les vagues normales des bateaux et celles de *wakesurf*. Dans les deux cas, les vagues typiques du bateau à fort sillage affectent les rives jusqu'à une distance de 300 mètres. (Mercier-Blais et Prairie, 2014) Les motomarines causent également des dégâts notables pour la rive bien que leurs vagues soient généralement moins grandes que celles des autres bateaux à moteur (Savard, 2000). Les voiliers, plus lent et restant habituellement loin des côtes en raison de leur taille, devraient avoir un impact modeste sur l'érosion des berges. Quant aux embarcations à propulsion manuelle, leur vitesse restreinte laisse penser que les vagues générées sont mineures et ont peu d'effet sur les rives.

4.1.2 Mise en suspension des sédiments

Tout comme l'érosion, la présence de matière en suspension dans l'eau est naturelle. Selon le plan d'eau, les conditions climatiques et la période de l'année, la quantité de matière peut varier. La turbidité est un indice utilisé pour mesurer la quantité de particules en suspension qui incluent notamment des sédiments et des nutriments comme le phosphore (Mosisch et Arthington, 1998). Son augmentation entraîne une diminution de la clarté de l'eau et donc de la visibilité. Lorsque causé par les embarcations de plaisance, l'effet est temporaire et s'estompe avec l'arrêt des activités (Hilton et Phillips, 1982; Williamson, Kite, Henderson et Bowman Bishaw and Associates, 1989). Cette variation de la turbidité peut tout de même affecter la faune et la flore aquatiques. Les matières en suspension peuvent aussi modifier physiquement un plan d'eau et avoir des répercussions sur l'humain, principalement sur l'économie. Les stations de traitements des eaux doivent être plus efficaces pour rendre l'eau potable et cela augmente les coûts. Dans le cas où les particules sédimentent dans le chenal de navigation, il faut draguer plus régulièrement pour bien entretenir la profondeur. Les marinas peuvent aussi être sujettes à cette problématique et devoir payer des coûts conséquents plus fréquemment. (Lubinski et al., 1981) Plusieurs facteurs vont influencer la resuspension des particules. D'une part, il y a les caractéristiques du milieu naturel et d'autre part, il y a le type d'embarcation et ses vagues (Gabel, Lorenz et Stoll, 2017).

Les principales variantes naturelles de la mise en suspension des particules sont le profil des berges, la présence de végétation, le débit, le type de substrat ainsi que la profondeur de l'eau. Pour ce qui est des

rives, plus elles sont érodables, comme vu précédemment, plus il y a de particules qui se retrouvent dans le cours d'eau. Par ailleurs, les herbiers aquatiques peuvent se comporter comme la végétation sur les berges, c'est-à-dire qu'ils amortissent l'effet des vagues et des turbulences sur le substrat (Bastien et al., 2009). Cette protection réduit la resuspension des particules et prévient la turbidité. La présence d'herbiers aquatiques au lac Saint-Pierre serait donc bénéfique pour protéger le substrat et la qualité de l'eau. En agissant comme obstacle, la végétation peut possiblement diminuer le débit d'eau et favoriser la sédimentation. En effet, le débit peut influencer grandement la quantité de matière en suspension, notamment après le passage d'une ou plusieurs embarcations. Dans une rivière, le débit est généralement plus rapide que dans un lac. Avec ce courant, une grande partie des particules est alors emportée en aval (Mosisch et Arthington, 1998). Il est estimé que le reste des particules sédimentent en moins de cinq minutes environ. (Bauer, Lorang et Sherman, 2002) Ce processus pourrait se rapprocher de ce qui se passe dans les chenaux de l'archipel puisqu'ils sont étroits comparativement au reste du lac. Il est fort probable que ce soit le cas également pour la voie de navigation où le débit est plus élevé que dans le reste du lac. En milieu lacustre, le temps de décantation est plus long et varie davantage puisque les particules ne sont pas entraînées au loin. Dans la Lagune de Venise, pendant près d'une heure après une perturbation majeure, les particules suspendues se trouvent en concentration élevée (Rapaglia, Zaggia, Ricklefs, Gelinis et Bokuniewicz, 2011). Beaucoup plus de temps est nécessaire pour retourner à l'état initial, malgré qu'il faille peu de temps pour perturber la turbidité (Yousef, McLellon et Zebuth, 1980). Le type de substrat va également influencer le temps nécessaire pour revenir à la normale. Des sédiments plus grossiers comme le sable ou le gravier vont sédimenter plus rapidement. Ils nécessitent également plus d'énergie pour les suspendre dans la colonne d'eau. À l'inverse, des particules plus fines telles que l'argile et le limon sont plus facilement remises en suspension (Ji, 2013) et elles prennent davantage de temps à se poser. Plusieurs jours, voire des semaines peuvent s'écouler avant que l'argile se dépose (Potter, Maynard et Depetris, 2005). Le retour à la turbidité normale peut donc être long au lac Saint-Pierre qui possède un substrat majoritairement composé d'argile. Cela laisse davantage de temps aux organismes vivants pour accéder aux nutriments d'azote et de phosphore qui se trouvent parmi les sédiments (Asplund, 2000; Bastien et al., 2009). Ces nutriments sont probablement nombreux considérant toutes les terres agricoles autour du lac. Par ailleurs, la remise en suspension des particules par les embarcations de plaisance est limitée par la profondeur de l'eau. Selon Asplund (2000), il n'y aurait pas d'impact notable de la part des embarcations de plaisance à une profondeur supérieure à trois mètres. Les zones moins profondes sont plus sensibles au sillage et à la turbulence générée par l'hélice (U. S. Army Corps of Engineers, 1993). Cela signifie d'une

part que le lit de la voie navigable est épargné des turbulences des embarcations de plaisance. Ceci dit, ce canal et son fort débit peuvent quand même transporter les particules en suspension provenant de l'archipel. D'autre part, la majorité du lac est sensible à la navigation avec ses trois mètres de profondeur moyenne.

La turbulence engendrée par les embarcations de plaisance peut être une cause importante de l'augmentation de la turbidité. En effet, il est possible de noter une recrudescence des particules en suspension dans un plan d'eau après le passage d'un bateau. À chaque fois, le batillage et le jet d'hélice érodent le fond de l'eau. Une portion des particules sédimente alors qu'une autre se voit propulser dans toutes les directions par l'hélice. (Pham Van Bang et al., 2008) L'accroissement des particules est davantage visible lorsque la fréquence des passages augmente et que les activités de plaisance sont plus élevées. Ainsi, la turbidité est plus faible la nuit que le jour (Holfmann, Lorke et Peeters, 2008). De plus, les gens profitent généralement de la belle saison pour pratiquer des activités nautiques. Cela amène alors à un effet saisonnier sur la turbidité (Holfmann, Lorke et Peeters, 2008). Cette fréquentation accrue engendre environ 20 % de toute la matière en suspension. Cette proportion peut s'élever au-delà de 50 % lorsque le niveau d'eau est bas. (Vilmin, Flipo, de Fouquet et Poulin, 2015) Cette diminution rapproche l'embarcation du lit du cours d'eau. La turbulence se dissipe donc moins avant d'atteindre le fond. C'est d'ailleurs à cet endroit que la turbidité est la plus haute après le passage d'une embarcation (Johnson, 1994). Certaines particules fines s'élèvent plus haut dans la colonne d'eau alors que les sédiments plus grossiers restent plus près du fond avant d'y retourner. En fait, ce sont les caractéristiques du milieu aquatique qui prédominent sur l'effet du sillage pour déterminer la concentration de matière en suspension. Toutefois, un bateau voyageant à plus grande vitesse engendre généralement plus de turbidité. (McConchie et Toleman, 2003) Il semble alors évident que les embarcations à moteur, les motomarines, les bateaux à fort sillage ainsi que les véhicules amphibies sont les plus aptes à causer de la turbidité puisqu'ils peuvent atteindre des vitesses plus élevées et génèrent ainsi plus de turbulence. Cela est d'autant plus vrai que leur hélice amplifie la remise en suspension des particules (Ji, 2013). Les sports nautiques de tractation comme le ski nautique engendrent également de la turbulence supplémentaire (Mosisch et Arthington, 1998). Les bateaux à fort sillage utilisés sont privilégiés pour ce type d'activité et peuvent donc causer plus de turbidité, notamment lorsqu'ils produisent des vagues de *wakesurf* ou de *wakeboard* (Mercier-Blais et Prairie, 2014). Les voiliers et les embarcations à propulsion manuelle génèrent de la turbulence par leur sillage, mais de façon plus modeste, car elles sont généralement plus lentes et sans moteur. Toutefois, les embarcations à propulsion manuelle occasionnent des turbulences

ponctuelles à chaque coup de rame ou de pagaie dont les ondes sont visibles à la surface de l'eau. Près des rives ou en eau peu profonde comme dans les milieux humides, l'outil de propulsion se trouve à proximité du fond de l'eau et pourrait provoquer la remise en suspension des particules. En plus, il ne faudrait pas oublier que parmi les particules causant la turbidité se trouvent des nutriments ou autres polluants, dont le plomb et plusieurs pesticides qui peuvent également nuire à la qualité de l'eau.

4.2 Impacts biologiques

Une pression continue ou trop intense peut bouleverser un écosystème de façon temporaire ou permanente. Heureusement, les milieux naturels possèdent une certaine résilience. Celle-ci est influencée par la diversité biologique à diverses échelles, soit des gènes aux paysages (Thompson, Mackey, McNulty et Mosseler, 2009). Par exemple, une plus grande diversité génétique permet à une population de mieux résister aux maladies. Le lac Saint-Pierre est un milieu naturel regorgeant de vie dont il faut protéger la biodiversité et l'intégrité. L'écosystème pourra alors continuer à rendre des services à la population et à abriter de nombreuses espèces. Les services écosystémiques comprennent notamment que les milieux humides absorbent d'importantes quantités d'eau lors des crues printanières et les libèrent en période de sécheresse ou encore que les amateurs de pêche puissent trouver des prises intéressantes. Toutefois, la navigation de plaisance n'est pas sans conséquence sur la faune et la flore. En effet, elle peut les affecter directement avec le bruit généré par exemple. Elle peut également avoir un impact indirect tel qu'une réaction à l'augmentation de la turbidité. Les impacts biologiques sont observés sur les microorganismes tout comme sur les êtres vivants de plus grande taille, bien qu'ils soient plus facilement détectables chez certains taxons. Il n'en reste pas moins que chaque espèce, du minuscule phytoplancton jusqu'au majestueux érable argenté, a un rôle à jouer.

4.2.1 Plancton

Une abondance de microorganismes se trouve généralement partout dans la colonne d'eau. Cette biomasse formée par le plancton est très importante et constitue la base du réseau trophique. Ce taxon regroupe d'une part, le phytoplancton qui vit de la photosynthèse et d'autre part, le zooplancton qui peut être herbivore ou carnivore. (Levasseur, 2009) Les différentes espèces de phytoplanctons se répartissent

dans la colonne d'eau en grande partie selon leur utilisation de la lumière. Certaines espèces sont mieux adaptées à la présence de grandes quantités de lumière comme les algues vertes. Certains ont aussi besoin de plus de lumière puisqu'ils sont moins compétitifs pour cette ressource tels que les mixotrophes. (Schwaderer et al., 2011). Il est alors plus probable de retrouver ces groupes taxonomiques près de la surface de l'eau où la pénétration de la lumière est maximale. À l'inverse, certaines espèces sont très bien adaptées aux environnements pauvres en lumière. Étant plus résistants à la faible luminosité, ces microorganismes peuvent se trouver plus en profondeur. C'est notamment le cas pour les cyanobactéries (Schwaderer et al., 2011). Pour sa part, le zooplancton est en partie dépendant du phytoplancton comme source de nourriture et migre donc, dans la colonne d'eau pour le suivre (Levasseur, 2009; Lévesque, 2008). Lorsque la turbidité augmente, les particules en suspension ont pour effet de bloquer une partie des rayons lumineux. La réduction de la zone photique amène alors le phytoplancton à remonter dans la colonne d'eau pour conserver la même luminosité. Certaines espèces sont défavorisées tandis que d'autres comme les cyanobactéries sont mieux adaptées pour faire face à cette perturbation. Le zooplancton doit, quant à lui, se rapprocher davantage de la surface dans le jour pour se nourrir (Cuker, 1987). En fait, la turbidité peut inhiber ou accroître la présence du plancton (Munawar, Norwood et McCarthy, 1991). Cela dépend notamment de la composition des particules en suspension et des caractéristiques des divers microorganismes. Lorsqu'il y a un apport d'argile par exemple, les flagellés sont favorisés. Cela est probablement dû au fait qu'ils peuvent se déplacer et réduire leur risque de floculation avec les particules d'argile. (Cuker, 1987) Chez le zooplancton, une diminution des individus de la classe des Crustacées est observée. Cette variation s'explique par l'augmentation de prédateurs comme de gros individus de Chaoborus. Les petits individus de Chaoborus n'étant pas affecté par l'argile, leurs proies, dont les rotifères, subissent une prédation similaire. (Cuker, 1993) Un apport en phosphore favorise plutôt les cyanobactéries. Il stimule également la croissance du phytoplancton lorsque cet élément est naturellement limitant dans le milieu. (Cuker, 1987) Avec la navigation de plaisance au lac Saint-Pierre et l'augmentation des matières en suspension, il est possible de s'attendre à un apport combiné d'argile et de phosphore. Dans ce cas, il semble que l'effet de l'argile soit plus important que celui du phosphore puisque les flagellés sont alors plus nombreux que les cyanobactéries. Une diminution des diatomées et des algues vertes sont aussi observées. (Cuker, 1987) Cette réduction de biomasse pourrait s'accompagner par une diminution de la biodiversité. Toutefois, si la floculation n'est pas si importante au lac Saint-Pierre et que l'effet du phosphore est plus grand, il pourrait y avoir une augmentation de phytoplancton, surtout de cyanobactéries. Une augmentation de cette biomasse peut entraîner une plus grande activité

bactériologique et donc une réduction de l'oxygène. Le résultat serait alors une eutrophisation prématurée du lac. Par ailleurs, d'autres composés peuvent se retrouver dans l'eau par ruissellement ou lors du brassage des sédiments, dont des polluants. Ceux-ci peuvent inhiber la croissance du plancton. (Munawar et al., 1991) De plus, la turbulence affecte le plancton. Déjà à petite échelle, elle influence le développement de certains planctons (Saiz et Alcaraz, 1991) ainsi que leur comportement d'alimentation (Maar, Visser, Nielson, Stips et Saito, 2006; Saiz et Alcaraz, 1992). Il n'est donc pas étonnant que la turbulence générée par les embarcations de plaisance impacte directement le plancton. Une étude démontre un taux de mortalité plus élevé chez les copépodes lorsque le trafic maritime est plus fréquent et plus rapide. Parmi les trois sites échantillonnés, le premier était peu ou pas fréquenté, le second se situait dans une marina où la vitesse est limitée et le troisième se trouvait dans un couloir de navigation achalandée. Les mortalités représentaient un peu plus de 5 % pour les deux premiers sites tandis qu'elle était de 34 % pour le troisième. (Bickel, Hammond et Tang, 2011) Il est possible de croire que cette mortalité accrue soit également perceptible chez d'autres types de plancton. Il reste à savoir si cela a des impacts à long terme ou si la reproduction rapide du plancton permet de compenser cette perte accrue dans les zones plus fréquentées.

Dans tous les cas, le passage des embarcations de plaisance peut avoir une influence positive et négative sur le plancton selon les taxons (Munawar et al., 1991). Cependant, il en ressort une altération de la composition du phytoplancton et du zooplancton qui pourrait se traduire par une perte de la biodiversité. Ce changement est causé notamment par la turbulence et l'augmentation des particules en suspension. Donc, les embarcations plus rapides comme les bateaux à moteur hors-bord et intérieur, les motomarines, les bateaux à fort sillage et les véhicules amphibies ont davantage d'impacts sur le plancton puisqu'ils sont plus rapides et génèrent plus de turbulence. Les voiliers présentent une vitesse plus limitée et engendrent donc un moins grand sillage. Les embarcations à propulsion manuelle sont encore plus lentes et les turbulences sont plutôt modestes en comparaison des bateaux à moteur pour créer de la mortalité aussi élevée chez le plancton.

4.2.2 Plantes aquatiques

Les plantes aquatiques comprennent diverses espèces de macrophytes. Elles peuvent être émergentes, flottantes ou submergées. Ces végétaux forment entre autres des herbiers aquatiques qui profitent à

plusieurs espèces animales. Bien que ces plantes protègent notamment les rives contre l'érosion, elles ne sont pas insensibles à la navigation de plaisance. Des effets sont observés depuis plusieurs années. Les végétaux peuvent subir des dégâts lorsqu'un bateau jette l'ancre dans un herbier (Creed et Amado-Filho, 1999; Francour, Ganteaume et Poulain, 1999). Les bouées d'amarrage détruisent aussi la végétation alentour et peuvent perturber la dynamique de l'herbier en créant des ouvertures (Walker, Lukatelich, Bastyan et McComb, 1989). Des ancrages de plus grande taille peuvent causer des impacts plus importants puisque leur surface de contact est supérieure. Lors du passage d'une ou plusieurs embarcations, certains plants sont endommagés par la coque ou encore par l'hélice. Les plus susceptibles d'être sectionnés sont les plants qui poussent en hauteur et qui se rapprochent davantage de la surface. (Asplund et Cook, 1997) Ainsi, la végétation en eau peu profonde est généralement plus affectée (Koch, 2002). Davantage de cicatrices et de coupures sont aussi visibles sur les plants près des voies de navigation et des secteurs les plus fréquentés (Hallac, Sadle, Pearlstine, Herling et Shinde, 2012). Plusieurs plants survivent à ces blessures et se régénèrent. Plusieurs années peuvent toutefois s'écouler avant qu'ils ne reprennent leur taille d'origine (Dawes, Andorfer, Rose, Uranowski et Ehringer, 1997). Ceci dit, les extrémités des macrophytes tranchées par les bateaux ne sont pas totalement des pertes. Effectivement, les bouts sont emportés par les vagues et permettent la dispersion des plants. Certaines espèces en bénéficient alors pour coloniser de nouveaux milieux. Les vagues, accrues par les embarcations, peuvent également transporter des graines et de jeunes pousses. En fait, lorsque l'énergie des vagues est suffisante, celles-ci peuvent entraîner le déracinement des macrophytes. (Kimber et Barko, 1993) La résistance au déracinement varie d'une espèce à l'autre. Parmi les principales caractéristiques qui influencent la résistance se trouvent la forme, la taille et le type de racines des plantes. Des espèces possédant des racines enfouies à différentes profondeurs sont plus résistantes aux déplacements des sédiments. La profondeur, la taille et la densité de l'herbier peuvent aussi jouer un rôle pour lutter contre le déracinement. (Kimber et Barko, 1993) L'énergie de la vague s'atténue avec la profondeur. La grandeur d'un herbier et de sa densité végétale dépendent des caractéristiques du milieu, dont la force du courant. Les plantes poussent selon un équilibre entre le microhabitat qu'elles forment et son pourtour. Un herbier forme un obstacle au déplacement libre de l'eau et réduit le courant en son centre. Cela provoque alors une augmentation du débit sur les côtés qui pourrait fragiliser les zones adjacentes. (Gambi, Nowell et Jumars, 1990) Par ailleurs, les vagues qui frappent les berges peuvent modifier la composition végétale. Cela peut être dû à une exposition prolongée ou répétitive des plantes aquatiques à l'air libre. À cela s'ajoute le lessivage des nutriments présents dans le sol. Les espèces plus sensibles peuvent se voir

remplacer par des espèces mieux adaptées et plus résistantes. (Kimber et Barko, 1993) La navigation de plaisance peut également nuire indirectement à la végétation avec l'augmentation de la mise en suspension des sédiments. Les particules peuvent endommager les plantes en se déplaçant. Le frottement engendré lorsque les particules rencontrent les macrophytes cause l'abrasion de ces dernières (Murphy et Eaton, 1983). Plus il y a de particules en suspension, plus les probabilités de contact sont élevées. La sédimentation des particules peut aussi ensevelir les jeunes pousses et causer leur perte (Asplund et Cook, 1997). Cependant, que les particules soient en suspension ou qu'elles se déposent sur les plantes, elles réduisent la lumière incidente. Cette diminution de la luminosité peut modifier la zone photique et ainsi, affecter la photosynthèse chez plusieurs plants lorsque la quantité de particules en suspension est suffisamment élevée. Cela peut être le cas avec le passage fréquent d'embarcations. (Murphy et Eaton, 1983)

La navigation de plaisance a indubitablement un impact, direct ou indirect, sur la végétation aquatique. Plusieurs auteurs s'entendent pour dire qu'une fréquentation accrue des plans d'eau par des embarcations entraîne une diminution des macrophytes (Asplund et Cook, 1997; Murphy et Eaton, 1983; Vermaat et de Bruyne, 1993). Cela s'applique à tout type d'embarcation (Mumma, Cichra et Sowards, 1996) et est d'autant plus vrai pour les herbiers se trouvant en eau peu profonde (Kock, 2002). Une fois endommagées, les zones perturbées ont besoin de temps pour se reconstruire. Plusieurs années peuvent parfois être nécessaires pour recoloniser un ancien herbier arraché (Asplund, 2000). De plus, une étude a estimé l'abondance végétale dans des sites contrôles, sous des quais et des sites fréquentés par des embarcations de plaisance. Sous les quais, une diminution de l'abondance moyenne d'environ 20 % est observée en comparaison des contrôles. La réduction est encore plus marquée où des embarcations passent régulièrement. À ces endroits, il y a approximativement 40 % moins de végétaux aquatiques. (Sagerman, Hansen et Wikström, 2020) Même si ce pourcentage varie pour le lac Saint-Pierre, il en reste néanmoins qu'il peut y avoir une diminution de la biodiversité avec l'augmentation de la navigation de plaisance à un endroit.

4.2.3 Benthos et épifaune

Le benthos regroupe les organismes se situant près du fond de l'eau ou sur le substrat. L'épifaune rassemble les organismes vivants plutôt à la surface des plantes aquatiques. Ces deux groupes sont

principalement constitués d'invertébrés, donc cette section se concentre d'abord sur ce taxon. Ces organismes aquatiques sont perturbés par les embarcations de plaisance. Selon Gabel et al. (2008), les habitats complexes protègent mieux le benthos en dissipant davantage l'énergie des vagues. Plus les embarcations passent à proximité et rapidement, plus le stress causé est grand. Des vagues plus importantes emportent les individus benthiques avec le courant généré. (Gabel, Garcia, Schnauder et Pusch, 2012) Une diminution considérable des invertébrés est également observée à la surface des plantes aquatiques après le passage des navigateurs tandis qu'il n'y a pas de variation dans les zones peu fréquentées. Cette réduction de la richesse et de l'abondance est encore perceptible une heure après le passage d'un bateau. La diminution pourrait donc devenir permanente si le passage des embarcations est plus conséquent que le temps de recolonisation. (Bishop, 2008) Par ailleurs, la destruction de l'habitat des invertébrés est plus nocive. (Inland Waterways Advisory Council, 2008) En effet, les invertébrés occupent l'espace différemment entre la bordure et le centre de l'herbier aquatique. Les individus sont en plus faible densité au centre. Lors de la fragmentation de ces habitats, telle que causée par les embarcations, les organismes ne sont toutefois pas avantagés même s'ils sont plus nombreux à vivre en bordure de la végétation. Une réduction de l'abondance est observée puisqu'il y a une perte de la surface habitable et que la densité plus élevée en bordure n'est pas suffisante pour la compenser. (Marion, 2002) McCandless (2018) a aussi démontré que les dommages causés par les ancres des embarcations sur la végétation aquatique ont un impact similaire. Le nombre d'individus colonisant une feuille ne varie pas. Cependant, il y a une diminution de l'abondance qui résulte de la réduction du nombre de feuilles ou de plants. (McCandless, 2018)

Les embarcations de plaisance engendrent un déplacement de la faune benthique et de l'épifaune. Toutefois, certaines espèces qui sont sessiles ne peuvent pas se déplacer pour éviter le stress causé par les bateaux et doivent trouver d'autres moyens de se protéger. C'est notamment le cas pour les moules. Le passage des bateaux affecte les moules jusqu'à une profondeur d'environ 2,7 mètres (Lorenz, Gabel, Dobra et Pusch, 2012). Au lac Saint-Pierre, cela peut être problématique considérant que la profondeur moyenne est d'approximativement trois mètres. L'activité des embarcations perturbe la filtration de l'eau par les moules surtout avec l'augmentation des vagues. L'impact peut varier entre les espèces selon leur positionnement sur ou dans le substrat. Certaines espèces comme la moule zébrée sont plus résistantes à ce type de perturbation. Il est estimé que la filtration diminue quotidiennement d'environ 0,02 % après le passage d'une seule embarcation à propulsion manuelle et d'approximativement 0,68 % pour un bateau à moteur. L'addition des passages peut affecter davantage le temps de filtration, donc la purification de

l'eau. (Lorenz et al., 2012) L'augmentation des matières en suspension peut aussi nuire à l'alimentation chez les moules. De plus, ces particules en suspension affectent tous les organismes aquatiques possédant des branchies en s'y déposant. (Inland Waterways Advisory Council, 2008) Par ailleurs, la pollution sonore à haute fréquence causée par les humains peut affecter les moules. Selon Vazzana et al. (2020), ces sons nuisent à la biochimie digestive notamment. Des effets causés par le bruit des bateaux sur la biochimie sont également observés chez d'autres invertébrés (Filiciotto et al., 2016). Selon Celi et al. (2013), les embarcations de plaisance nuisent même au système immunitaire des invertébrés. Cet affaiblissement peut augmenter les risques de maladies.

Ainsi, la navigation de plaisance apporte des conséquences sur les organismes benthiques et épifauniques. L'impact humain est temporaire ou non selon l'intensité de la fréquentation par les usagers du plan d'eau. Au lac Saint-Pierre, il est fort probable que le benthos et l'épifaune subissent une pression découlant des activités nautiques.

4.2.4 Poissons

En pensant à la faune aquatique, il est difficile de passer sous silence la faune ichthyologique. De formes et de tailles variées, les poissons jouent un rôle important dans l'écosystème. Les différentes espèces présentes dans un milieu occupent des niches particulières selon leur stade vie. À chacune de ces étapes de développement, la navigation de plaisance peut affecter ces organismes. Les impacts subis par les poissons sont directement ou indirectement provoqués par les embarcations (Bilkovic et al., 2017). Bien que rare, il arrive parfois que des poissons adultes entrent en collision avec des bateaux ou les hélices des moteurs (Balazik et al., 2012; Inland Waterways Advisory Council, 2008). Pour ce qui est des œufs et des larves, une hélice qui passe à proximité pourrait les aspirer puisque ceux-ci ne peuvent pas éviter le passage des bateaux en se déplaçant. À l'inverse, le courant peut également les repousser en dehors de leur habitat préférentiel. (Inland Waterways Advisory Council, 2008) Les œufs, les larves ainsi que les juvéniles près de la surface sont affectés par les rejets émis par les moteurs (Whitfield et Becker, 2014). Les embarcations de plaisance causent aussi du dérangement chez les poissons par le bruit qu'elles émettent. Plusieurs auteurs s'intéressent à l'impact sonore des bateaux sur la santé et le comportement de l'ichtyofaune tel qu'en couvrant la communication acoustique entre les individus (Slabbekoorn et al., 2010). Des changements du comportement liés aux bruits anthropiques peuvent affecter jusqu'à la survie

de certaines espèces (Inland Waterways Advisory Council, 2008). En effet, une augmentation du bruit ambiant causé par les bateaux amène les poissons à devoir se rapprocher davantage pour communiquer. Les échanges vocaux permettent entre autres de trouver un congénère pour se reproduire. Deux individus pourraient être à proximité sans se croiser puisqu'ils n'arrivent pas à s'entendre. Un passage élevé et constant d'embarcation pendant la période de reproduction pourrait engendrer une réduction du taux de reproduction. (Stanley, Van Parijs et Hatch, 2017) Par ailleurs, une augmentation du stress est observée chez des poissons se trouvant dans des environnements plus bruyants (Vazzana et al., 2017). La pollution sonore apporte des changements physiologiques. Le bruit des embarcations de plaisance provoque une augmentation des battements de cœur. Cet accroissement du flux sanguin est moindre lors du passage d'un canot et s'élève avec la présence ainsi que la puissance d'un moteur. Après une certaine période, le cœur reprend un rythme plus normal. Le temps requis pour se rétablir est positivement lié à l'ampleur du stress engendré. Ainsi, un poisson a besoin davantage de temps pour récupérer après le passage d'un moteur à combustion qu'un moteur pour la pêche à la traîne (*trolling motor*) ou un canot, soit approximativement 40 minutes, 25 minutes et 15 minutes respectivement. (Graham et Cooke, 2008) Bien que les effets soient temporaires après le passage d'une embarcation, il est possible que le rythme cardiaque du poisson reste élevé plus longtemps avec une fréquence plus forte de passages. L'évitement du stress, donc des bateaux, par les poissons est une possibilité, mais demande de l'énergie et réduit le temps passé à se nourrir par exemple.

Le passage des embarcations de plaisance engendre des impacts sur les poissons notamment par les vagues qu'elles produisent. Celles-ci ainsi que le rabaissement du niveau de l'eau sur la rive peuvent être dommageables pour les œufs et les larves de poisson, voire létaux (Inland Waterways Advisory Council, 2008). Dans les eaux peu profondes, les masses d'œufs sont particulièrement à risque d'être délogées par les vagues. Les œufs posés sur un substrat recouvert d'un biofilm sont plus susceptibles de se détacher puisque l'adhérence est moins forte. (Probst, Stoll, Peters, Fischer et Eckmann, 2009) Pour ce qui est des larves et des juvéniles, les vagues peuvent temporairement les emporter en dehors de l'habitat qui leur offre une protection. Les jeunes de l'année n'ont généralement pas assez de force pour contrer le courant provoqué par les bateaux. (Kucera-Hirzinger et al., 2008) Selon Stoll et Fischer (2011), la croissance des poissons peut être influencée par une exposition modérée aux vagues des embarcations de plaisance. L'effet peut être négatif tout comme il peut être positif en comparaison avec des poissons ayant grandi dans un environnement sans vague. Selon le morphotype, certains ont vu leur croissance diminuer jusqu'à 60 %. À l'opposé, d'autres ont vécu une augmentation de leur croissance jusqu'à 50 %. (Stoll et Fischer,

2011) Les vagues peuvent également affecter la relation entre les poissons et leurs proies. Au passage des bateaux, les espèces s'alimentant d'invertébrés par exemple sont favorisées puisque ces derniers se retrouvent suspendus dans la colonne d'eau. Effectivement, une exposition régulière aux vagues générées par les embarcations pourrait amener des changements dans l'écosystème. Les espèces plus résistantes ou qui profitent davantage des vagues pourraient devenir prédominantes et modifier la composition des communautés. (Gabel, Stoll, Fischer, Pusch et Garcia, 2011) Par ailleurs, l'augmentation des particules en suspension causée par les vagues affecte les poissons. En amont de la ponte, la sédimentation des particules peut également recouvrir un substrat plus grossier servant de site de fraye (Inland Waterways Advisory Council, 2008). Après la ponte, les particules peuvent sédimenter en recouvrant les œufs. La matière qui les recouvre réduit alors l'apport en oxygène et peut entraîner l'asphyxie. (Gabel, Lorenz et Stoll, 2017; Inland Waterways Advisory Council, 2008) Les jeunes poissons sont également plus vulnérables aux particules en suspension qui peuvent s'agglomérer sur leurs branchies (Inland Waterways Advisory Council, 2008). De plus, les jeunes de l'année éprouvent de la difficulté à trouver leur nourriture lorsque la turbidité augmente trop (Kucera-Hirzinger et al., 2008). En fait, à des niveaux de turbidité intermédiaire, les larves d'environ deux centimètres parviennent plus facilement à trouver des proies. Cependant, lorsque la turbidité est élevée, les larves de toutes tailles s'alimentent plus difficilement. (Utne-Palm, 2004) La turbidité a aussi un effet négatif sur la reproduction des poissons (Inland Waterways Advisory Council, 2008). De plus, les sédiments remis en suspension peuvent contenir des polluants tels que des métaux lourds pouvant s'accumuler dans les poissons (Whitfield et Becker, 2014). La probabilité de retrouver des métaux lourds au lac Saint-Pierre pourrait être élevée considérant qu'une multitude d'obus sont présents dans le fond, soit probablement plus de 300 000 projectiles (Shields, 2019, 16 juillet). Ces impacts causés par l'augmentation des particules en suspension surviennent particulièrement en eau peu profonde (Anthony et Downing, 2003) comme c'est le cas au lac Saint-Pierre.

Les poissons subissent également des répercussions de la perte des autres taxons causés par les embarcations. La diminution des invertébrés entraîne une réduction des proies disponibles. Le nombre de poissons de plus grande taille peut diminuer, car des invertébrés permettent de soutenir la croissance de ces individus. Par ailleurs, la destruction des herbiers aquatiques est plus problématique puisqu'ils fournissent un abri pour un nombre important d'espèces et ils servent de frayère au printemps pour plusieurs poissons, dont la perchaude et le brochet. (Inland Waterways Advisory Council, 2008) La perte du couvert et de la hauteur des plantes aquatiques en raison des embarcations et de leur ancre, mais aussi de la présence des marinas, sont nocives notamment pour les juvéniles (Hansen et al., 2019).

4.2.5 Amphibiens et reptiles

Plutôt discrète en général, l'herpétofaune québécoise compte un nombre restreint d'espèces, soit un peu moins d'une quarantaine. Les amphibiens et les reptiles du Québec, souvent à la limite nordique de leur aire de répartition, contribuent à l'écosystème. Certaines espèces sont particulièrement sensibles à la qualité de leur environnement, notamment les amphibiens qui respirent par la peau. (Desroches et Rodrigue, 2004) L'herpétofaune peut aussi ressentir les effets de la navigation de plaisance. Les bruits causés par les embarcations peuvent nuire à la communication entre les anoues. Cependant, toutes les espèces ne réagissent pas toutes de la même façon. Plusieurs variables sont à l'origine de ces différences telles que l'habitat. (Simmons et Narins, 2018) Chez certaines espèces, les bruits anthropiques engendrent une réduction des chants des individus. Chez d'autres espèces, elles chantent davantage, probablement encourager par la diminution acoustique des autres anoues. (Sun et Narins, 2005) Pour les espèces qui se taisent, cela peut devenir problématique pour la recherche de partenaires en vue de se reproduire. De plus, le passage d'embarcations à proximité des œufs d'amphibiens pourrait les déloger et les emporter dans un habitat moins favorable comme c'est le cas pour les poissons. Les milieux humides étant des lieux de pontes fréquents, les embarcations à propulsion manuelle s'avèrent dommageables puisqu'elles ont plus facilement accès à ce type de milieu. Cela pourrait aussi être le cas des véhicules amphibies qui peuvent se promener dans les milieux humides. Les amphibiens peuvent également être affectés par la diminution des invertébrés aquatiques. Ceux-ci représentent une part importante de leur alimentation (Desroches et Rodrigue, 2004). Par ailleurs, le passage de plaisanciers près des tortues modifie leur comportement. Les embarcations effraient certaines tortues qui se réchauffent au soleil. Celles-ci plongent dans l'eau pour se mettre à l'abri et toutes ne reviennent pas se prélasser au soleil. Le dérangement est plus grand lorsqu'un petit bateau de pêche reste à proximité. Toutefois, les motomarines seraient moins problématiques. En période de reproduction, la proximité d'un bateau peut amener les tortues à attendre plusieurs heures avant de retourner chercher un emplacement pour pondre leurs œufs. (Moore et Seigel, 2006) Les embarcations peuvent également entrer en collision avec les tortues et les blesser, voire les tuer. Le son du moteur n'effraie pas toutes les espèces et celles-ci ne s'éloignent pas des navires. (Lester, 2012) Chez la tortue géographique, la plupart des blessures sont observées sur les femelles adultes puisque leur comportement les rapproche davantage des zones fréquentées par les plaisanciers que les tortues mâles ou juvéniles. La diminution du nombre de femelles adultes, donc

pouvant se reproduire, peut amener une réduction de la population. (Bulté, Carrière et Blouin-Demers, 2010)

4.2.6 Oiseaux

Immense halte migratoire, le lac Saint-Pierre regorge d'espèces d'oiseaux (MDDEFP, 2013). De passage ou nicheuse, cette faune occupe une place importante dans l'écosystème du lac et de son archipel. Elle attire également des curieux amateurs d'ornithologie. Certains plaisanciers passent également près des oiseaux et de leur habitat sans y porter une attention particulière. Cette proximité provoque du stress et des modifications du comportement de ces animaux. Cela peut comprendre un changement temporaire ou non du lieu d'alimentation. Il en résulte alors une diminution du temps disponible pour se nourrir ou se reposer en plus d'une dépense d'énergie pour se déplacer à un autre endroit. (Dehnhard et al., 2020) Toutes les espèces ne répondent pas exactement de la même façon au stress engendré par les activités anthropiques, car elles ne possèdent pas la même tolérance. Généralement, les canards sont plus susceptibles de réagir à la présence humaine que les autres oiseaux. Parmi les espèces les plus réactives se trouvent les canards colverts (*Anas platyrhynchos*). (Zhang, Ma et Li, 2011) Apprécié, ce canard ainsi que d'autres espèces attirent certains chasseurs. Parfois, ils pratiquent leur sport à partir d'embarcations. L'approche d'un bateau près des colonies, en plus des coups de feu, effraie les anatidés qui prennent leur envol. Cette dépense d'énergie peut avoir un impact important sur le succès de leur migration si le dérangement est trop fréquent. (Rasmussen et Simpson, 2010) D'ailleurs, la chasse à la sauvagine au Québec est permise à l'automne lorsque les oiseaux se préparent et partent pour le sud durant l'hiver (Environnement et Changement climatique Canada, 2019). De plus, certaines populations d'oiseaux modifient leur trajet de migration et évitent des points d'eau où ils avaient l'habitude de faire une halte. Une des raisons probables est le dérangement élevé quotidien causé par les embarcations de plaisance. Une perturbation fréquente peut également changer le comportement des oiseaux dans leur routine avant qu'ils désertent un habitat ou une zone d'alimentation. Cela peut amener la faune aviaire à s'alimenter de nuit. (Korschgen et Dahlgren, 1992) Il est aussi possible d'observer une réduction du poids des individus qui sont plus régulièrement dérangés par les embarcations de plaisance (Korschgen et Dahlgren, 1992; Mikola, Miettinen, Lehikoinen et Lehtilä, 1994). En plus du dérangement, le passage des bateaux peut affecter la nourriture des oiseaux. Quelques passages peuvent s'avérer favorables puisque le benthos et l'épifaune sont emportés dans la colonne d'eau. Ils sont alors plus facilement accessibles

(Gabel, Lorenz et Stoll, 2017). Des passages plus fréquents peuvent cependant être plus néfastes. En effet, la diminution des herbiers aquatiques due à un achalandage plus élevé des plaisanciers peut entraîner une diminution progressive des invertébrés et des poissons. Ces pertes biologiques se traduisent par une diminution des ressources alimentaires de nombreuses espèces. Dans les zones très fréquentées, les vagues produites par les bateaux peuvent également détruire les rives. Il en découle alors une diminution des abris disponibles et des sites adéquats pour la nidification. (Inland Waterways Advisory Council, 2008) Un nid plus sécuritaire est construit au-dessus du niveau de l'eau et protégé des vagues par la végétation. Il est estimé qu'un nid moins protégé pourrait diminuer le taux d'éclosion d'au moins trois fois. (Allen, Nuechterlein et Buitron, 2008) De plus, si le passage de bateaux cause trop de dérangement à proximité d'un site de nidification, les oiseaux trouvent un autre endroit qui peut s'avérer moins favorable et plus à risque d'inondation par exemple. Ils peuvent également choisir de ne pas se reproduire. (Korschgen et Dahlgren, 1992) Cela peut être une cause de déclin pour certaines populations et être problématique pour des espèces en péril. Il ne suffit toutefois pas d'attendre que le nid soit établi pour permettre le passage fréquent de plaisanciers. Effectivement, le ou les parents peuvent décider d'abandonner temporairement ou non leurs œufs à cause des perturbations anthropiques. Lorsque le parent qui couve le nid est dérangé et qu'il s'envole, il expose ses œufs aux variations de température plus longtemps et cela peut s'avérer létal. Pendant ce temps, le nid est également plus à risque d'être prédaté. (Korschgen et Dahlgren, 1992) Selon Mikola et al. (1994), les goélands prédatent environ trois fois et demie plus les nids où des perturbations éloignent fréquemment les parents. Une fois les œufs éclos, le dérangement par les bateaux peut toujours être problématique. En tentant de fuir la source de danger, la famille peut se retrouver séparée lorsque les parents partent plus rapidement que les jeunes. Sans la protection des parents, les oisillons ou les canetons diminuent leur chance de survie. (Korschgen et Dahlgren, 1992)

Ainsi, le passage des embarcations de plaisance à proximité des oiseaux engendre du dérangement, bien que plusieurs espèces possèdent ou développent une meilleure tolérance aux activités anthropiques (Inland Waterways Advisory Council, 2008). La réaction de la faune aviaire provient d'abord des déplacements rapides ou bruyants d'embarcations. Les engins correspondant le mieux à cette catégorie sont les bateaux à moteur, les bateaux à fort sillage et les motomarines (Korschgen et Dahlgren, 1992). Il est possible d'y inclure les véhicules amphibies considérant qu'ils utilisent aussi un moteur comme mode de propulsion. De plus grandes vitesses chez les plaisanciers occasionnent davantage de fuites chez les oiseaux. Une réponse similaire s'observe lorsque les embarcations s'approchent des colonies, notamment dans des zones moins fréquentées. Les réactions les plus vives sont notées quand des motomarines

naviguent à proximité de la faune aviaire. (Burger, 1998) Les bateaux continuent généralement leur chemin plus loin tandis que les motomarines ont tendance à tourner au même endroit pendant un certain temps. Ainsi, elles provoquent un dérangement plus intense et plus long. (Burger, 2003) Les véhicules amphibies peuvent également être problématiques puisqu'ils ont la possibilité de se déplacer sur la terre ferme. Ils peuvent donc approcher encore plus près des colonies en s'avançant sur les rives et risquer d'écraser des nids. Par ailleurs, les oiseaux réagissent aussi aux mouvements plus lents et moins bruyants de certains bateaux tels que les voiliers et les embarcations à propulsion manuelle. Leur silhouette est suffisante pour déranger et effrayer la faune aviaire. (Korschgen et Dahlgren, 1992) Plusieurs auteurs suggèrent de créer une zone tampon exempte d'embarcations d'au moins 100 mètres autour des colonies pour réduire le dérangement et protéger les oiseaux ainsi que leur nid (Burger, 1998; Zhang et al., 2011).

4.2.7 Mammifères

Les milieux humides et hydriques abritent plusieurs espèces de mammifères. En pensant aux impacts des embarcations de plaisance, les mammifères marins sont les premiers auxquels les chercheurs pensent. Ils étudient les blessures causées par des collisions entre les bateaux et la faune (Hill et al., 2017). Ils s'intéressent également les répercussions du bruit des embarcations sur les baleines (Rolland et al., 2012). Cependant, la présence de baleines au lac Saint-Pierre est exceptionnelle. Ainsi, il est très peu probable que les bateaux aient un impact sur ces mammifères marins. Néanmoins, il est probable que la navigation de plaisance ait des effets sur d'autres mammifères. Les espèces se nourrissant d'invertébrés comme le raton laveur qui aime notamment les moules (Prescott et Richard, 2013) peuvent voir leurs ressources alimentaires diminuées si la fréquentation par les plaisanciers augmente. Cela peut être plus problématique pour des insectivores possédant un statut de protection comme les chauves-souris. La diminution des insectes aquatiques se traduit par une réduction des invertébrés qui émergent de l'eau dont elles se nourrissent. (Inland Waterways Advisory Council, 2008) Il ne faut pas exclure la possibilité que le passage d'embarcation à proximité des berges ainsi que le bruit engendré puissent avoir des impacts sur la faune mammalienne.

4.2.8 Propagation des espèces exotiques envahissantes

Certaines espèces introduites volontairement ou non sont plus compétitives et tolérantes aux conditions d'un milieu que les espèces déjà présentes (Afonso, 2020). Ces espèces exotiques envahissantes sont problématiques puisqu'elles remplacent les espèces indigènes. La plupart du temps, les espèces introduites proviennent de l'étranger par des bateaux commerciaux et s'installent dans les ports (Lacoursière-Roussel et al., 2012). La dispersion est ensuite réalisée par des embarcations de plaisance considérées comme l'un des principaux vecteurs (Lacoursière-Roussel et al., 2012; Murray, 2012; Murray, Pakhomov et Therriault, 2011). Lorsque les embarcations sont en déplacement, ils accumulent de l'eau et des résidus propres à cette région et les déplacent vers une autre. Les espèces exotiques envahissantes peuvent alors se retrouver dans les saletés présentes sur la coque, le gouvernail et les hélices du moteur (Murray, Pakhomov et Therriault, 2011). Certains bateaux comportent des ballasts tels que les bateaux à fort sillage (Mercier-Blais et Prairie, 2014). Ces ballasts peuvent être remplis d'eau et vidés au besoin. Ces réservoirs, s'ils ne sont pas nettoyés, peuvent contenir des espèces exotiques envahissantes qui se propageront au prochain usage du système (Duggan et al., 2005). Cela peut être problématique lorsque des plaisanciers changent de plans d'eau sans les précautions nécessaires. Les espèces exotiques peuvent aussi s'accumuler sur le pont, l'ancre ou encore le matériel à bord du bateau (Acosta et Forrest, 2009). Dans le cas des moules, elles sont parfois sur les macrophytes ou sous forme de larve. Elles ne sont donc pas toujours visibles. (Johnson, Ricciardi et Carlton, 2001) De plus, les espèces mobiles peuvent coloniser plus facilement un milieu lorsqu'elles sont introduites (Afonso, 2020). La moule zébrée peut même coloniser et s'accumuler dans des canalisations, causant des inconvénients majeurs pour les infrastructures humaines telles que les systèmes d'épuration des eaux. D'autres espèces, comme le myriophylle à épis, peuvent coloniser de nouveaux milieux quand un bout est sectionné par une hélice par exemple et qu'il dérive avec les vagues. Certaines espèces exotiques envahissantes qui se retrouvent ensemble dans un même milieu facilitent la croissance de l'autre. En effet, la présence de moules zébrées engendre l'augmentation de la biomasse chez l'élodée de Nuttall (*Elodea nuttallii*) comparativement à si elle avait été seule. L'interaction entre des espèces pourrait ainsi bouleverser un milieu. (Crane et al., 2020) Par ailleurs, un suivi des marinas et des ports afin d'identifier les espèces introduites pourrait permettre de prendre des mesures rapides et d'en prévenir la dispersion (Afonso, 2020). Un meilleur entretien des embarcations et des remorques pourrait aussi être bénéfique pour empêcher la propagation d'espèces (Johnson, Ricciardi et Carlton, 2001). Selon une étude, plusieurs navigateurs ont déclaré qu'ils ne prenaient

pas les précautions nécessaires comme de nettoyer leur embarcation afin de ne pas introduire de nouvelles espèces. Généralement, plus les plaisanciers sont éduqués à la problématique, plus ils appliquent les mesures de prévention nécessaire afin de limiter la propagation de nouveaux organismes indésirables, dont la moule zébrée, le phragmite commun ou encore la châtaigne d'eau. (Cole, Keller et Garbach, 2016) Ainsi, des moyens peuvent être pris pour prévenir la dispersion des espèces exotiques, mais ce n'est pas toujours le cas.

5. ANALYSE DE L'INTENSITÉ DES IMPACTS SELON LE TYPE D'EMBARCATION

Au terme du chapitre précédent, il est indéniable que la navigation de plaisance a un impact sur l'environnement. L'intensité des effets sur le milieu et ses occupants divergent toutefois d'un type d'embarcation à une autre. Les informations recueillies dans ce document sont évaluées à l'aide d'une analyse multicritère afin d'identifier les embarcations les plus problématiques au lac Saint-Pierre. Cela permet d'accorder une priorité d'action à ces dernières et de formuler des recommandations en conséquence de ces résultats.

Ce chapitre comporte d'abord la méthodologie employée afin de réaliser l'analyse multicritère. Après, la sélection et la description des critères sont détaillées avant de poursuivre avec la pondération des types d'embarcations. Ensuite, l'analyse est présentée avec les notes attribuées à chaque type d'embarcation. Enfin, les résultats obtenus sont interprétés.

5.1 Méthodologie

Pour réaliser l'analyse, la méthode choisie est l'analyse multicritère. L'intensité des impacts est évaluée selon les différents types d'embarcations de plaisance. Les informations recueillies précédemment servent à créer des critères pour évaluer objectivement la navigation de plaisance au lac Saint-Pierre. Les critères sont décrits et leur pertinence dans le cadre de cet essai est justifiée. Ensuite, la pondération appliquée lors de cette analyse est expliquée. Elle est inspirée du guide *35 questions pour une réflexion plus large sur le développement durable* conçu par la Chaire en éco-conseil de l'Université du Québec à Chicoutimi (2014). L'évaluation de chacun des critères en fonction du type d'embarcation permet ainsi de définir le niveau de priorité des actions à entreprendre selon une échelle préétablie. Une fois que les critères et la pondération sont déterminés, l'analyse est réalisée et des notes sont attribuées. Les critères sont pondérés selon l'importance de l'impact sur l'environnement. Le pointage attribué est justifié grâce à la recherche d'information présentée dans les chapitres précédents. Le tout est présenté sous forme de tableau. Par après, les résultats sont interprétés et discutés. Cette analyse critique de l'intensité des impacts sur le milieu selon le type d'embarcations permet de prioriser certaines problématiques. Il est alors possible d'apporter des recommandations quant à la navigation de plaisance dans le but de protéger la richesse du lac Saint-Pierre.

5.2 Sélection et description des critères

Les critères permettent l'analyse des effets de la navigation de plaisance au lac Saint-Pierre. Ils servent donc à évaluer les impacts sur le milieu physique ainsi que sur la biodiversité. Au total, les critères sont au nombre de dix. Les impacts sur le milieu physique comprennent deux critères tandis que les impacts sur la biodiversité en comportent huit. Chaque critère est évalué sur une échelle variant de -3 à 3. Plus le chiffre est élevé, plus l'impact est important pour l'environnement. Un chiffre négatif signifie que l'impact est nuisible tandis qu'une évaluation positive correspond à un effet bénéfique. La note de zéro signifie qu'il n'y a pas d'impact notable.

5.2.1 Critères pour le milieu physique

Les impacts sur le milieu physique sont des effets des embarcations de plaisance sur les ressources abiotiques. Le premier critère évalue l'érosion des rives engendrée par les plaisanciers. Celle-ci peut avoir des répercussions affectant le milieu. Lorsqu'importante, elle peut affecter la qualité du sol. L'érosion affaiblit la structure du sol, déracine des plantes et détruit ou gruge des habitats naturels. Parfois, il peut en découler un glissement de terrain, ce qui peut être problématique, voire dangereux pour les humains. L'évaluation de ce critère se fait en fonction de la vitesse que peut atteindre l'embarcation, le type de propulsion, sa proximité possible avec la rive et la possibilité de se promener dans les milieux humides qui sont plus fragiles. Une évaluation positive signifie qu'il y a sédimentation, donc un élargissement des rives. Au contraire, une note négative veut dire qu'il y a de l'érosion.

Le second critère portant sur le milieu physique évalue la mise en suspension des sédiments. Une augmentation des particules en suspension affecte la qualité de l'eau. Certaines espèces sont moins tolérantes à une augmentation de la turbidité causée par les particules dans la colonne d'eau. L'analyse de ce critère se base sur la turbulence que provoque chaque type d'embarcation. Une mise en suspension d'un plus grand nombre de particules apporte une note négative. À l'inverse, si une embarcation provoque la sédimentation de la matière en suspension dans l'eau, une note positive est attribuée.

5.2.2 Critères pour la biodiversité

Les critères permettant d'évaluer les conséquences de la navigation de plaisance sur la biodiversité sont au nombre de huit. Les sept premiers représentent les impacts pour différents taxons. Le huitième s'intéresse plutôt à la propagation d'espèces. Un bouleversement d'un élément de l'écosystème peut avoir des répercussions sur l'ensemble de celui-ci. La variation de l'abondance d'une espèce peut modifier l'habitat en ce qui concerne les abris disponibles et les ressources alimentaires.

Le premier critère aborde l'influence des embarcations sur le plancton. L'évaluation porte sur l'importance des turbulences, la diminution de la luminosité causée par les particules en suspension et la prolifération de cyanobactéries. Le deuxième critère permet l'analyse des effets sur les plantes aquatiques. L'ancre, le type de propulsion, les vagues produites, la mise en suspension des particules et l'accessibilité aux zones peu profondes sont des facteurs pouvant influencer la note de ce critère. L'impact des bateaux sur le benthos et l'épifaune compose le troisième critère. Les facteurs influençant le résultat accordé sont la vitesse, les turbulences produites par le mode de propulsion, l'ancre et le bruit de l'embarcation ainsi que le délogement probable des individus. Le quatrième critère s'intéresse à l'impact de la navigation sur les poissons. Il évalue les risques de contact direct ou de délogement, l'effet du bruit, des vagues et de la mise en suspension des sédiments ainsi que le stress et le changement de comportement chez les animaux. L'impact sur les amphibiens et les reptiles constitue le cinquième critère. Le bruit, les risques de collision, le dérangement et la proximité avec les milieux humides influencent celui-ci. Le sixième critère évalue l'effet des embarcations de plaisance sur les oiseaux. La note est attribuée selon l'impact du bruit et des vagues. Le dérangement et le stress sont également pris en considération. Le septième critère s'intéresse à l'impact des bateaux sur les mammifères. Les facteurs influençant l'évaluation sont le bruit et la turbulence. Pour ces sept critères, une évaluation positive indique une augmentation de l'abondance de ces organismes alors qu'une note négative signifie une réduction de leur abondance. Le huitième et dernier critère se rattachant à l'impact des embarcations de plaisance sur la biodiversité évalue l'effet de la navigation sur la propagation des espèces exotiques envahissantes. La présence de ballasts, de moteur pour sectionner des bouts de plantes ou comme surface de contact et d'une ancre sont les facteurs d'analyse pour ce critère. Une évaluation positive signifie que l'embarcation réduit la dispersion des espèces exotiques envahissantes tandis qu'une note négative indique l'augmentation de la propagation de ces espèces.

5.3 Pondération des types d'embarcations

L'analyse porte sur l'impact des différents types d'embarcations au lac Saint-Pierre. Toutefois, les embarcations ne sont pas présentes dans les mêmes proportions. Plus les bateaux d'un même type sont nombreux, plus les effets se font sentir. Alors, une cote est attribuée à chaque type selon le nombre approximatif de plaisanciers en possédant. Il y avait environ 16 000 bateaux sur le lac Saint-Pierre en 2009 (Comité ZIP du lac Saint-Pierre, 2018b) et il y en a probablement davantage onze ans plus tard. La proportion est considérée selon les tendances qu'apporte l'étude de l'AMQ (2018). Ainsi, la pondération attribuée correspond au pourcentage d'embarcations, soit moins de 10 % (I), entre 10 et 25 % (II) et plus de 25 % (III).

5.4 Analyse

Cette section présente l'analyse multicritère. Grâce aux informations des chapitres précédents, les différents critères sont évalués pour chaque type d'embarcation de plaisance. La pondération de ces derniers est également effectuée. En croisant ces deux données, il est possible de connaître la priorité des actions à prendre pour préserver la richesse du lac Saint-Pierre. Pour comprendre l'attribution du degré de priorité, le tableau 5.1 montre le résultat de tous les croisements possibles entre les deux notes attribuées. L'analyse de l'intensité des impacts de la navigation de plaisance au lac Saint-Pierre est présentée au tableau 5.2.

Tableau 5.1 Grille d'évaluation de la priorité des actions à prendre selon l'évaluation des critères et de la pondération des types d'embarcations de plaisance

		Évaluation des critères						
		-3	-2	-1	0	1	2	3
Pondération des types d'embarcations	III	Réagir	Réagir	Agir	Enjeu à long terme	Conforter	Conforter	Conforter
	II	Réagir	Agir	Agir	Enjeu à long terme	Conforter	Conforter	Conforter
	I	Agir	Enjeu à long terme	Enjeu à long terme	Enjeu à long terme	Non prioritaire	Non prioritaire	Non prioritaire

Tableau 5.2 Analyse multicritère de l'intensité des impacts environnementaux selon le type d'embarcations

Types d'embarcations	Critères d'évaluation									
	Érosion des rives	Suspension des sédiments	Planctons	Plantes aquatiques	Benthos et épifaune	Poissons	Amphibiens et reptiles	Oiseaux	Mammifères	Espèces exotiques envahissantes
Embarcations à propulsion manuelle										
Pondération	II									
Évaluation du critère	-2	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-2	0	-1
Priorité	Agir	Agir	Agir	Agir	Agir	Agir	Agir	Agir	Enjeu à long terme	Agir
Voiliers										
Pondération	II									
Évaluation du critère	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-2	0	-2
Priorité	Agir	Agir	Agir	Agir	Agir	Agir	Agir	Agir	Enjeu à long terme	Agir
Bateaux à moteur hors-bord et intérieur										
Pondération	III									
Évaluation du critère	-3	-3	-2	-3	-2	-3	-3	-3	-1	-2
Priorité	Réagir	Réagir	Réagir	Réagir	Réagir	Réagir	Réagir	Réagir	Agir	Réagir
Bateaux à fort sillage (wakeoats)										
Pondération	I									
Évaluation du critère	-3	-3	-2	-3	-2	-3	-3	-3	-1	-3
Priorité	Agir	Agir	Enjeu à long terme	Agir	Enjeu à long terme	Agir	Agir	Agir	Enjeu à long terme	Agir
Motomarines										
Pondération	I									
Évaluation du critère	-2	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-1	-2
Priorité	Enjeu à long terme	Agir	Enjeu à long terme	Enjeu à long terme	Enjeu à long terme	Enjeu à long terme	Enjeu à long terme	Agir	Enjeu à long terme	Enjeu à long terme
Véhicules amphibies										
Pondération	I									
Évaluation du critère	-3	-3	-2	-3	-2	-3	-3	-3	-1	-2
Priorité	Agir	Agir	Enjeu à long terme	Agir	Enjeu à long terme	Agir	Agir	Agir	Enjeu à long terme	Enjeu à long terme

5.5 Interprétation des résultats

L'analyse multicritère de l'intensité des impacts des différentes embarcations de plaisance permet de souligner que les conséquences sont globalement négatives pour l'environnement. Cela s'applique autant pour le milieu physique que pour la biodiversité. Parmi les différents critères, les impacts sur les oiseaux sont les plus forts, tous types d'embarcations confondus. Ce qui peut être problématique considérant que le lac Saint-Pierre est la plus grande halte migratoire pour la sauvagine dans l'est de l'Amérique du Nord (MDDEFP, 2013). Par ailleurs, la variation de chaque taxon peut modifier les relations entre proies et prédateurs. Alors, toute la dynamique de l'écosystème est affectée. Dans le cas des plantes aquatiques, les effets sont plus grands étant donné qu'elles constituent également un habitat et des abris pour les autres espèces. Elles protègent aussi le sol contre l'érosion. À l'inverse, les impacts des embarcations de plaisance au lac Saint-Pierre sont plutôt minimes sur les mammifères. Cela dit, peu se sont intéressés à cette question. Les effets des bateaux sur les mammifères terrestres ou riverains tels que le rat musqué sont méconnus.

Cette analyse révèle également les impacts engendrés par chaque type d'embarcation ainsi que la priorisation des actions à prendre. Pour ce qui est des embarcations à propulsion manuelle, leur effet sur l'environnement est plutôt intermédiaire. En fait, les impacts sont notables pour tous les critères, sauf pour les mammifères. Les effets les plus marqués sont observés pour l'érosion des rives, chez les amphibiens et les reptiles ainsi que chez les oiseaux. La vitesse réduite et la sonorité faible de ces embarcations aident à limiter les répercussions sur l'environnement. Cependant, les embarcations à propulsion manuelle ont accès aux milieux humides et aux zones moins profondes du lac. Elles peuvent aussi se rapprocher davantage des rives et accoster sur des îles plus facilement, engendrant ainsi du dérangement pour la faune et un risque accru d'érosion de la berge.

Avec un nombre similaire, les voiliers produisent des impacts généralement plus modestes sur l'environnement que les embarcations à propulsion manuelle. Il ne semble pas y avoir d'effets pour les mammifères. Les critères les plus affectés par la navigation à propulsion éolienne sont les poissons, les oiseaux ainsi que les espèces exotiques envahissantes. Malgré le bruit produit faible, les voiliers causent des vagues puisqu'ils peuvent atteindre une certaine vitesse même si celle-ci reste limitée. Quoique peu probable, il y a un risque de collision entre le navire et la faune ichtyologique. Pour ce qui est des oiseaux, la silhouette à proximité des colonies suffit pour causer du dérangement. Les voiliers ont aussi une surface de contact non négligeable pour que les espèces exotiques s'y logent et se propagent dans d'autres

milieux. En plus, certaines embarcations possèdent des ballasts qui sont une source supplémentaire de risque de propagation lorsque ces réservoirs ne sont pas nettoyés adéquatement. Toutefois, peu d'étude s'intéresse directement à l'impact de la navigation de plaisance induite par les voiliers. Ce qui pourrait avoir pour effet de minimiser l'impact réel de ce type de bateau, bien qu'il y ait des conséquences négatives certaines pour l'environnement.

Le type d'embarcation le plus fréquemment employé par les plaisanciers est le bateau à moteur hors-bord et intérieur. Les impacts causés sont donc plus importants pour le lac Saint-Pierre et nécessitent une attention particulière. Il faut noter que pour l'ensemble des critères, hormis les mammifères, les embarcations à moteur requièrent une action à court terme pour modifier le comportement des navigateurs. Les habitudes actuelles engendrent des dommages qui à l'avenir risquent d'augmenter avec la croissance de la popularité de cette activité. À long terme, les dégâts causés peuvent devenir irréversibles. Les bateaux provoquent des vagues conséquentes à cause de la puissance de leur propulsion, en plus des turbulences engendrées par les hélices du moteur. Leur grande vitesse leur permet de couvrir une plus grande distance ou de réaliser une boucle causant un va-et-vient fréquent au même endroit. Cela peut avoir des répercussions nocives sur le milieu et les organismes vivants. Le bruit que ces engins émettent cause également du dérangement chez certains taxons comme les oiseaux et ne prévient pas nécessairement les collisions avec d'autres telles que les tortues et les poissons. De plus, les bateaux peuvent passer relativement proche de la rive lorsque le fond de l'eau le permet, causant ainsi davantage d'érosion et de mise en suspension des sédiments. Cela peut très problématique dans l'archipel du lac où l'érosion a déjà fait reculer certaines rives jusqu'à un peu plus d'un mètre (Dauphin, 2000). Cette zone est considérée comme sensible à la navigation de plaisance. Les embarcations à moteur ne sont toutefois pas adaptées pour circuler dans les milieux humides. Alors, ces zones sont peu affectées par ces navires qui nécessitent une profondeur plus grande pour éviter de s'enliser ou de s'empêtrer dans la végétation aquatique.

Les bateaux à fort sillage causent les mêmes impacts que les bateaux à moteur hors-bord et intérieur. Toutefois, ils font des dégâts plus intenses en raison de leur fonction de générer des vagues plus grosses dans une optique de divertissement. De plus, les utilisateurs de ce type d'embarcation ont tendance à naviguer plus rapidement et de façon non linéaire. Ce comportement est davantage nocif pour l'écosystème du lac Saint-Pierre. Par ailleurs, ces embarcations comportent des ballasts dont la négligence du nettoyage mène à la dispersion d'espèces exotiques envahissantes. Cependant, le nombre restreint de

bateaux à fort sillage sur les eaux du Québec limite les effets sur l'environnement comparativement aux autres embarcations à moteur.

Les motomarines engendrent des dommages notables à l'environnement. Ces engins affectent plus particulièrement la qualité de l'eau par la mise en suspension des sédiments et les oiseaux en raison de sa vitesse. Même si ces vagues sont généralement moindres que celles des bateaux à moteur, elles ont des répercussions considérables. Le bruit qu'elles produisent est aussi une source de dérangement pour la faune, notamment les oiseaux. Ces véhicules agiles et rapides sont employés par des utilisateurs appréciant une conduite plus sportive. Ils ont aussi tendance à rester dans la même zone. Les dégâts sont alors plus ciblés et plus intenses. Toutefois, les impacts des motomarines sont atténués par la proportion plus restreinte de ce type d'embarcation.

Les véhicules amphibies peuvent causer des dommages à l'environnement. Pour l'instant, ils sont peu problématiques puisqu'il semble y en avoir très peu, voire aucun au lac Saint-Pierre. Cependant, s'ils deviennent populaires dans la région, les impacts causés seraient importants. En plus de se comporter de façon similaire aux bateaux à moteur une fois dans l'eau, ils peuvent accéder aux milieux humides ou retrouver la terre ferme plutôt aisément si la berge le permet. Ils peuvent donc causer des dégâts chaque fois qu'ils accèdent au lac s'ils n'utilisent pas les rampes de mise à l'eau en place.

Ainsi, la plupart des impacts sont dus à la vitesse des embarcations, au bruit qu'elles émettent et à leur accessibilité aux zones plus sensibles comme les rives, l'archipel ou les milieux humides. Il faut donc concentrer les efforts en priorité sur ces problématiques. Des recommandations en lien avec les résultats de cette analyse multicritère sont proposées dans le chapitre suivant.

6. RECOMMANDATIONS

La navigation de plaisance fait partie intégrante du lac Saint-Pierre. Il est difficile d’imaginer le plan d’eau sans la présence des plaisanciers, notamment pendant la belle saison. Cette activité anthropique n’est toutefois pas sans impact pour le milieu naturel et les organismes vivants qui le peuplent. Les dommages causés par les bateaux à propulsion motorisée sont généralement plus intenses que les embarcations à propulsion manuelle et à propulsion éolienne. Il est possible de réduire l’effet de ces engins sur l’environnement en adoptant certaines mesures. Cette section présente plusieurs recommandations pour protéger la richesse du lac Saint-Pierre. Elle se divise en deux parties, soit des actions à prendre à court et moyen terme ainsi qu’à long terme. Par ailleurs, il est préférable de mettre en place plusieurs mesures complémentaires pour obtenir de meilleurs résultats (Burger, 2003).

6.1 Recommandations à court et moyen terme

Certaines problématiques sont plus importantes et devraient être traitées en priorité. Idéalement, des mesures devraient être prises dans les prochaines années pour prévenir la dégradation environnementale du lac Saint-Pierre.

- Limiter le passage des embarcations motorisées à moins de 300 mètres des rives.

Le passage de bateaux motorisés, principalement les bateaux à fort sillage, engendre des vagues ayant des répercussions sur l’érosion des rives jusqu’à environ 300 mètres (Mercier-Blais et Prairie, 2014). En éloignant les embarcations motorisées des rives, celles-ci sont mieux protégées ainsi que les milieux aquatiques adjacents. Dans cette zone de protection, les herbiers aquatiques et la faune subissent moins de dérangement. La mise en suspension est également réduite. Pour la réalisation de cette recommandation, il faut faire une demande auprès du gouvernement fédéral pour imposer ce genre de restriction à la navigation de plaisance.

- Réduire les vitesses dans les chenaux de l'archipel et en bordure du lac.

Lorsqu'une embarcation, notamment les bateaux à propulsion motorisée, avance à une vitesse de déplacement, les impacts sur l'environnement sont plus faibles. Dans une partie des chenaux de l'archipel, la limite de vitesse est règlementée à dix kilomètres par heure. Il serait bien d'élargir cette limitation à l'ensemble des chenaux pour réduire l'effet des vagues de bateaux. De plus, la vitesse devrait aussi être limitée à dix kilomètres par heure en bordure du lac. Idéalement, la limitation serait en vigueur dans la zone de protection de 300 mètres autour des rives recommandées précédemment. La mise en œuvre de cette réglementation nécessite la coopération du gouvernement fédéral.

- Restreindre la navigation dans les zones les plus sensibles.

Dans une optique de protection de la biodiversité du lac Saint-Pierre et de ses milieux sensibles, certaines zones devraient être restreintes aux plaisanciers lorsque le milieu est dégradé. Certains chenaux plus endommagés par l'érosion pourraient être interdits à la navigation pendant quelques années, le temps que la végétation colonise et stabilise les berges. Certaines portions du lac pourraient être interdites de navigation pendant une période. Par exemple, les embarcations ne pourraient pas se promener près des frayères du moment de la ponte jusqu'à l'éclosion. L'implantation de ce genre de restriction est de compétence fédérale.

- Émettre des normes plus strictes quant au bruit produit par les embarcations.

Pour diminuer les impacts causés par le bruit des embarcations, des normes plus strictes devraient être adoptées. Il est dans l'intérêt du gouvernement québécois de protéger la qualité de l'environnement ainsi que la biodiversité. Il faudrait aussi encourager les vendeurs et les fabricants à produire des embarcations ou, plus précisément, des moteurs moins bruyants.

- Éduquer les plaisanciers des impacts de leurs comportements sur l'environnement.

L'éducation citoyenne est nécessaire pour apporter des changements de comportements dans la société. Il faut que les plaisanciers prennent conscience des impacts de la navigation ainsi que les moyens pour réduire leur empreinte environnementale. Les gens doivent apprendre par exemple à réduire leur vitesse près des berges pour prévenir l'érosion et la mise en suspension de sédiments. Cela diminue aussi la

pression sur la faune et la flore. Il est également bien d'enseigner et de rappeler l'importance de nettoyer adéquatement son embarcation pour éviter de propager des espèces exotiques envahissantes. Pour s'y prendre, il est possible de réaliser des campagnes d'information telles que des affiches ou des capsules vidéo sur les réseaux sociaux. La création d'une patrouille verte qui sillonne le lac l'été pour aller à la rencontre des plaisanciers et discuter quelques minutes de bonnes habitudes à prendre peut aussi être une solution. Les marinas, les campings et les agences de location d'embarcations peuvent également éduquer leurs clients rapidement. Pour une meilleure efficacité de cette recommandation, il faut rappeler continuellement l'importance d'adopter de bonnes pratiques pour préserver la richesse du lac Saint-Pierre.

- Mise en place d'infrastructures de nettoyage des embarcations pour prévenir la propagation des espèces exotiques envahissantes.

Une façon simple de réduire les risques de dispersion des espèces exotiques envahissantes consiste à nettoyer son embarcation et le matériel à bord soigneusement avant de changer de plan d'eau. L'installation d'infrastructures de nettoyage est souhaitable pour encourager les plaisanciers à prendre de bonnes habitudes. Elles devraient être installées près des points d'accès à l'eau pour que les propriétaires pensent à laver leur embarcation en sortant de l'eau ou y accédant. Ce qui correspond notamment aux marinas et aux campings possédant des rampes de mise à l'eau. Les municipalités peuvent aussi contribuer à l'installation de telles infrastructures sur son territoire. La mise en place de subvention à cet effet serait également la bienvenue de la part du gouvernement.

6.2 Recommandations à long terme

Certains aspects de la navigation de plaisance affectent plus faiblement l'environnement. Il est tout de même préférable de prendre des mesures afin de prévenir l'aggravation de ces impacts. Les recommandations suivantes devraient être mises en place éventuellement.

- Encourager les plaisanciers à conserver leur distance avec la faune.

La présence humaine à proximité est souvent une source de dérangement pour la faune. Il faut donc encourager les gens, particulièrement les plaisanciers, à garder une distance avec les animaux. S'ils veulent les observer, ils peuvent se procurer des jumelles par exemple. Pour les oiseaux, il est conseillé de rester à au moins 100 mètres des colonies et des aires de nidification (Burger, 1998; Zhang et al., 2011). Des mesures légales pourraient aussi être prises pour inciter fortement les plaisanciers à rester à l'écart comme c'est le cas pour les baleines. L'éducation est néanmoins plus positive que la contrainte pour encourager les plaisanciers à adopter de bonnes pratiques.

- S'assurer d'avoir une réglementation adéquate pour encadrer l'utilisation des véhicules amphibies.

Depuis des années, les véhicules amphibies font leur apparition sur le marché. Considérant leur versatilité, il est fort probable que ces engins arrivent au lac Saint-Pierre dans le futur. Il faut donc s'assurer que la réglementation actuelle permette de bien encadrer l'utilisation de ce véhicule. Il faudrait vérifier que les points de mise à l'eau sont adaptés pour ces engins et que leur propriétaire les utilise. Il ne faut pas que les plaisanciers accèdent à l'eau n'importe où et détruisent les milieux naturels.

- Réaliser un suivi des espèces et du milieu avant et après la mise en place de mesures.

La réalisation des recommandations présentes dans ce chapitre permet de préserver la richesse du lac Saint-Pierre. Pour s'assurer que les actions prises soient efficaces, il est pertinent d'effectuer un suivi. Les résultats pourraient permettre une adaptation des mesures en place dans une optique de perfectionnement continu. De plus, le partage de ces informations pourrait également être bénéfique pour d'autres gestionnaires de plan d'eau.

CONCLUSION

Le lac Saint-Pierre est un milieu naturel reconnu mondialement pour ses milieux humides et sa biodiversité. Chaque année, la région accueille des dizaines de milliers de plaisanciers. La navigation de plaisance n'est toutefois pas sans conséquence pour l'environnement. L'objectif de cet essai est d'analyser les impacts des embarcations de plaisance sur les écosystèmes riverains du lac Saint-Pierre. Une recherche littéraire a permis d'établir et de documenter la situation de la région ainsi que d'identifier les zones plus sensibles. Le rôle des principaux acteurs et les types d'embarcations sont aussi décrits. La collecte d'informations pertinentes a permis de détailler les impacts physiques et biologiques de la navigation de plaisance. Ainsi, il est possible de dire que la navigation de plaisance engendre l'érosion des berges et une augmentation de la matière en suspension. Les vagues des embarcations et les hélices causent du stress, du délogement, des blessures et même des mortalités chez le plancton, les plantes aquatiques, le benthos, l'épifaune, les poissons, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les mammifères. Les impacts augmentent avec la vitesse de l'embarcation et la fréquence des passages. Ces informations ont servi à réaliser une analyse multicritère afin d'analyser l'intensité des impacts de la navigation de plaisance selon les différents types d'embarcations. Cette étude est basée sur des critères évaluant l'effet des bateaux sur le milieu physique et sur la biodiversité.

Au terme de l'analyse multicritère, les résultats obtenus ont permis de mesurer l'intensité des impacts de la navigation de plaisance au lac Saint-Pierre. Ceux-ci montrent que les taxons étudiés sont perturbés à différentes intensités entre eux et selon le type d'embarcations. Le taxon le plus affecté est les oiseaux qui subissent beaucoup de dérangement. Par ailleurs, les embarcations les plus dommageables pour l'environnement sont les bateaux motorisés, notamment les bateaux à fort sillage en raison des vagues particulières qu'ils produisent. En fait, plus une embarcation est rapide et bruyante, plus elle risque de causer des impacts importants sur l'environnement. Cela est d'autant plus vrai lorsque les plaisanciers circulent près des rives et augmentent l'effet érosif des vagues de sillage. Ils mettent également plus de particules en suspension.

Ainsi, les résultats de l'analyse multicritère ont permis de formuler des recommandations pour préserver les milieux naturels et la biodiversité du lac Saint-Pierre. L'action la plus bénéfique est de créer une zone de protection de 300 mètres autour des rives dans laquelle le passage des embarcations est limité. En complémentarité avec une autre recommandation prioritaire, les municipalités pourraient faire une demande de limitation de vitesse à dix kilomètres par heure dans cette zone pour réduire les impacts

environnementaux au gouvernement fédéral. Cette restriction devrait aussi être mise en place dans l'ensemble des chenaux de l'archipel pour réduire l'érosion notamment. Des mesures devraient également être prises pour éduquer les plaisanciers sur l'impact de la navigation de plaisance et des bonnes pratiques à adopter telles que le nettoyage de leur embarcation pour réduire les risques de propagation d'espèces exotiques envahissantes. D'ailleurs, des infrastructures permettant le lavage des bateaux devraient être mises à la disposition des plaisanciers par les marinas, les campings ou encore les municipalités. De plus, il faudrait réaliser un suivi des mesures prises pour s'assurer de leur efficacité et permettre une amélioration continue. La conservation de la richesse du lac Saint-Pierre nécessite la participation et la collaboration des différentes parties prenantes. Chacun doit faire sa part pour protéger les écosystèmes riverains et réduire les impacts des embarcations de plaisance.

Pour conclure, cet essai démontre que la navigation de plaisance au lac Saint-Pierre a des impacts sur le milieu et la biodiversité. Des actions peuvent être entreprises pour préserver ce milieu naturel unique. Cependant, il ne faut pas oublier que la navigation de plaisance n'est pas la seule activité anthropique qui a des impacts sur le lac Saint-Pierre. Il serait opportun de réaliser des études pour analyser les autres problématiques engendrées notamment par l'agriculture, la villégiature, la chasse et la pêche ainsi que la navigation commerciale ou de compiler les informations déjà recueillies sur le sujet. Enfin, il serait possible de formuler des recommandations qui complémenteraient celles présentées dans cet essai afin de préserver la biodiversité du lac Saint-Pierre.

RÉFÉRENCES

- Acosta, H. et Forrest, B. M. (2009). The spread of marine non-indigenous species via recreational boating: A conceptual model for risk assessment based on fault tree analysis. *Ecological Modelling*, 220(13-14), 1586-1598.
- Afonso, I., Berecibar, E., Castro, N., Costa, J. L., Frias, P., Henriques, F., ... Chainho, P. (2020). Assessment of the colonization and dispersal success of non-indigenous species introduced in recreational marinas along the estuarine gradient. *Ecological Indicators*, 113, 1-10.
- Aire faunique communautaire (AFC). (s. d.). À propos. Repéré à <http://afclacst-pierre.org/a-propos/>
- Allen, J. H., Nuechterlein, G. L. et Buitron, D. (2008). Bulrush mediation effects on wave action: Implications for over-water nesting birds. *Waterbirds*, 31(3), 411-416.
- Anthony, J. M. et Downing, J. A. (2003). Physical impacts of wind and boat traffic on Clear Lake, Iowa, USA. *Lake and Reservoir Management*, 19, 1-14.
- Argo. (s. d.). Vehicles. Repéré à <https://argotv.com/fr/vehicles#atv>
- Asplund, T. R. (2000). *The effects of motorized watercraft on aquatic ecosystems*. Repéré à <https://dnr.wi.gov/lakes/publications/documents/lakes.pdf>
- Asplund, T. R. et Cook, C. M. (1997). Effects of motor boats on submerged aquatic macrophytes. *Lake and Reservoir Management*, 13(1), 1-12.
- Association maritime du Québec (AMQ). (2011). *Tourisme nautique au Québec : étude sur les marchés potentiels*. Repéré à <https://nautismequebec.com/files/files/RAPPORT.pdf>
- Association maritime du Québec (AMQ). (2018). *Rapport annuel 2017-2018*. Repéré à <https://nautismequebec.com/rapport2018/RapportAnnuel2018.pdf>
- Baie-du-Febvre. (s. d.a). Centre d'interprétation. Repéré à <http://www.baie-du-febvre.net/centre-d-interpretation>
- Baie-du-Febvre. (s. d.b). La Route des navigateurs. Repéré à <http://www.baie-du-febvre.net/la-route-des-navigateurs>
- Balazik, M. T., Reine, K. J., Spells, A. J., Fredrickson, C. A., Fine, M. L., Garman, G. C. et McIninch, S. P. (2012). The potential for vessel interactions with adult Atlantic sturgeon in the James River, Virginia. *North American Journal of Fisheries Management*, 32(6), 1062-1069.
- Bastien, D., Demers, A., Dénomée P., L. et Rancourt, Eva. (2009). *Impacts environnementaux des embarcations motorisées et des sports nautiques sur le lac Massawippi*. Repéré à https://www.lacmassawippi.ca/en/wp-content/uploads/2014/07/impacts_environnementaux_des_embarcations_motorisees.pdf
- Bauer, B.O., Lorang, M. S. et Sherman, D. J. (2002). Estimating boat-wake-induced levee erosion using sediment suspension measurements. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 128(4), 152-162.

- Benoit, J., Bergeron, R., Bourgeois, J.-C., Desjardins, S. et Picard, J. (1987). *Les habitats et la faune de la région du lac Saint-Pierre : synthèse des connaissances*. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/id/eprint/64/1/Benoit%20et%20al_1987_habitats_faune_lac%20Saint-Pierre.pdf
- Bickel, S. L., Hammond, J. D. M. et Tang, K. W. (2011). Boat-generated turbulence as a potential source of mortality among copepods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 401(1-2), 105-109.
- Bilkovic, D. M., Mitchell, M., Davis, J., Andrews, E., King, A., Mason, P., ... Davis, J. (2017). *Review of boat wake wave impacts on shoreline erosion and potential solutions for the Chesapeake Bay* (Rapport d'examen et numéro de publication : 17-002). Repéré à <https://scholarworks.wm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2270&context=reports>
- Biophare. (s. d.a). Écotourisme et culture : centre d'interprétation de Baie-du-Febvre. Repéré à http://www.humainaucoeurdulacst-pierre.com/lac_saint_pierre-lake_saint_pierre/ecotourisme_et_culture-ecotourism_and_culture/centre_d_interpretation_de_baie_du_febvre-fra.html
- Biophare. (s. d.b). Écotourisme et culture : les sentiers d'interprétation et autres parcours. Repéré à http://www.humainaucoeurdulacst-pierre.com/lac_saint_pierre-lake_saint_pierre/ecotourisme_et_culture-ecotourism_and_culture/les_sentiers_d_interpretation_et_autres_parcours-interpretive_paths_and_other_trails-fra.html
- Biophare. (s. d.c). Musée : historique et mission. Repéré à <http://www.biophare.com/pages/historique.html>
- Bishop, M. J. (2008). Displacement of epifauna from seagrass blades by boat wake. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 354(1), 111-118.
- Blais, A. (2013). *Les milieux humides : une richesse nationale*. Repéré à http://www.crecq.qc.ca/adnbase/js/wysiwyg/plugins/ExtendedFileManager/uploads/166/m__moire/M__moire.pdf
- Boisclair, Y. (2012). *Brevet d'opérateur nautique : le cours* (4^e éd.). Montréal, Québec : Société de sauvetage.
- Bouchard, J.-P. (1983). Effets érosifs des jets d'hélice de bateau sur les fonds et les talus des voies navigables. *La Houille Blanche*, 7-8, 485-493.
- Bulté, G., Carrière, M.-A. et Blouin-Demers, G. (2010). Impact of recreational power boating on two populations of northern map turtles (*Graptemys geographica*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20, 31-38.
- Burger, J. (1998). Effects of motorboats and personal watercraft on flight behavior over a colony of common terns. *The Condor*, 100, 528-534.
- Burger, J. (2003). Personal watercraft and boats: Coastal conflicts with common terns. *Lake and Reservoir Management*, 19, 26-34.

- Celi, M., Filiciotto, F., Parrinello, D., Buscaino, G., Damiano, M. A., Cuttitta, ... Vazzana, M. (2013). Physiological and agonistic behavioural response of *Procambarus clarkii* to an acoustic stimulus. *Journal of Experimental Biology*, 216, 709-718.
- Chaire en éco-conseil de l'Université du Québec à Chicoutimi. (2014). 35 questions pour une réflexion plus large sur le développement durable. Repéré à <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs2563316>
- Cole, E., Keller, R. P. et Garbach, K. (2016). Assessing the success of invasive species prevention efforts at changing the behaviors of recreational boaters. *Journal of Environmental Management*, 184(2), 210-218.
- Comité ZIP Côte-Nord du Golf. (2006). *L'érosion côtière et les impacts des méthodes de stabilisation sur l'environnement*. Repéré à http://www.zipcng.org/CLIENTS/1-1-zipcng/docs/upload/sys_docs/Erosion_des_berges_sur_la_MRC_des_SeptRivieres.pdf
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (2017). *Cohabitation agriculture-faune en zone littorale au lac Saint-Pierre*. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1430/1/TCRLSP%203_2017_%20agriculture_faune_Fiche%20synth%C3%A8se_A.pdf
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (2018a). *Navigation commerciale et de plaisance au lac Saint-Pierre : fiche synthèse*. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1433/1/TCRLSP%205_2018_navigation_commerciale_plaisance%20-%20Fiche%20synth%C3%A8se_A.pdf
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (2018 b). *Plan de gestion intégrée régional du lac Saint-Pierre : document d'introduction*. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1428/1/TCRLSP%201_2018_%20Plan_gestion_int%C3%A9gr%C3%A9e_A.pdf
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (2020). *Accès au lac Saint-Pierre figure 10 : fiche synthèse de la navigation* [Document interne, fichier Excel]. Yamachiche, Québec : auteur.
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (s. d.a). Repéré à <http://comitezplsp.org/>
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (s. d.b). *Amphibiens et reptiles*. Repéré à <http://comitezplsp.org/wordpress/wp-content/uploads/especes/Amphibiens%20et%20reptiles.pdf>
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (s. d.c). *Faune envahissante au lac Saint-Pierre*. Repéré à <http://comitezplsp.org/wordpress/wp-content/uploads/especes/Faune%20envahissante%20au%20lac%20Saint-pierre.pdf>
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (s. d.d). *Les invertébrés*. Repéré à <http://comitezplsp.org/wordpress/wp-content/uploads/especes/Invertebres.pdf>
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (s. d.e). *Mammifères*. Repéré à <http://comitezplsp.org/wordpress/wp-content/uploads/especes/Mammiferes.pdf>
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (s. d.f). *Oiseaux*. Repéré à <http://comitezplsp.org/wordpress/wp-content/uploads/especes/Oiseaux.pdf>

- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (s. d.g). *Plantes envahissantes au lac Saint-Pierre*. Repéré à <http://comitezplsp.org/wordpress/wp-content/uploads/especes/guide.pdf>
- Comité ZIP du lac Saint-Pierre. (s. d.h). *Poissons*. Repéré à <http://comitezplsp.org/wordpress/wp-content/uploads/especes/Poissons.pdf>
- Côté, C. (2014, 3 août). Wakeboats : la vague qui crée des remous. *La Presse*. Repéré à <https://www.lapresse.ca/environnement/201408/02/01-4788761-wakeboats-la-vague-qui-cree-des-remous.php>
- Coulombe, D. (2011). Guide d'achat des canots d'eau calme. Repéré à <https://www.geopleinair.com/destinations/et-vogue-le-kayak/>
- Crane, K., Coughlan, N. E., Cuthbert, R. N., Dick, J. T. A., Kregting, L., Ricciardi, A., ... Reid, N. (2020). Friends of mine: An invasive freshwater mussel facilitates growth of invasive macrophytes and mediates their competitive interactions. *Freshwater Biology*, 65(6), 1063-1072.
- Cuker, B. E. (1987). Field experiment on the influences of suspended clay and P on the plankton of a small lake. *Limnology and Oceanography*, 32(4), 840-847.
- Cuker, B. E. (1993). Suspended clays alter trophic interactions in the plankton. *Ecology*, 74(3), 944-953.
- Creed, J. C. et Amado-Filho, G. M. (1999). Disturbance and recovery of the macroflora of a seagrass (*Halodule wrightii* Ascherson) meadow in the Abrolhos Marine National Park, Brazil: An experimental evaluation of anchor damage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 235(2), 285-306.
- Dauphin, D. (2000). *Influence de la navigation commerciale et de la navigation de plaisance sur l'érosion des rives du Saint-Laurent dans le tronçon Cornwall – Montmagny*. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/985/1/Dauphin_2000_erosion_A.pdf
- Dauphin, D. et Jobin, B. (2016). Changements de l'occupation du sol dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre entre les années 1950 et 1997. *Le Naturaliste Canadien*, 140 (1), 42-52.
- Dauphinais-Pelletier, M. (2018, 1er novembre). Le véhicule amphibie du futur? *La Tribune*. Repéré à <https://www.latribune.ca/actualites/estrie-et-regions/le-vehicule-amphibie-du-futur-8ebf8db308bf17e5ac08a3d7e06170a6>
- Dawes, C. J., Andorfer, J., Rose, C., Uranowski, C. et Ehringer, N. (1997). Regrowth of the seagrass *Thalassia testudinum* into propeller scars. *Aquatic Botany*, 59, 139-155.
- Dehnhard, N., Skei, J., Christensen-Dalsgaard, S., May, R., Halley, D., Ringsby, T. H. et Lorentsen, S.-H. (2020). Boat disturbance effects on moulting common eiders *Somateria mollissima*. *Marine Biology*, 167, 1-12.
- Desroches, J.-F. et Rodrigue, D. (2004). *Amphibiens et reptiles du Québec et des maritimes*. Waterloo, Québec : Éditions Michel Quintin.
- Domaine du lac Saint-Pierre. (s. d.). Accueil. Repéré à <https://www.domainelacstpierre.com/index.html>
- Dubois, C. (2019). Comment la végétation des milieux humides du lac Saint-Pierre a-t-elle changé au cours des 15 dernières années ? (Mémoire de maîtrise). Université de Laval, Québec, Québec.

- Dulude, A.-M. (2017). *La chasse et la pêche au lac Saint-Pierre*. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1384/1/Dulude_chasse_%20p%C3%AAche_portrait_2017_A%20.pdf
- Duggan, I. C., van Overdijk, C. D. A. Bailey, S. A., Jenkins, P. T., Limen, H. et Macisaac, H.J. Invertebrates associated with residual ballast water and sediments of cargo-carrying ships entering the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62, 2463-2474.
- Environnement et Changement climatique Canada. (2019). *Abrégé du Règlement de chasse aux oiseaux migrateurs : août 2019 à juillet 2020*. Repéré à http://publications.gc.ca/collections/collection_2019/eccc/CW66-1-5-2019-fra.pdf
- Erbe, C. (2013). Underwater noise of small personal watercraft (jet skis). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(4), EL326-EL330.
- Filiciotto, F., Vazzana, M., Celi, M., Maccarrone, V., Ceraulo, M., Buffa, G., ... Buscaino, G. (2016). Underwater noise from boats: Measurement of its influence on the behaviour and biochemistry of the common prawn (*Palaemon serratus*, Pennant 1777). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 478, 24-33.
- Foster, J. E. et Eccles, W. J. (2019). Traite des fourrures au Canada. Repéré à <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/traite-des-fourrures>
- Francour, P., Ganteaume, A. et Poulain, M. (1999). Effects of boat anchoring in *Posidonia oceanica* seagrass beds in the Port-Cros National Park (north-western Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 9, 391-400.
- Gabel, F., Garcia, X.-F., Brauns, M., Sukhodolov, A., Leszinski, M. et Pusch, M. T. (2008). Resistance to ship-induced waves of benthic invertebrates in various littoral habitats. *Freshwater Biology*, 53(8), 1567-1578.
- Gabel, F., Garcia, X.-F., Schnauder, I. et Pusch, M. T. (2012). Effects of ship-induced waves on littoral benthic invertebrates. *Freshwater Biology*, 57, 2425-2435.
- Gabel, F., Lorenz, S. et Stoll, S. (2017). Effects of ship-induced waves on aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 601-602, 926-939.
- Gabel, F., Stoll, S., Fischer, P., Pusch, M. T. et Garcia, X.-F. (2011). Waves affect predator-prey interactions between fish and benthic invertebrates. *Oecologia*, 165(1), 101-109.
- Gambi, M. C., Nowell, A. R. M. et Jumars, P. A. (1990). Flume observations on flow dynamics in *Zostera marina* (eelgrass) beds. *Marine Ecology Progress Series*, 61, 159-169.
- Gouvernement du Canada. (2010). Définition de ballast. Repéré à <https://tc.canada.ca/fr/transport-maritime/securite-maritime/definition-ballast>
- Gouvernement du Canada. (2020a). Environnement et Changement climatique Canada. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique.html>
- Gouvernement du Canada. (2020 b). Transport Canada. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fr/transports-canada.html>

- Gouvernement du Québec. (2014). Rapport sur l'état de l'eau et des écosystèmes aquatiques au Québec. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/rapportsurleau/index.htm>
- Gouvernement du Québec. (s. d.). Thésaurus de l'activité gouvernementale : fiche du terme navigation de plaisance. Repéré à <http://www.thesaurus.gouv.qc.ca/tag/terme.do?id=8345>
- Graham, A. L. et Cooke, S. J. (2008). The effects of noise disturbance from various recreational boating activities common to inland waters on the cardiac physiology of a freshwater fish, the largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18(7), 1315-1324.
- Hallac, D. E., Sadle, J., Pearlstine, L., Herling, F. et Shinde, D. (2012). Boating impacts to seagrass in Florida Bay, Everglades National Park, Florida, USA: Links with physical and visitor-use factors and implications for management. *Marine and Freshwater Research*, 63(11), 1117- 1128.
- Hansen, J. P., Sundblad, G., Bergström, U., Austin, A. N., Donadi, S., Eriksson, B. K. et Eklöf, J. S. (2019). Recreational boating degrades vegetation important for fish recruitment. *Ambio*, 48, 539-551.
- Hill, A. N., Karniski, C., Robbins, J., Pitchford, T., Todd, S. et Asmutis-Silvia, R. (2017). Vessel collision injuries on live humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, in the southern Gulf of Maine. *Marine Mammal Science*, 33(2), 558-573.
- Hilton, J. et Phillips, G. L. (1982). The effect of boat activity on turbidity in a shallow broadland river. *Journal of Applied Ecology*, 19, 143-150.
- Hofmann, H. Lorke, A. et PEETERS, F. (2008). The relative importance of wind and ship waves in the littoral zone of a large lake. *Limnology and Oceanography*, 53(1), 368-380.
- Hugonnier, B. (s. d.). S'équiper d'une bonne embarcation (1). Repéré à <https://www.canot-kayak.qc.ca/sequiper-dune-bonne-embarcation-1>
- Hydratrek. (s. d.). Do what you do better. Repéré à <https://hydratrek.com/>
- Inland Waterways Advisory Council. (2008). *Britain's inland waterways: Balancing the needs of navigation and aquatic wildlife*. Repéré à https://www.waterways.org.uk/pdf/iwac/aquatic_wildlife
- Institut de la statistique du Québec. (2014). *Le Québec chiffres en main : édition 2014*. Repéré à https://www.stat.gouv.qc.ca/quebec-chiffre-main/pdf/qcm2014_fr.pdf
- Issa, M. (2019). *Évaluation de l'impact des vagues créées par les bateaux sur la rive du lac Saint-Pierre : revue de littérature* [Document interne, PDF]. Yamachiche, Québec : Comité ZIP du lac Saint-Pierre.
- Ji, S. C. (2013). *Simulation 3D des ondes de batillage générées par le passage des bateaux et des processus associée de transport de sédiments* (Thèse de doctorat). Université de Technologie de Compiègne, Compiègne, France.
- Johnson, S. (1994). *Recreational boating impact investigations: Upper Mississippi River System, Pool 4, Red Wing, Minnesota* (Rapport special et numéro de rapport : 94-S004). Repéré à <https://www.umesc.usgs.gov/documents/reports/1994/94s004.pdf>

- Johnson, L. E., Ricciardi, A. et Carlton, J. T. (2001). Overland dispersal of aquatic invasive species: A risk assessment of transient recreational boating. *Ecological Applications*, 11(6), 1789-1799.
- Kimber, A. et Barko, J. W. (1994). A literature review of the effects of waves on aquatic plants. Repéré à https://books.google.ca/books?hl=fr&lr=&id=VrdMSQh4ia4C&oi=fnd&pg=PP8&dq=impact+of+boat+waves+on++aquatic+plants&ots=01dj8su71N&sig=zuraDaVQiQOdUbleT5B4-uLVFI0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Koch, E.W. (2002). Impact of boat-generated waves on a seagrass habitat. *Journal of Coastal Research*, 37, 66-74.
- Komanoff, C. et Shaw, H. (2000). *Drowning in noise: Noise costs of jet skis in America*. Repéré à http://www.komanoff.net/jet_skis/Drowning_In_Noise_complete.pdf
- Korschgen, C. E. et Dahlgren, R. B. (1992). 13.2.15 *Human disturbances of waterfowl : Causes, effects, and management*. Repéré à https://archive.usgs.gov/archive/sites/www.nwrc.usgs.gov/wdb/pub/wmh/13_2_15.pdf
- Kucera-Hirzinger, V., Schludermann, E., Zornig, H., Weissenbacher, A., Schabuss, M. et Schiemer, F. (2009). Potential effects of navigation-induced wave wash on the early life history stages of riverine fish. *Aquatic Sciences*, 71, 94-102.
- Lacoursière-Roussel, A., Bock, D. G., Cristescu, M. E., Guicahrd, F., Girard, P., Legendre, P. et McKindsey, C. W. (2012). Disentangling invasion processes in a dynamic shipping–boating network. *Molecular Ecology*, 21(17), 4227-4241.
- Lester, L. A. (2012). *Direct and indirect effects of recreational boats on Diamondback terrapins (Malaclemys terrapin)* (Thèse de doctorat). Drexel University, Philadelphie, PA.
- Levasseur, C. (2009). *Biologie marine : applications aux eaux du Saint-Laurent* (2e éd.). Montréal, Québec : Centre collégiale de développement de matériel didactique (CCDMD).
- Lévesque, S. (2008). *Structure spatio-temporelle du zooplancton lacustre : contribution des courants, de la prédation et des ressources* (Mémoire de maîtrise). Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.
- LocationCanot.com. (s. d.). Nos canots, nos kayaks et stand up paddle (SUP). Repéré à <https://locationcanot.com/embarcations.aspx>
- Loi constitutionnelle de 1867, 30 & 31 Victoria, c 3
- Loi sur l'aménagement et l'urbanisme, RLRQ c A-19.1
- Loi sur les espèces en péril, LC 2002, c 29
- Lorenz, S., Gabel, F., Dobra, N. et Pusch, M. T. (2012). Modelling the effects of recreational boating on self-purification activity provided by bivalve mollusks in a lowland river. *Freshwater Science*, 32(1), 82-93.
- Lubinski, K. S., Seagle, H. H., Bhowmik, N. G., Adams, J. R., Sexton, M. A., Buhnerkempe, J., ... Fitzpatrick, W. (1981). *Information summary of the physical, chemical, and biological effects of navigation*.

Repéré à <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/72678/ISWSCR-261.pdf?sequence=2>

- Maar, M., Visser, A. W., Nielsen, T. G., Stips, A. et Saito, H. (2006). Turbulence and feeding behaviour affect the vertical distributions of *Oithona similis* and *Microsetella norwegica*. *Marine Ecology Progress Series*, 313, 157-172.
- Magnan, P. (2002). *Avis scientifique sur l'état des stocks de perchaudes au lac Saint-Pierre, les indicateurs biologiques utilisés pour effectuer son suivi et la pertinence de protéger la période de fraye de façon partielle ou totale*. Repéré à ftp://ftp.mrnf.gouv.qc.ca/Public/Defh/Sfa/PDF_OGSL/Magnan2002.pdf
- Marion, S. R. (2002). *Effects of habitat fragmentation on the utilization of eelgrass (Zostera marina) by mobile epifauna and macrofauna* (Mémoire de maîtrise). College of William and Mary, Williamsburg, VA.
- Marsh, J. H. (2015). Fleuve Saint-Laurent. Repéré à <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/fleuve-saint-laurent>
- McCandless, A. W. (2018). *Mooring impacts on Zostera marina meadows and associated epifauna in Nantucket Harbor, Massachusetts, USA* (Mémoire de maîtrise). Portland State University, Oregon, OR.
- McConchie, J. A., et Toleman, I. E. J. (2003). Boat wakes as a cause of riverbank erosion: A case study from the Waikato River, New Zealand. *Journal of Hydrology: New Zealand*, 42(2), 163-179.
- Mercier-Blais, S. et Prairie, Y. (2014). *Projet d'évaluation de l'impact des vagues créées par les bateaux de type wakeboat sur la rive des lacs Memphremagog et Lovering*. Repéré à https://vite.memphremagog.org/files/userfiles/files/Centre_de_documents/FR/Rapport-Vagues-Wakeboard-2014.pdf
- Mikola, J., Miettinen, M., Lehtikainen, E. et Lehtilä, K. (1994). The effects of disturbance caused by boating on survival and behaviour of velvet scoter *Melanitta fusca* ducklings. *Biological Conservation*, 67(2), 119-124.
- Ministère de la Culture et des Communications. (s. d.). Répertoire du patrimoine culturel Québécois : fondation de Trois-Rivières. Repéré à <http://www.patrimoine-culturel.gouv.qc.ca/rpcq/detail.do?methode=consulter&id=25887&type=pge#>. XrMxJchKjIU
- Ministère de l'Environnement et de la Faune. (1998). *Lac Saint-Pierre, Quebec : Information sheet on Ramsar wetlands*. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/id/eprint/802/1/MEF_1998_Lac%20Saint-Pierre_Information_Sheet_on_Ramsar_Wetlands_A.pdf
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2020). *Les plantes vasculaires susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables au Québec*. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/listes/vasculaires.pdf>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.). À propos du Ministère. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/ministere/a-propos.htm>

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MELCC). (s. d.a). Le Saint-Laurent. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/fleuve.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MELCC). (s. d.b). Milieux humides. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rives/milieuhumides.htm>
- Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH). (s. d.a). Guide La prise de décision en urbanisme : limites concernant la navigation de plaisance. Repéré à <https://www.mamh.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/guide-la-prise-de-decision-en-urbanisme/protection-de-lenvironnement/limites-concernant-la-navigation-de-plaisance/>
- Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH). (s. d.b). Guide La prise de décision en urbanisme : MRC. Repéré à <https://www.mamh.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/guide-la-prise-de-decision-en-urbanisme/acteurs-et-processus/mrc/>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). (s. d.a). Liste des espèces désignées comme menacées ou vulnérables au Québec. Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/liste-especes-vulnerables/>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). (s. d.b). Prolongation de 5 ans du moratoire sur la pêche à la perchaude au lac Saint-Pierre. Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/peche/prolongation-moratoire-perchaude/>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). (s. d.c). Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec. Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/forets/inventaire/inventaire-zones-carte.jsp>
- Ministère des Transports (MTQ). (s. d.). Navigation durable. Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/entreprises-services-transport-maritime/Pages/navigation-durable.aspx>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). (2013). Le lac Saint-Pierre : un joyau à restaurer. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/doc-synthese.pdf>
- Moore, M. J. C. et Seigel, R. A. (2006). No place to nest or bask: Effects of human disturbance on the nesting and basking habits of yellow-blotched map turtles (*Graptemys flavimaculata*). *Biological Conservation*, 130(3), 386-393.
- Morin, J. et Côté, J.-P. (2003). Modifications anthropiques sur 150 ans au lac Saint-Pierre : une fenêtre sur les transformations de l'écosystème du Saint-Laurent. *VertigO*, 4(3). Repéré à <https://journals.openedition.org/vertigo/3867>
- Morissette, A. (s. d.). *La géomorphologie d'un marais salé*. Repéré à https://zipnord.qc.ca/data/13-zipnord/ressources/documents/sys_docs/94005937.pdf
- Mosisch, T. D. et Arthington, A. H. (1998). The impacts of power boating and water skiing on reservoirs. *Lakes & Reservoirs : Research and Management*, 3, 1-17.
- Mujal-Colilles, A., Gironella, X., Sanchez-Arcilla, A., Polo, C. P. et Garcia-Leon, M. (2017). Erosion caused by propeller jets in a low energy harbour basin. *Journal of Hydraulic Research*, 55(1), 121-128.

- Mumma, M. T., Cichra, C. E. et Sowards, J. T. Effects of recreation on the submersed aquatic plant community of Rainbow River, Florida. *Journal of Aquatic Plant Management*, 34, 53-56.
- Munawar, M., Norwood, W. P. et McCarthy, L. H. (1991). A method for evaluating the impact of navigationally induced suspended sediments from the Upper Great Lakes Connecting Channels on the primary productivity. *Hydrobiologia*, 219, 325-332.
- Murphy, K. J. et Eaton, J. W. (1983). Effects of pleasure-boat traffic on macrophyte growth in canals. *Journal of Applied Ecology*, 20, 713-729.
- Murray, C. L. C. (2012). *The role of recreational boating in the introduction and spread of marine invasive species* (Thèse de doctorat). University of British Columbia, Vancouver, Colombie-Britannique.
- Murray, C. L. C., Pkhomov, E. A. et Therriault, T. W. (2011). Recreational boating: A large unregulated vector transporting marine invasive species. *Diversity and Distributions*, 17(6), 1161-1172.
- Nautisme Québec. (s. d.). Lac Saint-Pierre. Repéré à https://nautismequebec.com/naviguer/par-region-nautique/lac-saint-pierre-55/?afficher_station=55
- Objois, C., Jones, R. G. et Olivier, J. (2005). *L'histoire économique de la région de Sorel-Tracy du dernier siècle : 1905 à 2005*. Sorel-Tracy, Québec : Page Cournoyer Publications.
- Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). (s. d.a). Biosphere reserve information: Lac Saint-Pierre. Repéré à <http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?mode=all&code=CAN+09>
- Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). (s. d.b). Milieu physique : climatologie. Repéré à https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/gscw031?owa_no_site=665&owa_no_fiche=122&owa_bottin=
- Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). (s. d.c). Milieu physique : physiographie. Repéré à https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/gscw031?owa_no_site=665&owa_no_fiche=121&owa_bottin=
- Parlement du Canada. (2011). Guide de la chambre des communes : adoption des lois au Canada. Repéré à <https://lop.parl.ca/about/parliament/guidetohoc/making-f.htm>
- Pêches et Océans Canada (MPO). (2020). Cartes marines et services. Repéré à <http://www.charts.gc.ca/index-fra.html>
- Péloquin-Guay, M. (2013). *Évaluation de l'effet des vagues de bateau sur les conditions hydrauliques près des berges en milieu fluvial* (Mémoire de maîtrise). Université de Montréal, Montréal, Québec.
- Pham Van Bang, D., Ouashine, A., Sergent, P., Long, B., Montreuil, S., Debailon, P. et Hissel, F. (2008). *Érosion des sédiments et vague générées par le passage des bateaux : mesures et analyses*. Repéré à https://www.paralia.fr/jngcgc/10_58_pham.pdf
- Plan d'Action Saint-Laurent. (2012a). Historique du programme Zones d'intervention prioritaire (ZIP). Repéré à http://planstlaurent.qc.ca/fr/gestion_integree/programme_zip.html

- Plan d'Action Saint-Laurent. (2012 b). Les Tables de concertation régionales. Repéré à http://planstlaurent.qc.ca/fr/gestion_integree/tables_de_concertation_regionales.html#c202
- Plan d'Action Saint-Laurent. (2016). Les acteurs de la gestion intégrée du Saint-Laurent. Repéré à http://planstlaurent.qc.ca/fr/gestion_integree/acteurs.html
- Plan d'action Saint-Laurent. (2017). *La navigation sur le Saint-Laurent : un écho du passé, une voie d'avenir*. Repéré à http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/site_documents/documents/Usages/Navigation_St-LaurentFR.pdf
- Potter, P. E., Maynard, J. B. et Depetris, P. J. (2005). *Mud and mudstones: Introduction and overview*. Repéré à <https://books.google.ca/books?id=ahZc3qUkSDkC&pg=PA31&lpg=PA31&dq=clay+can+stay+in+water+column+for+days&source=bl&ots=AYDwZHmr50&sig=ACfU3U2CPLkqUjvzlkG2NdXJZgR-lagACw&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwiGjQCudfpAhVVCV80KHcNOBGQQ6AEwEHoEAcQAQ#v=onepage&q&f=false>
- Pourvoirie du lac Saint-Pierre. (s. d.). Accueil. Repéré à <http://www.lacsaintpierre.com/>
- Pourvoirie Roger Gladu. (s. d.). Accueil. Repéré à <http://www.pourvoirierogergladu.com/>
- Prescott, J. et Richard, P. (2013). *Mammifères du Québec et de l'Est du Canada* (3^e éd.). Waterloo, Québec : Éditions Michel Quintin.
- Probst, W. N., Stoll, S., Peters, L., Fischer, P. et Eckmann, R. (2009). Lake water level increase during spring affects the breeding success of bream *Abramis brama* (L.). *Hydrobiologia*, 632, 211-224.
- Ramsar. (2001). Lac Saint-Pierre. Repéré à <https://rsis.ramsar.org/fr/ris/949>
- Rapaglia, J., Zaggia, L., Ricklefs, K., Gelinas, M. et Bokuniewicz, H. (2011). Characteristics of ships' depression waves and associated sediment resuspension in Venice Lagoon, Italy. *Journal of Marine Systems*, 85(1-2), 45-56.
- Rasmussen, H. et Simpson, S. (2010). Disturbance of waterfowl by boaters on Pool 4 of the Upper Mississippi River National Wildlife and Fish Refuge. *Society & Natural Resources*, 23(4), 322-331.
- Règlement sur les espèces floristiques menacées ou vulnérables et leurs habitats, RLRQ c E-12.01, r 3
- Richard, L.-F. (2010). *Suivi de l'état du Saint-Laurent : l'érosion des berges en eau douce*. Repéré à http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/site_documents/documents/SESL/Erosion_2010_f.pdf
- Rolland, R. M., Parks, S. E., Hunt, K. E., Castellote, M., Corkeron, P. J., Nowacek, D. P., ... Kraus, S. D. (2012). Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society B*, 279(1737), 2363-2368.
- Sacco, M. (s. d.). *L'archipel du lac Saint-Pierre et les îles de Verchères : incursion dans les secrets du Saint-Laurent fluvial*. Repéré à http://belisp.uqtr.ca/id/eprint/932/1/Sacco_2012_L%E2%80%99archipel_lac%20Saint-Pierre_A.pdf
- Sagerman, J., Hansen, J. P. et Wilkström, S. A. (2020). Effects of boat traffic and mooring infrastructure on aquatic vegetation: A systematic review and meta-analysis. *Ambio*, 49(2), 517-530.

- Saiz, E. et Alcaraz, M. (1991). Effects of small-scale turbulence on development time and growth of *Acartia grani* (Copepoda: Calanoida). *Journal of Plankton Research*, 13(4), 873-883.
- Saiz, E. et Alcaraz, M. (1992). Free-swimming behaviour of *Acartia clausi* (Copepoda: Calanoida) under turbulent water movement. *Marine Ecology Progress Series*, 80, 229-236.
- Savard, M. (2000). *Guide écologique du nautisme sur le Saint-Laurent*. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/1203/1/Savard_2000_Guide_%C3%A9cologique_nautisme_SL_A%20.pdf
- Schwaderer, A. S., Yoshiyama, K., Pinto., P. T., Swenson, N. G., Klausmeier, C. A. et Litchman, E. (2011). Eco-evolutionary differences in light utilization traits and distributions of freshwater phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, 56(2), 589-598.
- Shields, A. (2019, 16 juillet). Des milliers d'obus à retirer du lac Saint-Pierre. *Le Devoir*. Repéré à <https://www.ledevoir.com/societe/environnement/558767/des-milliers-d-obus-a-retirer-du-lac-saint-pierre>
- Simmons, A. M. et Narins, P. M. (2018). Effects of anthropogenic noise on amphibians and reptiles. Dans H. Slabbekoorn, R. Dooling, A. Popper et R. Fay (dir.), *Effects of anthropogenic noise on animals* (p. 179-208). New York, NY : Springer.
- Slabbekoorn, H., Bouton, N., Opzeeland, I. V., Coers, A., Cate, C. T. et Popper, A. N. (2010). A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(7), 419-427.
- SNC-Lavalin. (2017). *Agrandissement du terminal portuaire de Contrecoeur : étude d'impact environnemental* (Rapport final, numéro de référence : 639 223 et numéro de rapport : F00). Repéré à <https://iaac-aeic.gc.ca/050/documents/p80116/121433F.pdf>
- Société d'aménagement récréatif pour la conservation de l'environnement du lac Saint-Pierre (SARCEL). (s. d.). À propos de sarcel. Repéré à <http://www.sarcel.com/a-propos-de-sarcel.html>
- Soomere, T. (2007). Nonlinear components of ship wake waves. *Applied Mechanics Reviews*, 60(3), 120-138.
- Sorensen, R. M. (1997). *Prediction of vessel-generated waves with reference to vessels common to the upper mississippi river system* (Rapport environnemental et numéro de rapport : 4). Repéré à <https://ntlrepository.blob.core.windows.net/lib/17000/17300/17398/PB2001101346.pdf>
- Stanley, J. A., Van Parijis, S. M. et Hatch, L. T. (2017). Underwater sound from vessel traffic reduces the effective communication range in Atlantic cod and haddock. *Scientific Reports*, 7, 1-12.
- Stoll, S. et Fischer, P. (2011). Three different patterns of how low-intensity waves can affect the energy budget of littoral fish: A mesocosm study. *Oecologia*, 165, 567-576.
- Stratégies Saint-Laurent (SSL). (s. d.a). Comité ZIP du lac Saint-Pierre. Repéré à <https://www.strategiessl.qc.ca/comites-zip/comite-zip-du-lac-saint-pierre#carte>
- Stratégies Saint-Laurent (SSL). (s. d.b). Les comités ZIP. Repéré à <https://www.strategiessl.qc.ca/les-organismes/les-comites-zip>
- Sun, J. W. C. et Narins, P. M. (2005). Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biological Conservation*, 121(3), 419-427.

- Symonds, A., Britton, G., Donald, J. et Loehr, H. (2017). Predicting propeller wash and bed disturbance by recreational vessels at marinas. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/321306369_Predicting_propeller_wash_and_bed_disturbance_by_recreational_vessels_at_marinas
- Tourisme Nicolet-Yamaska. (s. d.). Réserve mondiale de la biosphère du lac Saint-Pierre. Repéré à <https://www.tourismenicoletyamaska.com/fr/decouvrir-la-region/reserve-mondiale-de-la-biosphere-du-lac-saint-pierre>
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S. et Mosseler, A. (2009). Forest resilience, biodiversity, and climate change: A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. *Convention on Biological Diversity Technical Series*, 43, 1-67.
- Trudeau, V., Rondeau, M. et Simard, A. (2011). *Pesticides aux embouchures de tributaires du lac Saint-Pierre (2003-2008)*. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/id/eprint/554/1/Trudeau_2011_Pesticides_EmbouchuresTributaires_LacStPierre_A.pdf
- U. S. Army Corps of Engineers. (1993). *Boating impact study, Fox River, Chain O'Lakes: Environmental impact statement and appendix A, volume 1*. Repéré à <https://books.google.ca/books?id=seE0AQAAMAAJ&pg=PR1&lpq=PR1&dq=Cumulative+impacts+of+recreational+boating+on+the+Fox+River+&source=bl&ots=R6Pgjlt4EH&sig=ACfU3U2LsWAMVbOV3KBvl4v6l25hoBq7oA&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwi87bvt3tTpAhUIB50JHWRDB1kQ6AEwAXoECAoQAQ#v=onepage&q&f=false>
- Utne-Palm, A. C. (2004). Effects of larvae ontogeny, turbidity, and turbulence on prey attack rate and swimming activity of Atlantic herring larvae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 310(2), 147-161.
- Vazzana, M., Celi, M., Arizza, V., Calandra, G., Buscaino, G., Ferrantelli, V., ... Sarà, G. (2017). Noise elicits hematological stress parameters in Mediterranean damselfish (*Chromis chromis*, perciformes): A mesocosm study. *Fish & Shellfish Immunology*, 62, 147-152.
- Vazzana, M., Ceraulo, M., Mauro, M., Papale, E., Dioguardi, M., Mazzola, S., ... Buscaino, G. (2020). Effects of acoustic stimulation on biochemical parameters in the digestive gland of Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(4), 2414-2422.
- Vermaat, J. E. et de Bruyne, R. J. (1993). Factors limiting the distribution of submerged waterplants in the lowland river Vecht (The Netherlands). *Freshwater Biology*, 30, 147-157.
- Ville de Magog. (2019). Environnement : protection des rives et du littoral. Repéré à <https://www.ville.magog.qc.ca/informations-services/environnement/#protection-rives>
- Vilmin, L., Flipo, N., de Fouquet, C. et Poulin, M. (2015). Pluri-annual sediment budget in navigated river system: The Seine River (France). *Science of the Total Environment*, 502, 48-59.
- Walker, D. I., Lukatelich, R. J., Bastyan, G. et McComb, A. J. (1989). Effect of boat moorings on seagrass beds near Perth, Western Australia. *Aquatic Botany*, 36, 69-77.

- Whitfield, A. K. et Becker, A. (2014). Impacts of recreational motorboats on fishes: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 83(1), 24-31.
- Williamson, J., Kite, J., Henderson, P. et Bowman Bishaw and Associates. (1989). *Waroona reservoir and catchment area management: Plan 1990-2000*. Repéré à <https://www.dpaw.wa.gov.au/images/documents/parks/management-plans/decarchive/waroona.pdf>
- Yousef, Y. A., McLellon, W. M. et Zebuth, H. H. (1980). Changes in phosphorus concentrations due to mixing by motorboats in shallow lakes. *Water Research*, 14(7), 841-852.
- Zhang, W., Ma, J. et Li, J. (2011). Behavioral responses of the common coots (*Fulica atra*) and other swimming birds to human disturbances. *Acta Ecologica Sinica*, 31(6), 1695-1702.