

Revue de littérature sur l'adaptation du parc marin Saguenay-Saint-Laurent aux changements climatiques

Fournisseur de service : Benjamin Labbé

Supervision du contrat : Raphaëlle Dancette (Parcs Canada) et Ursule Boyer-Villemaire (Ouranos)

3^e livrable : Version complète de la revue de littérature

Date de remise du 3^e livrable : 31 mars 2023

Résumé

Cette revue de littérature réalisée sur une durée de trois mois à l'hiver 2023 vise à rassembler les connaissances actuelles sur les changements climatiques dans le parc marin Saguenay-Saint-Laurent (PMSSL). La recherche se concentre sur les articles scientifiques publiés dans les dernières années et les rapports d'organisations gouvernementales et non gouvernementales. Il s'agit d'un survol qui vise à alimenter une éventuelle démarche d'analyse du risque climatique, qui elle, s'appuierait sur la concertation de spécialistes, l'application d'une approche écosystémique et la participation des parties prenantes.

Dans un premier temps, les principaux aléas liés aux changements climatiques sont résumés. Les programmes de suivi de Pêches et Océans Canada ainsi que ses travaux de modélisation des conditions marines futures aident à brosser le portrait des changements des dernières années et de ceux qui sont anticipés. Notamment, dans l'estuaire du Saint-Laurent, l'augmentation de la température de l'eau en surface s'accompagne d'une augmentation de l'apport en eau chaude et salée du Gulf Stream. Ces masses d'eau entrent dans le golfe du Saint-Laurent et sont transportées en profondeur dans le chenal laurentien jusqu'à la tête où se trouve le parc marin. Au fond du chenal, l'oxygène dissous est en diminution depuis plusieurs années et un phénomène d'acidification est en cours. Les côtes du parc marin sont aussi exposées aux effets des changements climatiques en autres à travers la hausse du niveau de la mer et la modification du régime des vents, vagues et tempêtes. Ces changements accélèrent l'érosion et peuvent provoquer des inondations et la submersion des terres. La plupart de ces changements sont maintenant très bien documentés à l'échelle mondiale et nationale, mais les projections à échelle locale ne sont pas toujours accessibles facilement. L'estuaire maritime est beaucoup mieux documenté que les autres secteurs du parc marin et l'évolution projetée du fjord est assez méconnue.

Dans un deuxième temps, les écosystèmes du parc marin du Saguenay-Saint-Laurent sont divisés en composantes principales : les habitats pélagiques, les habitats benthiques, les habitats côtiers, les poissons, les mammifères marins et les oiseaux. La revue de littérature a permis de récupérer des ressources qui permettront d'évaluer la vulnérabilité de chacune de ces composantes aux changements climatiques. Dans les habitats pélagiques, les copépodes qui sont à la base du réseau trophique ont besoin d'eau suffisamment froide au cours de leur cycle de vie. L'augmentation de la température pourrait entraîner une diminution générale de leur biomasse et ces changements affectent leurs consommateurs qui doivent s'adapter à une baisse de disponibilité de proies. Dans les habitats benthiques, l'hypoxie et l'acidification ont déjà modifié la composition des communautés. La mise en place de suivis sera nécessaire pour constater si les seuils de tolérance des espèces de l'estuaire sont en voie d'être dépassés, ce qui pourrait amener une perte de biodiversité. Le parc marin abrite de nombreux habitats côtiers indispensables pour la faune. La revue fournit des pistes pour le développement d'un indicateur de suivi de leur évolution, notamment en discutant des exemples de modélisation en conditions futures réalisés à des sites proches des limites du PMSSL. Les poissons ont des réponses variées à l'augmentation de la température de l'eau et à la diminution de l'oxygène dissous selon leurs seuils de tolérance. Les évaluations de stocks de poissons doivent rapidement passer d'une approche mono-espèce à des approches écosystémiques qui intègrent la projection des changements de conditions climatiques et océanographiques et les relations prédateur-proie. La diminution potentielle des proies des mammifères

marins est identifiée comme une menace principale qui limite le rétablissement des espèces en voie de disparition qui résident dans le parc marin comme le béluga du Saint-Laurent ou qui le fréquentent comme le rorqual bleu et la baleine noire de l'Atlantique Nord. Il existe un besoin urgent de développer des capacités à prévoir les changements dans la qualité et la distribution spatiale et temporelle des proies afin de mettre en place des mesures de conservation qui restent efficaces dans les conditions futures.

Certains sujets importants pour l'adaptation du socioécosystème du PMSSL n'ont pas pu être couverts en détail dans la revue de littérature, entre autres les oiseaux et le risque climatique pour les communautés humaines de l'aire de coordination du parc marin. Des pistes de recherche sont suggérées pour souligner l'importance d'étudier éventuellement ces aspects plus en profondeur.

La discussion présente les messages clés qui se dégagent de la revue de littérature. Il ressort de ce travail que la poursuite des partenariats et le renforcement des structures de collaboration seront nécessaires pour assurer l'adaptation du socioécosystème du parc marin Saguenay Saint-Laurent. La concertation devrait permettre l'adoption d'une vision préventive qui s'appuie sur la projection des conditions futures des écosystèmes. Au fil de ces démarches, une attention particulière devra être portée à l'étude du fjord du Saguenay pour lequel d'importantes lacunes de connaissances sont à combler. La poursuite d'une meilleure intégration des changements climatiques à la gestion du parc marin passe par le développement et l'amélioration continue de son programme de surveillance écologique. En considérant comment les changements climatiques anticipés agissent comme une pression supplémentaire sur les écosystèmes, la réduction des pressions anthropiques pour lesquelles il existe une possibilité d'agir apparaît comme essentielle.

Table des matières

Résumé	i
Table des matières	iii
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
Introduction.....	1
1. Méthodologie	4
1.1. Aire d'étude	4
1.2. Cadre conceptuel	5
1.3. Recherche documentaire	8
1.4. Caractérisation des ressources	10
1.5. Évaluation préliminaire du risque climatique et de la maturité des connaissances	10
1.6. Limites de la revue de littérature	11
2. Aléas liés aux changements climatiques qui affectent le socioécosystème du PMSSL	13
2.1. Facteurs de stress graduels	17
2.1.1. Augmentation de la température de l'air.....	17
2.1.2. Augmentation de la température de l'eau	18
2.1.3. Modification de la salinité et de la stratification	22
2.1.4. Diminution de la couverture de glace	24
2.1.5. Acidification	25
2.1.6. Hypoxie.....	27
2.1.7. Augmentation du niveau de la mer	28
2.2. Chocs	29
2.2.1. Tempêtes, vents et vagues	29
2.2.2. Érosion côtière, inondations et submersion par la mer	30
2.2.3. Vagues de chaleur marines	33
2.3. Maturité des connaissances et pistes d'adaptation.....	34
3. Écosystèmes du PMSSL dans un climat en changement	38
3.1. Habitats pélagiques.....	43
3.1.1. Vulnérabilité des habitats pélagiques aux changements climatiques	44
3.1.2. Projections de l'évolution des habitats pélagiques	44
3.1.3. Maturité des connaissances et pistes d'adaptation	48
3.2. Habitats benthiques	53
3.2.1. Vulnérabilité des habitats benthiques aux changements climatiques	54
3.2.2. Tendances et projections de l'évolution des habitats benthiques.....	55

3.2.3.	Maturité des connaissances et pistes d'adaptation	57
3.3.	Habitats côtiers	61
3.3.1.	Vulnérabilité des habitats côtiers aux changements climatiques	65
3.3.2.	Tendances et projections de l'évolution des habitats côtiers	66
3.3.3.	Maturité des connaissances et pistes d'adaptation	67
3.4.	Poissons.....	69
3.4.1.	Vulnérabilité des poissons aux changements climatiques	71
3.4.2.	Tendances et projections de l'évolution des poissons	72
3.4.3.	Maturité des connaissances et pistes d'adaptation	74
3.5.	Mammifères marins	78
3.5.1.	Vulnérabilité des mammifères marins aux changements climatiques	79
3.5.2.	Tendances et projections de l'évolution des mammifères marins.....	84
3.5.3.	Maturité des connaissances et pistes d'adaptation	90
3.6.	Oiseaux.....	97
3.6.1.	Vulnérabilité des oiseaux aux changements climatiques	98
3.6.2.	Tendances et projections de l'évolution des habitats côtiers	98
3.6.3.	Maturité des connaissances et pistes d'adaptation	99
4.	Risque climatique pour le système social du PMSSL	101
4.1.	Communautés humaines	101
4.2.	Activités.....	103
5.	Discussion et conclusions	105
5.1.	Messages clés.....	107
5.1.1.	Risques climatiques	107
5.1.2.	Maturité des connaissances	108
5.2.	Recommandations	109
5.3.	Pistes pour donner suite à la revue de littérature et dépasser ses limites	111
	Annexe A Présentation du tableau des ressources pour l'adaptation du PMSSL	113
	Annexe B Capture d'écran d'une partie du tableau de caractérisation des ressources.....	115
	Annexe C Allocation verticale calculée avec l'outil OCANEE du MPO à la station Les Escoumins	116
	Annexe D Figure complète des 193 taxons étudiés dans Beauséjour 2020.....	117
	Annexe E Plages et seuils de température et d'oxygène dissous de 54 espèces importantes pour la pêche ou la conservation	118
	Annexe F Mammifères marins qui fréquentent le Parc marin Saguenay-Saint-Laurent non inclus dans la revue de littérature	119

Liste des tableaux

Tableau 1 Définitions des concepts clés	7
Tableau 2 Mots-clés recherchés associés aux composantes du socioécosystème du PMSSL.....	9
Tableau 3 Critères d’inclusion	10
Tableau 4 Critères pour l’évaluation préliminaire de la vulnérabilité	11
Tableau 5 Critères pour l’évaluation préliminaire de la maturité	11
Tableau 6 Résumé des changements climatiques identifiés affectant le PMSSL	13
Tableau 7 Aperçu de la maturité des connaissances sur les aléas	34
Tableau 8 Aperçu de la maturité des connaissances sur le risque climatique pour les écosystèmes	42
Tableau 9 Aperçu du risque climatique pour les habitats pélagiques	43
Tableau 10 Aperçu du risque climatique pour les habitats benthiques	53
Tableau 11 Aperçu du risque climatique pour les habitats côtiers	61
Tableau 12 Aperçu du risque climatique pour les poissons	69
Tableau 13 Aperçu du risque climatique pour les mammifères marins	78
Tableau 14 Mammifères marin qui fréquentent le Parc marin Saguenay-Saint-Laurent inclus dans la revue de littérature	79
Tableau 15 Description et détails des progrès réalisés par rapport au respect des indicateurs de rendement indiqués dans le programme de rétablissement.	85
Tableau 16 Résumé des pistes d’adaptation suggérées pour les oiseaux.....	97
Tableau 17 Résumé des pistes d’adaptation suggérées pour les communautés humaines	101
Tableau 18 Aperçu préliminaire du risque climatique sur les écosystèmes du PMSSL	105
Tableau 19 Mammifères marins qui fréquentent le Parc marin Saguenay-Saint-Laurent non inclus dans la revue de littérature	119

Liste des figures

Figure 1 Cadre simplifié pour l'intégration des changements climatiques à toutes les étapes du cycle de vie d'une aire marine protégée (AMP) selon la combinaison de cinq cadres utilisés couramment	2
Figure 2 Limites du parc marin et de l'aire de coordination.....	4
Figure 3 Cadres d'analyse des socioécosystèmes et de la gestion basée sur les écosystèmes	5
Figure 4 Schéma conceptuel du socioécosystème du PMSSL structurant la revue de littérature	6
Figure 5 Schéma du risque climatique.....	8
Figure 6 Nombre de variables qui présentent un changement (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) supérieur à trois fois l'écart type calculé sur la période historique.	16
Figure 7 Anomalies de la température de l'air moyenne annuelle, d'avril à novembre et de décembre à mars, moyennées pour les stations autour du golfe.	17
Figure 8 Données de température moyenne projetées pour Tadoussac à partir de l'ensemble de modèles CMIP 5 pour les trajectoires représentatives de concentration RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5.	18
Figure 9 Modifications récentes de la contribution du courant du Labrador et du Gulf Stream à l'eau du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent.	19
Figure 10 Température de la couche profonde de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Les moyennes régionales sont indiquées pour 200 et 300 m.....	20
Figure 11 A) Température de l'eau moyenne (°C) pour la période 1991-2010 à quatre intervalles de profondeur (0-50 m, 50-150 m, 150-300 m et fond) pour les simulations forcées avec MPI-ESM-LR, HadGEM2-ES et CanESM2 selon le scénario RCP 8.5, B) Changement de température (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation et C) écart de changement entre les modèles.	21
Figure 12 Schéma illustrant la stratification et la circulation des eaux à l'intérieur du Saint-Laurent.....	22
Figure 13 A) Salinité moyenne de l'eau (psu) sur la période 1991-2010 à quatre intervalles de profondeur (0-50 m, 50-150 m, 150-300 m et fond) dans le cadre du scénario RCP 8.5. Changement de salinité (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation, et C) écart entre les modèles.	23
Figure 14 A) Stratification moyenne (kg m^{-3}) au cours de la période 1991-2010 à l'intervalle de profondeur 0-50 m dans le cadre du scénario RCP 8.5, B) changement de stratification (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation, et C) écart de changement entre les modèles.	23
Figure 15 A) Épaisseur moyenne de la glace de mer (m) sur la période 1991-2010 dans le cadre du scénario RCP 8.5, B) Épaisseur moyenne de la glace de mer sur la période 2061-2080 pour chaque simulation, et C) Écart de changement entre les modèles pour l'épaisseur moyenne de la glace de mer.	25
Figure 16 Concentration moyenne de glace de mer d'ensemble sur la période 1991-2010 dans le cadre du scénario RCP 8.5, B) fraction moyenne de glace de mer sur la période 2061-2080 pour chaque simulation, et C) Écart de changement entre les modèles.	25
Figure 17 A) pH total moyen pour la période 1991-2010 à quatre intervalles de profondeur (0-50 m, 50-150 m, 150-300 m et fond) selon le scénario RCP 8,5. B) changement de pH total (moyenne 2061-2080 (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation, et C) écart de changement entre les modèles.	26

Figure 18 Concentration d’oxygène dissous minimale du fond à la tête de l’estuaire maritime et les températures de l’eau associées.	28
Figure 19 Projections du changement du niveau de la mer à Tadoussac.....	29
Figure 20 Déplacement moyen du littoral du suivi de l’érosion côtière pour la portion estuaire maritime du PMSSL.	31
Figure 21 Déplacement moyen du littoral du suivi de l’érosion côtière pour la portion estuaire moyen du PMSSL.	32
Figure 22 Schéma illustrant les facteurs qui influencent le coincement côtier. A) Déplacement de l’écosystème côtier en absence de contraintes. B) Déplacement de l’écosystème côtier bloqué par une contrainte naturelle. C) Déplacement de l’écosystème côtier bloqué par une contrainte anthropique	33
Figure 23 Distribution de l’exposition cumulative dans le système Saint-Laurent.....	38
Figure 24 Effet cumulatif des stressseurs à l’échelle du réseau.	39
Figure 25 Contribution des stressseurs aux effets cumulatifs à l’échelle du réseau trophique sur les principaux groupes taxonomiques.	40
Figure 26 A) Biomasse moyenne annuelle de chlorophylle <i>a</i> pour la période 1991-2010 à un intervalle de de profondeur de 0-50 m pour les simulations forcées avec MPI-ESM-LR, HadGEM2-ES et CanESM2 selon le scénario RCP 8.5, B) Changement de biomasse de chlorophylle <i>a</i> (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation et C) écart de changement entre les modèles.	45
Figure 27 A) Concentration moyenne annuelle de mésozooplancton pour la période 1991-2010 à un intervalle de de profondeur de 0-50 m pour les simulations forcées avec MPI-ESM-LR, HadGEM2-ES et CanESM2 selon le scénario RCP 8.5, B) Changement de concentration de mésozooplancton (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation et C) écart de changement entre les modèles.	45
Figure 28 Schéma des 12 chantiers du projet Résilience côtière du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières	63
Figure 29 Écosystèmes de l’embouchure de la rivière Grandes-Bergeronnes, Côte-Nord	63
Figure 30 Exemple de photographies de la côte et du substrat disponibles sur la plateforme SIGEC Web pour la région du PMSSL dans le secteur de Pointe aux vaches	64
Figure 31 Modélisation de l’occurrence du lançon.	74
Figure 32 Taille de population moyenne du béluga selon différents scénarios de gestion.	86
Figure 33 Taille de population projetée moyenne du béluga sous différents régimes.	87
Figure 34 Emplacement des sites ayant été historiquement colonisés par les oiseaux marins pour la nidification, dans l’aire de coordination du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent:	98
Figure 35 Capture d’écran d’une partie du tableau de caractérisation des ressources	115
Figure 36 Allocation verticale calculée avec l’outil OCANEE du MPO à la station Les Escoumins	116
Figure 37 Contribution moyenne de 18 stressseurs aux effets cumulatifs régionaux sur 193 taxons du système Saint-Laurent.....	117
Figure 38 Plages et seuils de température et d’oxygène dissous de 54 espèces importantes pour la pêche ou la conservation	118

Introduction

Mise en contexte

Alors que nos territoires, ceux qui décident de leur développement et ceux qui y vivent font déjà face à certains effets des changements climatiques, il est primordial de connaître les impacts potentiels de ces phénomènes et de s'en prémunir sur les sites dont la vocation est de protéger des écosystèmes sensibles et importants pour nos communautés. Or, bien que le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent (PMSSL) ait identifié les changements climatiques comme un axe de recherche à développer lors de la rédaction de son dernier plan directeur (2010), les connaissances restent insuffisantes, ce qui limite la capacité à avoir une vision prospective et à développer des mesures de protection adéquates à long terme. Une meilleure connaissance des zones importantes et sensibles aux changements climatiques dans le parc est aussi nécessaire. Un mandat de revue de littérature a donc été accordé afin de rassembler les connaissances actuelles sur les changements climatiques dans le parc marin Saguenay-Saint-Laurent. Le mandat a été réalisé à l'hiver 2023 sur une durée de 3 mois. L'équipe de supervision était composée de Raphaëlle Dancette de Parcs Canada et d'Ursule Boyer-Villemaire d'Ouranos.

Objectifs

- Synthétiser les projections les plus récentes des aléas liés au climat qui risquent d'affecter les écosystèmes du PMSSL
- Rassembler les principales sources d'information scientifique qui permettront une évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques des écosystèmes du PMSSL
- Estimer la maturité des connaissances sur la résilience de chaque composante de l'écosystème
- Recommander des pistes de recherche pour une meilleure prise en compte des changements climatiques dans le PMSSL et pour mettre en place des mesures d'adaptation.

Adaptation aux changements climatiques dans une aire marine protégée

Les cadres internationaux fournissent un point de départ pour répondre à ces objectifs. La *Liste verte* de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), une norme mondiale en matière de conservation de la nature, préconise que l'impact probable du changement climatique sur les principales valeurs de l'aire protégée soit évalué, compris et documenté (UICN, 2017). Aussi, la version la plus récente des *Standards ouverts pour la pratique de la conservation* inclut à chaque étape des démarches de conservation la considération des changements climatiques (CMP, 2020).

Bien que la prise en compte des changements climatiques dans la gestion des aires protégées soit identifiée comme une bonne pratique, O' Regan et al. (2021) ont évalué qu'ils ne sont pas encore intégrés adéquatement dans de nombreuses aires marines protégées. Les chercheuses ont étudié 667 plans de gestion d'aires marines protégées à travers le nombre et seulement 57% contenaient des termes liés aux changements climatiques. De plus, elles ont développé un indice pour quantifier la robustesse de la considération des changements climatiques dans les plans de gestion et la moyenne obtenue des 223 plans analysés en détail était de 10,9 points sur 28. L'article souligne que le Canada tire de l'arrière à ce pointage avec une moyenne de 6,8.

Wilson et al. (2020) ont réalisé une revue de littérature sur l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans la planification des aires protégées marines. Un cadre conceptuel simplifié qui rassemble

les caractéristiques de cinq cadres couramment utilisés dans le domaine de l'adaptation est proposé (voir figure 1).

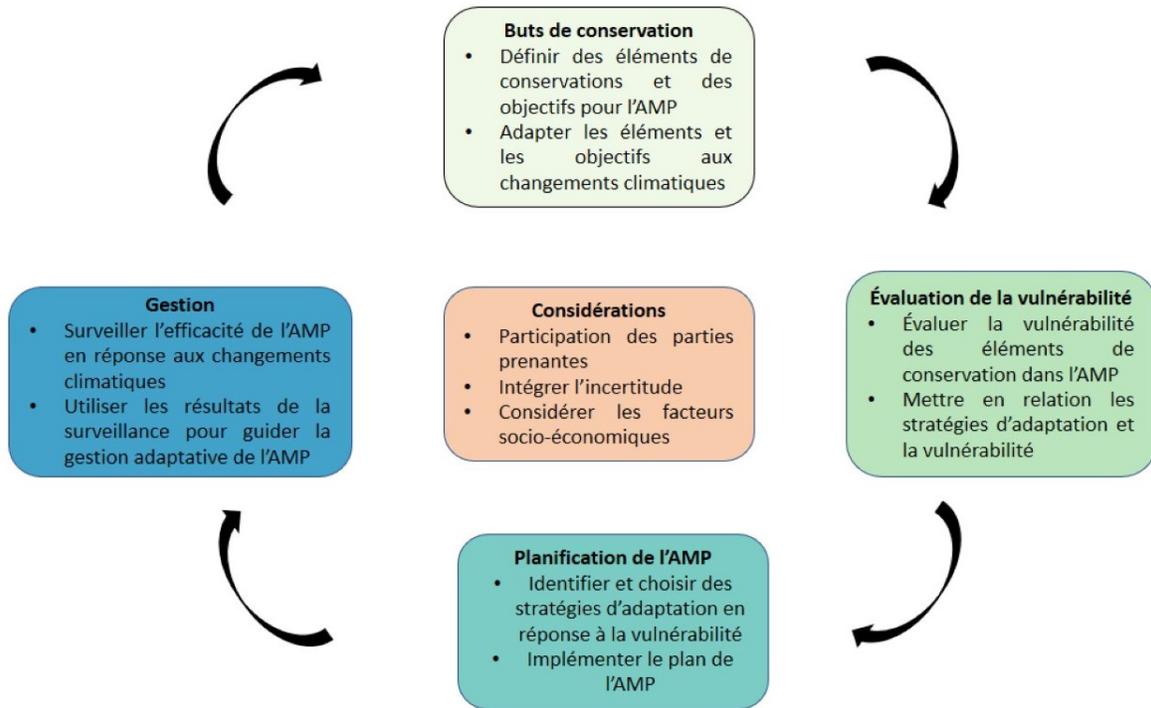


Figure 1 Cadre simplifié pour l'intégration des changements climatiques à toutes les étapes du cycle de vie d'une aire marine protégée (AMP) selon la combinaison de cinq cadres utilisés couramment.

Source : Modifié de Wilson et al. (2020)

La liste des 257 références concernant l'adaptation aux changements climatiques dans la planification de la conservation utilisés dans l'article de Wilson et al. (2020) est disponible comme matériel supplémentaire.

Dans le parc marin Saguenay-Saint-Laurent, les changements climatiques sont déjà considérés depuis longtemps (voir le plan directeur du PMSSL 2010), notamment à travers le programme de suivi écologique du parc. Cela dit, dans un contexte où la pression des changements climatiques s'accroît, il existe un besoin de les prendre en compte davantage et d'adopter une vision dynamique tournée vers l'anticipation des conditions futures. La réalisation de cette revue de littérature se veut un pas dans cette direction. Toutefois, elle ne saurait constituer à elle seule une évaluation formelle de la vulnérabilité des écosystèmes du PMSSL. Elle vise plutôt à rassembler des sources éclairantes qui permettent de brosser un portrait d'ensemble préliminaire de la situation des changements climatiques dans le PMSSL. Le résultat de ce travail pourra éventuellement orienter de futures recherches et projets de suivis dans le parc marin; et appuyer une démarche d'évaluation du risque climatique. Ces initiatives feront intervenir des spécialistes de plusieurs disciplines ainsi que les acteurs et actrices du territoire. À terme, l'objectif est de mieux intégrer les changements climatiques aux mesures de gestion du parc marin. Dans la revue de littérature, les écosystèmes du PMSSL sont divisés en composantes principales : les habitats pélagiques, les habitats benthiques, les habitats côtiers, les poissons et les mammifères marins et les oiseaux. Pour

chaque composante, des références qui traitent de leur vulnérabilité aux changements climatiques sont résumées. Ensuite, un aperçu de l'état des connaissances sur leur projection dans les conditions futures est présenté afin d'estimer la maturité de la science sur ce sujet et de souligner des pistes de recherches. La synthèse du risque climatique pour chaque composante s'appuie sur une description des principaux aléas auxquels font face les écosystèmes, laquelle est présentée en première partie de la revue de littérature.

Références Introduction

IUCN and World Commission on Protected Areas (WCPA) (2017). IUCN Green List of Protected and Conserved Areas: Standard, Version 1.1. Gland, Switzerland: IUCN.

Wilson, K. L., Tittensor, D. P., Worm, B., & Lotze, H. K. (2020). Incorporating climate change adaptation into marine protected area planning. *Global Change Biology*, 26(6), 3251-3267.

Bryndum-Buchholz, A., Boerder, K., Stanley, R. R. E., Hurley, I., Boyce, D. G., Dunmall, K. M., ... & Tittensor, D. P. (2022). A climate-resilient marine conservation network for Canada. *Facets*, 7(1), 571-590.

Conservation Measures Partnership (CMP) (2020). Standards ouverts pour la pratique de la conservation version 4.0, CMP, 83 p.

O'Regan, S. M., Archer, S. K., Friesen, S. K., & Hunter, K. L. (2021). A global assessment of climate change adaptation in marine protected area management plans. *Frontiers in Marine Science*, 8, 711085.

annoncé officiellement. Cet agrandissement est mentionné à quelques reprises dans le texte à travers le soulèvement de pistes de recherches, mais puisque l’annonce a eu lieu vers la fin du mandat et que les limites ne sont pas encore établies, la recherche est concentrée sur les secteurs qui se trouvent à l’intérieur des limites actuelles.

1.2. Cadre conceptuel

Un cadre conceptuel aide à organiser et à analyser une grande quantité d’information (McGinnis et Ostrom, 2014). Le concept de socioécosystème a été créé dans ce but et permet de mieux comprendre l’interrelation d’une grande variété de processus qui relient les écosystèmes naturels et les humains. McGinnis et Ostrom ont proposé en 2014 une révision du cadre popularisé par Ostrom qui est maintenant appliqué à de multiples domaines, dont la gestion des ressources naturelles et la conservation (voir figure 3). Dans la revue de littérature, le terme socioécosystème est utilisé dans son sens large pour souligner l’interconnexion entre les systèmes humains et écologiques. Considéré ainsi, il est utilisé d’une manière qui se rapproche plus du concept de gestion basée sur les écosystèmes que Piept et al. (2020) résumement dans le schéma conceptuel de la figure 3.

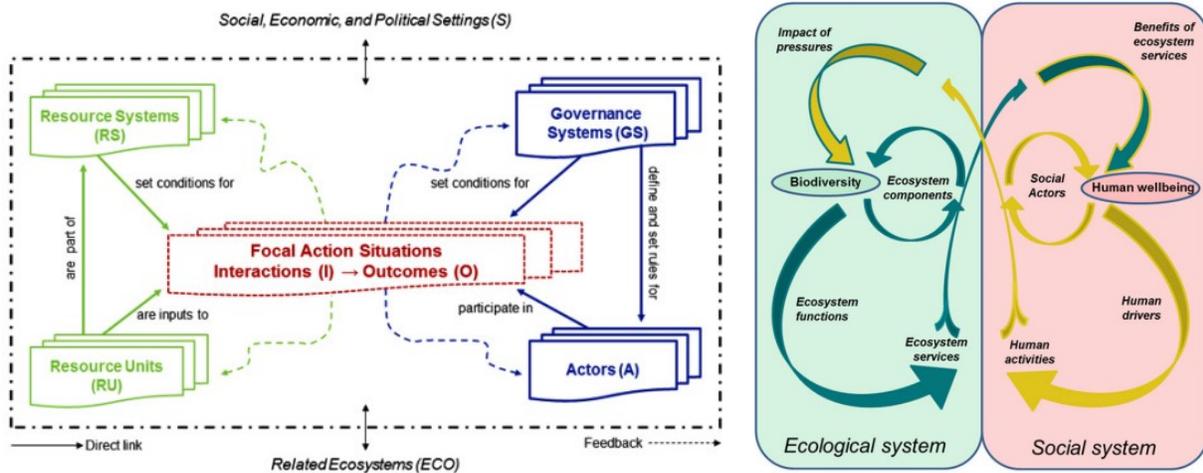


Figure 3 Cadres d’analyse des socioécosystèmes et de la gestion basée sur les écosystèmes.

Source: McGinnis & Ostrom (2014) et Piept et al. (2020)

Le PMSSL est reconnu pour sa gestion écosystémique et a élaboré un programme de surveillance qui comporte de nombreux indicateurs qui relient les systèmes écologiques et sociaux. À partir des cadres théoriques reconnus et des indicateurs du programme de surveillance écologique du PMSSL, un schéma conceptuel où s’insèrent les changements climatiques a été conçu afin de structurer la revue de littérature (voir figure 4).

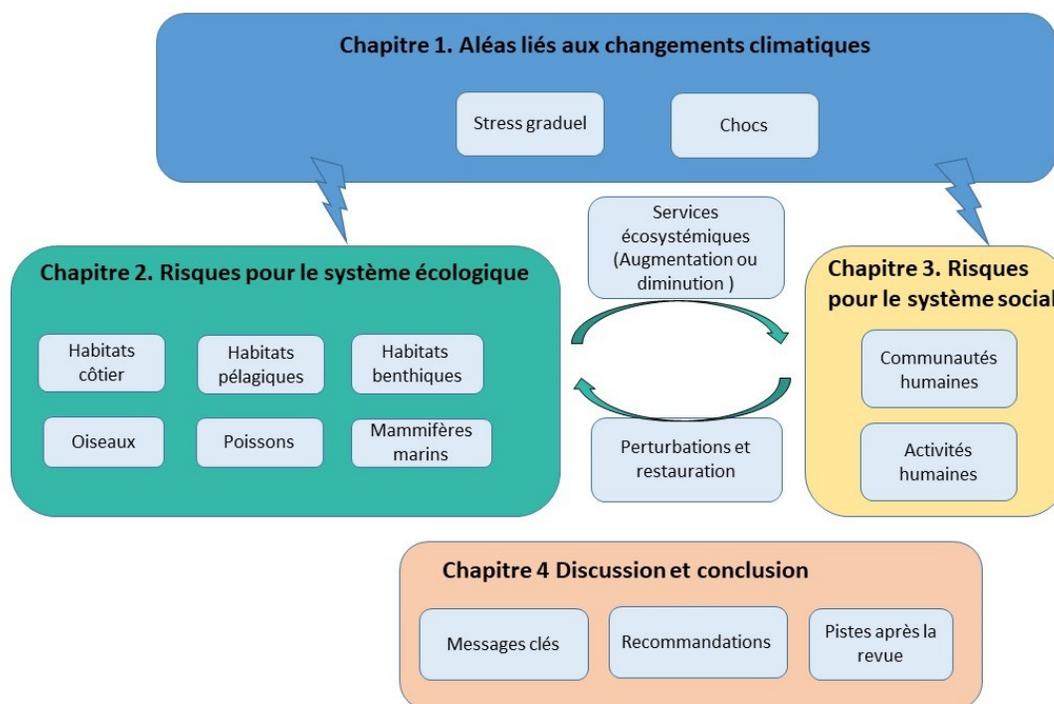


Figure 4 Schéma conceptuel du socioécosystème du PMSSL structurant la revue de littérature.

La division des composantes écologiques et humaines a aussi été inspirée du plan de conservation du PMSSL, document fondateur qui décrit le parc en détail (Dionne, 2001). Les aléas liés aux changements climatiques à couvrir dans la revue ont été identifiés à partir d'un survol de quelques publications d'ordre général soulignant comment les changements climatiques peuvent affecter les milieux aquatiques et côtiers.

En cours de mandat, une priorisation de l'effort de recherche a été nécessaire afin de couvrir les composantes écologiques avec un niveau suffisant de détails tout en respectant les contraintes de temps. Cet ajustement a fait en sorte que le risque sur le système social a fait l'objet d'une recherche beaucoup moins approfondie. Le schéma conceptuel est tout de même présenté puisqu'il montre la perspective dans laquelle s'inscrit la revue de littérature et le chapitre sur le risque du système social y apparaît comme un volet important à étudier dans un futur rapproché.

Concepts clés

Les définitions utilisées dans cette revue sont celles du rapport de 2014 sur les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité aux changements climatiques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le GIEC a publié un rapport plus récent sur les mêmes thèmes en 2022, mais les définitions sont pratiquement les mêmes et ne sont pas encore disponibles en français, ce pour quoi les définitions de 2014 sont utilisées.

Tableau 1 Définitions des concepts clés

Concept	Définitions de GIEC (2014)
Adaptation ¹	Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. Pour les systèmes humains, il s'agit d'atténuer les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques. Pour les systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu ainsi qu'à ses conséquences.
Vulnérabilité	Propension ou prédisposition à subir des dommages. Cela englobe divers concepts, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter.
Exposition	Présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de ressources et de services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu susceptible de subir des dommages.
Sensibilité	Degré auquel un système ou une espèce est influencé, positivement ou négativement, par la variabilité du climat ou les changements climatiques. Les effets peuvent être directs (ex.: la modification des rendements agricoles due à un changement de la valeur moyenne, de l'amplitude ou de la variabilité de la température) ou indirects (ex.: les dommages causés par une augmentation de fréquence des inondations côtières en raison d'une élévation du niveau de la mer).
Aléa ²	Éventualité d'un phénomène ou d'une tendance physique, naturel ou anthropique, ou d'une incidence physique, susceptible d'entraîner des pertes en vies humaines, des blessures ou autres effets sur la santé, ainsi que des dégâts et des pertes matériels touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture des services et les ressources environnementales
Résilience ³	La capacité des systèmes sociaux, économiques et écologiques interconnectés à faire face à un événement dangereux, à une tendance ou à une perturbation, en réagissant ou en se réorganisant de manière à maintenir leur fonction, leur identité et leur structure essentielles. La résilience est un attribut positif lorsqu'elle maintient la capacité d'adaptation, d'apprentissage et/ou de transformation.

¹Lorsqu'il est question des capacités d'adaptation des organismes et des écosystèmes sans intervention humaine, le terme capacité d'adaptation intrinsèque est utilisé dans la revue.

²Le terme *hazard* est traduit par danger dans le glossaire de GIEC (2014), mais est traduit par aléa dans le schéma du risque climatique provenant du même rapport. Le terme aléa est préféré pour la revue afin de rester fidèle au schéma.

³Une traduction libre de la définition de 2022 est exceptionnellement utilisée pour la résilience puisque la traduction officielle de 2014 fait intervenir le concept de résistance qui n'est pas présent dans la définition en anglais et qui porte à confusion.

En plus des définitions du tableau 1, la revue de littérature fait aussi usage de la notion de risque climatique. Ce concept, schématisé à la figure 5, représente l'interaction entre un aléa lié aux changements climatiques, le degré d'exposition d'un élément du socioécosystème à cet aléa, et la vulnérabilité de cet élément. La vulnérabilité est elle-même composée de l'opposition entre la sensibilité de l'élément et sa capacité d'adaptation intrinsèque.

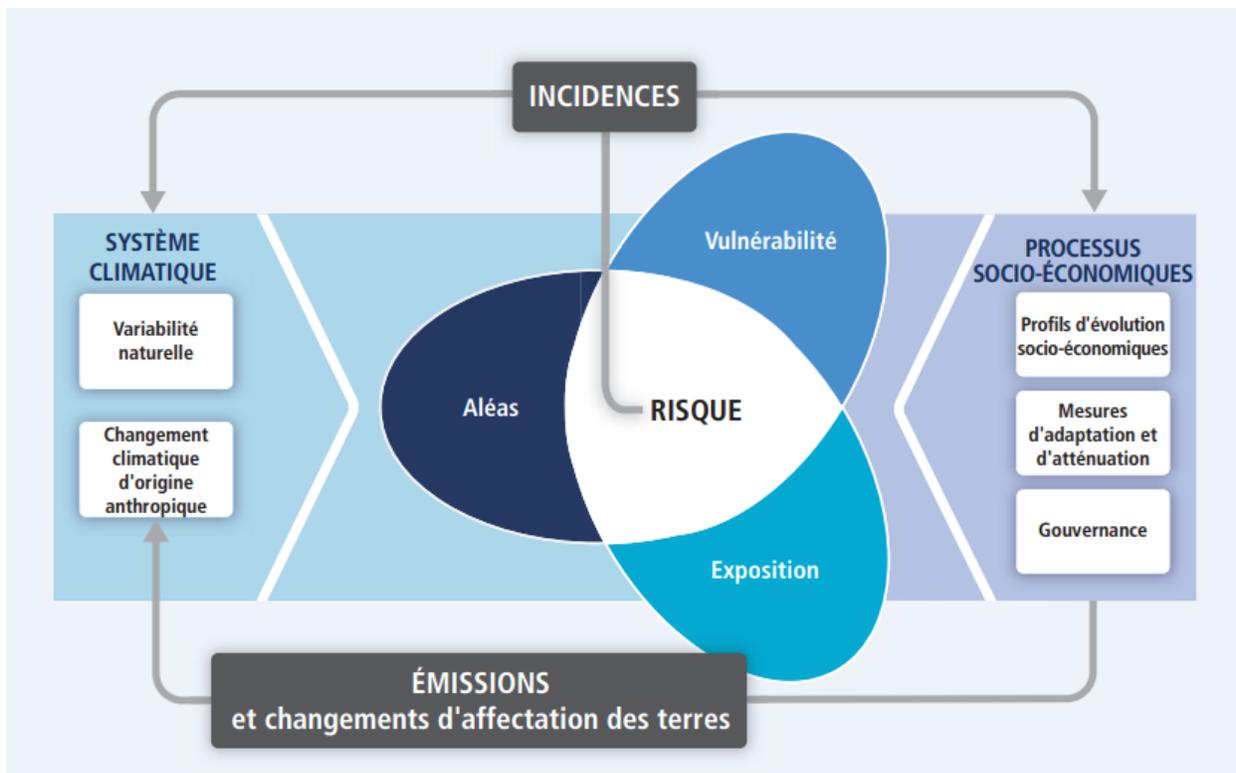


Figure 5 Schéma du risque climatique.

Source : GIEC (2014)

La version du schéma de 2014 est préférée à celle plus récente (voir GIEC, 2022), car les concepts restent les mêmes entre les deux versions, excepté que dans celle plus à jour, le risque climatique est inséré dans une perspective de développement résilient qui est moins pertinente à la présente revue de littérature.

1.3. Recherche documentaire

Plusieurs partenaires du PMSSL ont publié dans les dernières années des ressources pouvant être utiles à l'adaptation du parc marin aux changements climatiques. La recherche a donc débuté par un survol de ces publications et a ensuite été complétée par des recherches de littérature grise et d'articles scientifiques. Lorsqu'un article était particulièrement pertinent, un tri de ses références a été effectué sur la base des titres afin de repérer de nouvelles sources et d'approfondir le thème étudié.

Les premiers répertoires consultés sont :

- Les publications d'Ouranos (dont l'inventaire des ressources en adaptation des milieux urbains aux changements climatiques, Bleau *et al.*, 2018)
- Les publications de Parcs Canada
- Les publications d'Environnement et Changement climatique Canada
- Les publications de Pêches et Océans Canada
- Le répertoire sémaphore de l'UQAR pour les thèses et mémoires
- Les publications du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC)
- Les publications du Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM)

Après ce premier tour d’horizon, des mots-clés associés à chaque composante du socioécosystème du PMSSL ont été saisis dans Google et dans Google Scholar afin de faire ressortir des documents pertinents à l’adaptation du parc marin. Chaque mot-clé a été tour à tour accompagné des mots *Saint-Laurent*, *St Lawrence* et *Saguenay* afin d’inclure toutes les publications qui pourraient traiter du parc marin Saguenay-Saint-Laurent, mais aussi les publications sur les écosystèmes qui exercent une influence sur le PMSSL comme le reste de l’estuaire du Saint-Laurent et le golfe du Saint-Laurent. Le tableau 2 présente les mots-clés recherchés.

Tableau 2 Mots-clés recherchés associés aux composantes du socioécosystème du PMSSL

Mots-clés des composantes du PMSSL

Thème	Mot-clé en français	Mot-clé en anglais
Aléas liés aux changements climatiques	Climat Réchauffement Niveau de la mer Température Hypoxie Oxygène Salinité Stratification Vagues Courants Acidification Vague chaleur marine Glace Tempête	Climate Warming Sea level Temperature Hypoxia Dissolved Salinity Stratification Wave Current, stream Acidification Marine heat wave Ice Storm
Habitats pélagiques	Habitats Pelagique Krill Euphaside Euphausia Copepodes Calanus Zooplancton Phytoplancton	Habitats Pelagic Krill Euphasiid Euphausia Copepodes Calanus Zooplankton Phytoplankton
Habitats côtiers	Côtier Érosion	Coastal Erosion
Habitats benthiques	Benthique	Benthic
Mammifères marins	Mammifère Baleine Béluga Rorqual	mammal Whale Beluga Whale
Poissons	Poisson	Fish
Oiseaux	Oiseaux	Birds

La recherche dans Google Scholar a été restreinte aux publications qui datent d'après 2010 pour concentrer les efforts sur la documentation récente. Toutefois, les ressources pertinentes datant d'avant 2010 et récupérées par d'autres moyens (par exemple en récupérant un article cité dans un autre article) peuvent alimenter la revue de littérature. Cela dit, les publications les plus récentes ont été privilégiées lorsque deux articles apportent la même information.

Tableau 3 Critères d'inclusion

<ul style="list-style-type: none"> • La ressource concerne le fjord du Saguenay, l'estuaire moyen ou l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Les ressources concernant le golfe du Saint-Laurent ou une section plus en amont du Saint-Laurent peuvent être incluses si un lien clair existe avec les écosystèmes du PMSSL (par exemple le transport du krill du golfe du Saint-Laurent vers l'estuaire maritime).
<ul style="list-style-type: none"> • La ressource aborde au moins un aléa lié aux changements climatiques ou aide à comprendre comment les effets des changements climatiques se propagent à travers les écosystèmes (par exemple un article qui documente la relation entre un mammifère marin et sa proie, qui elle est affectée directement par l'augmentation de la température de l'eau).

La consultation des premiers répertoires a permis d'amasser un nombre important de documents avant même la recherche par mots-clés. La première composante étudiée a été les habitats pélagiques. De nombreux mots-clés ont été recherchés à ce moment et ont permis de récolter plusieurs articles traitant des autres composantes. De plus, l'effet direct fort de plusieurs aléas liés aux changements climatiques sur les habitats pélagiques justifie un plus grand effort de recherche. Pour ces deux raisons, un nombre plus important de mots-clés a été recherché dans les premiers thèmes couverts. Au cours du mandat, les sections sur le système écologique ont été priorisées au détriment du système social qui pourra être couvert plus en profondeur dans une future recherche. La recherche sur la composante Oiseaux, dont l'information est plus difficilement accessible a aussi été écourtée.

1.4. Caractérisation des ressources

Un tableau Excel permet de conserver la liste des ressources pertinentes à l'adaptation du PMSSL et de résumer l'information qu'elles contiennent. La structure du tableau est fortement inspirée du *Tableau de classification des ressources* créé par Nathalie Bleau, Alexandrine Bisailon, et Valérie Duval dans le cadre de l'inventaire des ressources en adaptation des milieux urbains aux changements climatiques d'Ouranos publié en 2018. Une présentation des colonnes du tableau de classification est présentée à l'annexe A et une capture d'écran du tableau est disponible à l'annexe B.

La caractérisation des ressources permet d'identifier les thèmes pour lesquels peu d'information est disponible. Le tri des différentes colonnes offre des renseignements entre autres sur l'abondance des données, leur actualité, le territoire couvert, le type de donnée, leur disponibilité et leur position dans la chaîne de transformation.

1.5. Évaluation préliminaire du risque climatique et de la maturité des connaissances

La revue de littérature fait ressortir les éléments les plus vulnérables du socioécosystème et les lacunes de connaissances qu'il serait nécessaire de combler pour assurer l'adaptation du PMSSL. Dans l'objectif de synthétiser une grande quantité d'information, des tableaux présentant un aperçu du risque climatique introduisent chaque composante du parc marin. On y retrouve une appréciation de la force des aléas auxquels est exposée la composante étudiée ainsi qu'une appréciation de sa vulnérabilité aux aléas. Ces deux évaluations sont mises en commun pour estimer le risque climatique. L'estimation de la sensibilité,

de la capacité d'adaptation intrinsèque et de la force des aléas n'ont pas de critères fixes et se basent surtout sur ce qu'en disent indirectement les publications retrouvées dans la revue de littérature. L'estimation de la maturité des connaissances aidera à juger du degré de certitude associé à l'estimation du risque climatique.

Tableau 4 Critères pour l'évaluation préliminaire de la vulnérabilité

Faible	Faible sensibilité et forte capacité d'adaptation intrinsèque
Moyen	Moyenne sensibilité et moyenne capacité d'adaptation
Élevée	Forte sensibilité et faible capacité d'adaptation

Cet exercice de synthèse est une évaluation préliminaire qui ne saurait remplacer une évaluation en profondeur qui fait intervenir l'avis de spécialistes. Puisque chaque composante comporte ses particularités et sa propre réponse aux changements climatiques, il est difficile d'établir des critères fixes. Face à ces limites, l'intérêt des aperçus du risque est surtout de susciter la réflexion. Il en va de même pour l'évaluation de la maturité des connaissances. En effet, le temps alloué à la réalisation de cette revue de littérature qui couvre de nombreux thèmes implique que la recherche sur chaque composante soit limitée à quelques mots-clés et il est possible que certaines lacunes de connaissances identifiées soient en fait des sujets qui auraient échappé à la revue.

Tableau 5 Critères pour l'évaluation préliminaire de la maturité

Niveau	Critères	Recommandation
Faible	Manque de connaissances fondamentales	Acquisition et développement
Moyenne	Quelques recherches ponctuelles, 1-2 jeux de données, connaissances de base, mais les changements climatiques ne sont pas abordés	Développement et application à tout le territoire
Élevée	Les connaissances sont abondantes, mais un suivi n'est pas encore en place ou il n'y a pas de modélisation qui intègre les changements climatiques	Projection
Mature	Un suivi est déjà instauré, des jeux de données robustes sont disponibles, les conditions futures sont modélisées.	Opérationnalisation et accessibilité

Au fil de la recherche documentaire, des ressources comportant des exemples de mesures d'adaptation sont retrouvées et discutées. Ces exemples d'ici et d'ailleurs sont mis en relation avec les capacités actuelles du parc marin pour inspirer la mise en place de nouvelles mesures contribuant à l'adaptation du socioécosystème aux changements climatiques.

1.6. Limites de la revue de littérature

- Cette revue de littérature se limite à l'information publiée et ne propose pas une analyse de données brutes. Elle ne bénéficie pas non plus de l'avis des chercheurs et chercheuses qu'elle cite. Un travail de collaboration directe avec ces chercheurs et chercheuses permettra d'aller plus en profondeur dans leur domaine d'expertise et de mieux répondre aux enjeux précis du PMSL. Cela dit, la revue permet d'identifier les détenteurs et détentrices de connaissances avec qui entrer en contact.
- Pour permettre une recherche plus approfondie sur le système écologique, certains sujets importants pour l'adaptation du socioécosystème du parc marin n'ont pas pu être couverts. En

effet, le risque sur le système social n'est pas évalué dans cette revue de littérature et le chapitre qui lui est dédié présente seulement quelques sources qui invitent à une recherche plus détaillée. Il en va de même pour la section sur les oiseaux.

- Les aperçus du risque climatique et l'évaluation de la maturité des connaissances se basent sur des critères arbitraires et difficiles à appliquer de manière homogène. Ces tableaux synthèses sont à utiliser comme outils pour structurer la réflexion sur les changements climatiques dans le parc marin et non comme des conclusions solides. Les opinions exprimées par les spécialistes dans leurs articles aident à l'appréciation de la maturité des connaissances, mais une évaluation formelle de la qualité des informations serait nécessaire pour établir l'état des connaissances.
- Les écosystèmes marins font face à des pressions d'origine anthropique dont les effets peuvent se cumuler à ceux des changements climatiques et même entrer en interaction. La revue de littérature soulève à quelques reprises ces enjeux, mais se concentre sur l'effet direct des changements climatiques, ce qui fait en sorte qu'une importante partie du portrait de la situation est manquante. La revue de littérature pourra cependant contribuer à une initiative plus intégrée en fournissant de précieuses informations spécifiquement sur les changements climatiques. De plus, certains enjeux comme l'augmentation des maladies, la sédimentation, le ruissellement et les espèces exotiques envahissantes ont peu été soulevés dans les articles retrouvés et ne sont donc pas couverts par la revue de littérature malgré leur grande influence sur les écosystèmes et leur lien évident avec les changements climatiques.

Références Méthodologie

Bleau Nathalie, Bisailon Alexandrine, Duval Valérie. (2018). Inventaire et suivi de l'utilisation des ressources en adaptation des milieux urbains aux changements climatiques. Rapport présenté à Ouranos. Montréal : 38 p. + annexes.

Piet, G., Delacámara, G., Kraan, M., Röckmann, C., & Lago, M. (2020). Advancing aquatic ecosystem-based management with full consideration of the social-ecological system. *Ecosystem-based management, ecosystem services and aquatic biodiversity: Theory, tools and applications*, 17-37.

McGinnis, M. D., & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and society*, 19(2).

GIEC (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 p.

GIEC, 2014: Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 34 pp.

2. Aléas liés aux changements climatiques qui affectent le socioécosystème du PMSSL

Plusieurs synthèses des connaissances

À l'échelle du Canada, le rapport le plus récent concernant l'état de la situation des changements climatiques est le **Rapport sur le climat changeant du Canada** (Bush et Lemmen, 2019). Le chapitre 7 de ce rapport porte sur les océans et on peut y lire que :

« Les océans qui bordent le Canada se sont réchauffés, sont devenus plus acides et moins oxygénés, ce qui correspond aux changements océaniques dans le monde observés au cours du dernier siècle. Le réchauffement des océans et la perte d'oxygène s'intensifieront avec plus d'émissions de tous les gaz à effet de serre, alors que l'acidification des océans augmentera en réaction à des émissions supplémentaires de dioxyde de carbone. Ces changements menacent la santé des écosystèmes marins. » (Bush et Lemmen, 2019, p. 5)

En 2022 un supplément a été publié ayant pour titre le **Rapport sur le climat changeant du Canada à la lumière de la plus récente évaluation scientifique mondiale** (Bush et al., 2022). Il ajoute au rapport de 2019 les nouvelles informations provenant du dernier rapport du GIEC *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Alors que les deux rapports canadiens résument les explications physiques des changements climatiques, le **Rapport sur les enjeux nationaux** (Warren et Lulham, 2021) publié au sein du même programme, couvre le thème de l'impact des changements climatiques. En parallèle, un **Rapport sur les perspectives régionales** des changements climatiques (Warren et al., 2021) a été produit et comprend un chapitre sur chaque grande région du Canada, dont un pour le Québec dirigé par Ouranos (Alberti-Dufort et al., 2022). Publié avant ces rapports nationaux, **Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat** propose une information plus détaillée sur les impacts des changements climatiques en zone côtière (Lemmen et al., 2016).

Ces synthèses répertorient donc un ensemble de stress et de chocs climatiques auquel fait face le système Saint-Laurent (tableau 6).

Tableau 6 Résumé des changements climatiques identifiés affectant le PMSSL

Aléas liés aux changements climatiques		Maturité des connaissances de l'impact des CC par secteur			Besoins en informations
		Saguenay	Estuaire moyen	Estuaire maritime	
Stress graduels	Augmentation de la température de l'air	Très mature	Mature	Très mature	Mise à jour avec les rapports du GIEC
	Augmentation de la température de l'eau	Faible	Mature	Mature	Saguenay : Acquisition et développement Estuaire : Opérationnalisation et accessibilité
	Variation de la salinité et stratification	Faible	Mature	Mature	Saguenay : Acquisition et développement

					Estuaire : Opérationnalisation et accessibilité
	<u>Diminution de la couverture de glace</u>	Faible	Moyenne	Forte	Saguenay : Acquisition et développement Estuaire : Développement et application à tout le territoire
	<u>Acidification</u>	Faible	Moyenne	Mature	Saguenay : Acquisition et développement Estuaire : Opérationnalisation et accessibilité
	<u>Hypoxie</u>	Faible	Faible	Forte	Saguenay et estuaire moyen : Acquisition et développement Estuaire maritime: Projection et application à tout le territoire
	<u>Augmentation du niveau de la mer</u>	Au large : Mature Littoral : faible	Au large : Mature Littoral : faible	Au large : Mature Littoral : faible	Au large : Opérationnalisation et accessibilité Littoral : Acquisition et développement
<u>Chocs (événements extrêmes)</u>	<u>Tempêtes, vents et vagues</u>	Faible	Moyenne	Moyenne	Saguenay : Acquisition et développement Au large : Développement et application à tout le territoire
	<u>Érosion côtière</u>	Faible	Moyenne	Moyenne	Saguenay : Acquisition et développement Estuaire : Développement et application à tout le territoire
	<u>Submersion par la mer</u>	Faible	Faible	Faible	Tous secteurs : Acquisition et développement
	<u>Vagues de chaleur marines</u>	Faible	Moyenne	Moyenne	Saguenay : Acquisition et développement Estuaire : Développement et application

Des observations locales partielles

Même si ces rapports synthétisent de précieuses informations sur les changements climatiques au Canada et au Québec, des renseignements à l'échelle locale sont nécessaires pour bien informer une gestion écosystémique d'un parc marin. Le MPO produit de l'information plus spécifique à travers des analyses, évaluations et projections de l'impact des changements climatiques sur l'estuaire maritime et le golfe du

Saint-Laurent qui peuvent aider à comprendre les changements dans le PMSSL et à les anticiper. Le rapport annuel du MPO *Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2021* produit dans le cadre du programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA), offre un portrait détaillé et récent de la situation de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (Galbraith et al., 2022). Dans ces rapports, les conditions annuelles sont présentées et sont parfois mises en relation avec des moyennes à long terme, ce qui permet d'apprécier les tendances des paramètres de l'environnement aquatique. Les travaux de Galbraith et al. sont cités à de multiples reprises et constituent une référence fiable pour aborder les changements climatiques dans le Saint-Laurent. Toutefois, ces rapports centrés sur le golfe incluent seulement l'estuaire maritime du Saint-Laurent, tandis que le fjord et l'estuaire moyen, parties importantes du PMSSL, en sont partiellement exclus. De plus, même si les données sur l'estuaire font partie de l'analyse, les tendances pour cette zone de l'aire d'étude ne sont pas toujours mises de l'avant dans la discussion qui est souvent concentrée sur la situation du golfe. Pour finir, il est à noter que le PMZA n'a pas de station dans les limites du parc marin et que les données qui couvrent cette région sont donc le produit d'une extrapolation.

Émergence de projections océanographiques locales

Au-delà des tendances observées, l'équipe de Lavoie et al. (2020; de Pêches et Océans Canada) ont utilisé un modèle océanographique régional pour projeter les conditions physiques et biogéochimiques futures pour la période 1970 à 2100 dans le golfe du Saint-Laurent, le plateau néo-écossais et le golfe du Maine. Même si le rapport concerne particulièrement ces trois régions, la zone d'étude inclut aussi l'estuaire maritime et moyen du Saint-Laurent. Selon la connaissance au moment d'écrire ce rapport, l'article de Lavoie et al. (2020) offre les projections les plus complètes et à jour pour anticiper les changements physiques à venir qui affecteront le milieu marin dans le PMSSL. Cette étude est donc déterminante, car elle fournit un premier aperçu quantitatif des conditions futures du Saint-Laurent.

Considérations méthodologiques

Les projections océanographiques sont basées sur un modèle océanographique régional (NEMO-OPA nommé CANOPA) et un modèle biogéophysique (BGSM), à une résolution horizontale de 6,5 km, pour 46 couches verticales (variant de 6 m en surface à 250 m d'épaisseur au fond à 5000 m). Pour projeter les effets des changements climatiques sur l'océan, les auteurs ont utilisé des projections climatiques réalisées avec le modèle régional canadien du climat (MRCC) piloté par les simulations climatiques de trois modèles climatiques globaux (CanESM2, MPI-ESM-LR, et HadGEM-ES) issus de CMIP5. Le pilotage par les simulations des modèles globaux du MRCC permet de faire une mise à l'échelle régionale dynamique. Le scénario d'émission de gaz à effet de serre et aérosols sélectionné est le profil représentatif d'évolution de concentration RCP 8.5, qui correspond à des émissions de gaz à effet de serre continuant d'augmenter au fil des ans (le plus élevé). Le dernier intrant principal de la modélisation est celui des débits projetés des rivières affluentes à la zone d'étude, provenant d'un modèle hydrologique simple de Pêches et Océans Canada.

Pour des projections climatiques robustes, il est conseillé de considérer plusieurs modèles de climat et scénarios d'émission. La méthode utilisée dans cette étude a l'avantage de s'appuyer sur 3 modèles globaux et une modélisation régionale dynamique, ce qui fournit une certaine appréciation des incertitudes globales et des effets de la topographie canadienne.

Cependant, la modélisation n'est pas encore couplée océan-atmosphère, les analyses de sensibilité sont absentes du rapport, et la modélisation hydrologique est déconnectée de la modélisation atmosphérique.

De plus, une nouvelle génération de modélisation globale (CMPI6) a récemment vu le jour et se retrouve déjà sur la plateforme DonnéesClimatiques.ca (consultée le 18 février 2023). La démarche gagnerait aussi à être révisée par les pairs. Les résultats de Lavoie et al. suggèrent des tendances et les plus nettes (homogènes et fortes) constituent déjà une base pour améliorer la prise de décision, alors que les tendances plus faibles ou incertaines seraient à documenter davantage. Le parc marin a tout avantage à encourager la poursuite de la recherche en modélisation océanographique.

Les cartes de changements océanographiques projetés

Les cartes produites par Lavoie et al. (2020) comme aides à la prise de décision montrent les changements entre les conditions moyennes des périodes 1991-2010 et 2061-2080. Les changements dans les populations planctoniques sont aussi inclus dans Lavoie et al., mais ils seront abordés dans la section *Habitats pélagiques* pour laisser place à une discussion plus détaillée. Après avoir donné les projections pour chacune des 12 variables étudiées (température, salinité, nitrates, ammonium, diatomées, flagellés, mésozooplancton, microzooplancton, azote organique particulaire détritique, azote organique dissous, pH et saturation en aragonite), Lavoie et al. fournissent un indice de stress cumulatif qui montre les endroits où un grand nombre de variables subiront un changement (voir figure 6).

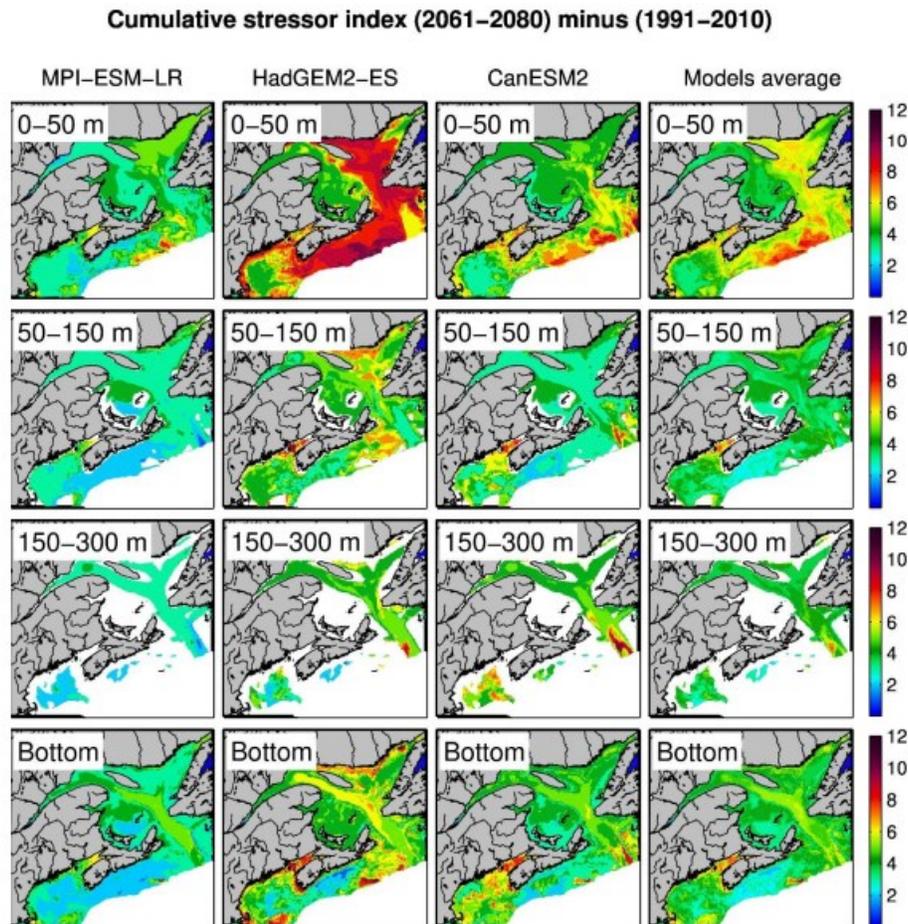


Figure 6 Nombre de variables qui présentent un changement (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) supérieur à trois fois l'écart type calculé sur la période historique.

Source : Lavoie et al. (2020)

On remarque que la surface de l'estuaire du Saint-Laurent sera exposée à des changements, mais qu'ils seront moins intenses que dans le golfe du Saint-Laurent et dans le golfe du Maine. Toutefois, la partie la plus profonde (*bottom*) du chenal laurentien sera affectée par un nombre important de pressions, surtout dans la partie qui traverse le golfe du Saint-Laurent. Ces changements se propageront jusqu'à la tête du chenal, là où se situent le PMSSL et les habitats essentiels pour la biodiversité du Saint-Laurent qu'il protège.

2.1. Facteurs de stress graduels

2.1.1. Augmentation de la température de l'air

Au Québec, la température moyenne a augmenté de 1 à 3 °C depuis 1950 selon les régions (Alberti-Dufort et al., 2021). Le MPO a suivi l'évolution de la température de l'air aux abords de l'estuaire maritime et du golfe Saint-Laurent. La figure 7 de Galbraith et al. (2022) montre les anomalies de température dans les stations autour du golfe.

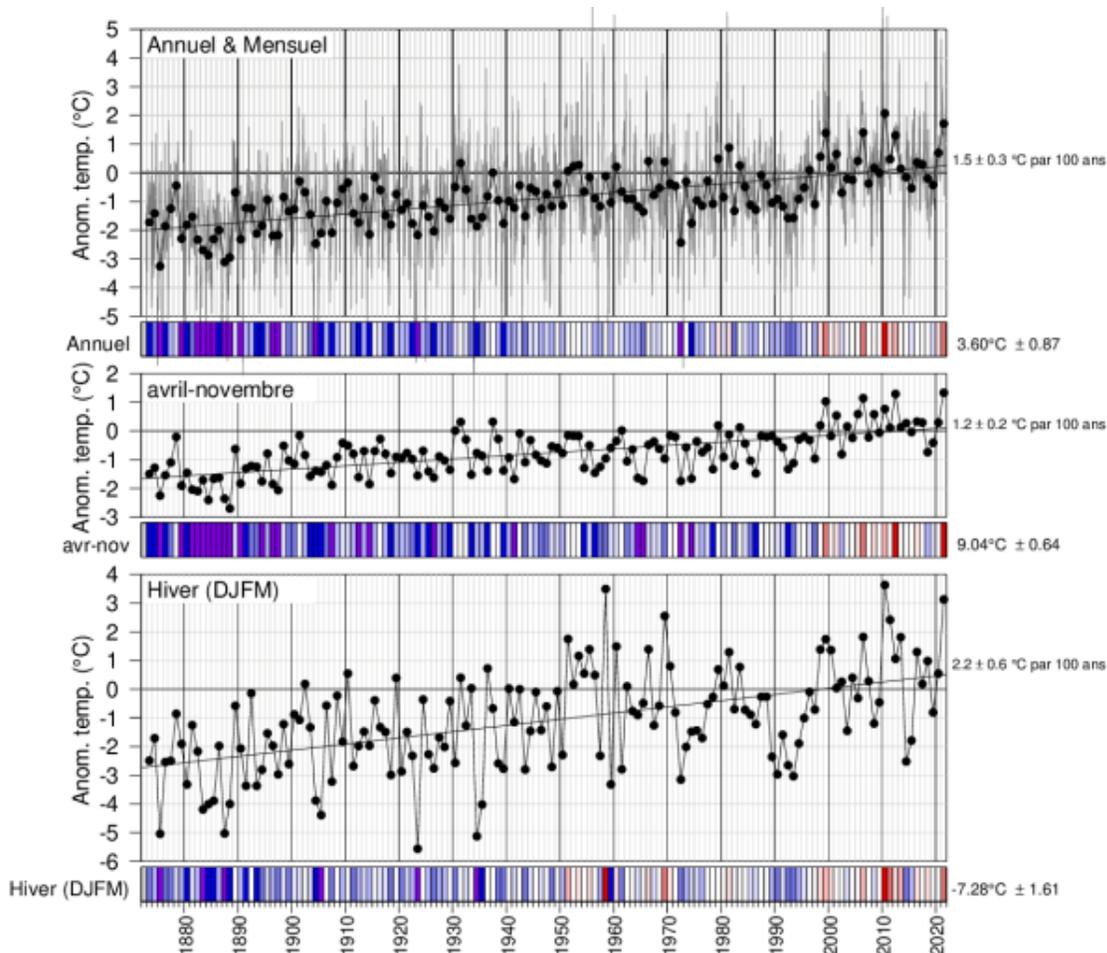


Figure 7 Anomalies de la température de l'air moyenne annuelle, d'avril à novembre et de décembre à mars, moyennées pour les stations autour du golfe. Les tableaux du bas sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées d'après la climatologie de 1991-2020. Les tendances sont indiquées, plus et moins leurs intervalles de confiance à 95 %.

Source : Galbraith et al. (2022)

Une tendance de réchauffement des températures moyennes annuelles de $1,5 \text{ °C} \pm 0,3 \text{ °C}$ par 100 ans est observée. Le réchauffement est plus prononcé en hiver avec une tendance de $+2,2 \pm 0,6 \text{ °C}$ par 100 ans.

La figure 8 présente les projections de la température de l'air moyenne à Tadoussac récupérées sur la plateforme *Données climatiques* (DonnéesClimatiques.ca, 2023).

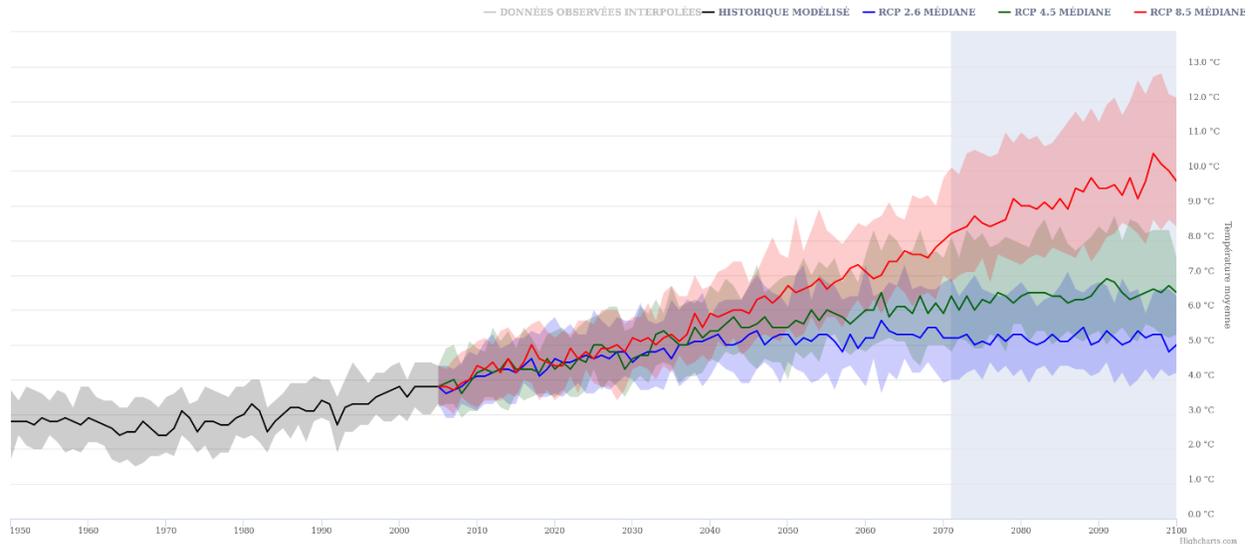


Figure 8 Données de température moyenne projetées pour Tadoussac à partir de l'ensemble de modèles CMIP 5 pour les trajectoires représentatives de concentration RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5.

Source : DonnéesClimatiques.ca (2023)

On observe que : « La température annuelle moyenne était **3.0 °C** entre 1971 à 2000. Selon le scénario d'émissions élevé, la température annuelle moyenne projetée est de **5.8 °C** pour la période 2021 et 2050, **7.9 °C** pour la période 2051 à 2080 et **9.6 °C** pour les trente dernières années de ce siècle. » (DonnéesClimatiques.ca, 2023).

L'augmentation de la température de l'air dans le PMSSL exercera une influence sur le déroulement des activités humaines, dont le récréotourisme. La hausse des températures de l'air se transmet aussi à l'eau et devient source de changements importants dans les écosystèmes marins.

2.1.2. Augmentation de la température de l'eau

Galbraith et al. (2022) ont étudié les conditions physiques du golfe Saint-Laurent en 2021 en relation aux données analysées chaque année par le MPO depuis 2000. Ils ont calculé une augmentation de la température de l'eau de surface de $0,9 \text{ °C}$ par siècle pour 1873 à 2011, mais une augmentation de $1,2 \text{ °C}$ par siècle pour 1873 à 2020, ce qui suppose un réchauffement accéléré dans les dernières années (Galbraith et al., 2022). L'augmentation de la température de l'eau à la surface dans le golfe du Saint-Laurent est hautement corrélée à l'augmentation de la température de l'air. Il est attendu que l'augmentation de la température de l'eau soit un peu moins élevée que l'augmentation de l'air sur le continent à cause de la capacité thermique de l'eau (Greenan et al., 2019).

Le réchauffement est aussi observé dans la couche profonde à 300 mètres qui a une tendance au réchauffement de 2,4 °C par siècle, mais qui accélère dans les dernières années avec une tendance de 1,3 °C par décennie depuis 2009 (Galbraith, 2022).

L'augmentation plus marquée dans la couche profonde peut s'expliquer par une contribution de plus en plus grande du Gulf Stream chaud vers le chenal laurentien en défaveur de l'apport d'eau froide du courant du labrador (Lavoie et al., 2020).



Figure 9 Modifications récentes de la contribution du courant du Labrador et du Gulf Stream à l'eau du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent. L'image de gauche représente le passé et l'image de droite le présent.

Source : Modifié de Tremblay-Bouchard (2021)

Par le biais des échanges avec l'air et par la plus grande contribution du Gulf Stream dans le golfe, l'estuaire aussi se réchauffe. Galbraith et al. (2022) observent que les eaux plus chaudes transportées par le détroit de Cabot au sud de Terre-Neuve ont contribué à des anomalies de températures chaudes relevées à la station Rimouski dans la couche 200-300 m depuis 2014. Les chercheurs notent qu'il s'y poursuit un réchauffement lent et persistant, mais qu'une augmentation considérable de 0,15 °C enregistrée en avril 2021 pourrait révéler un changement rapide des masses d'eau (Galbraith et al., 2022). De plus, la réactivation d'El Niño en 2023, comme le prévoient les climatologues, pourrait accélérer la manifestation de cette tendance (voir Flis, 2023).

La figure 10 montre les anomalies de température de la couche profonde de l'estuaire.

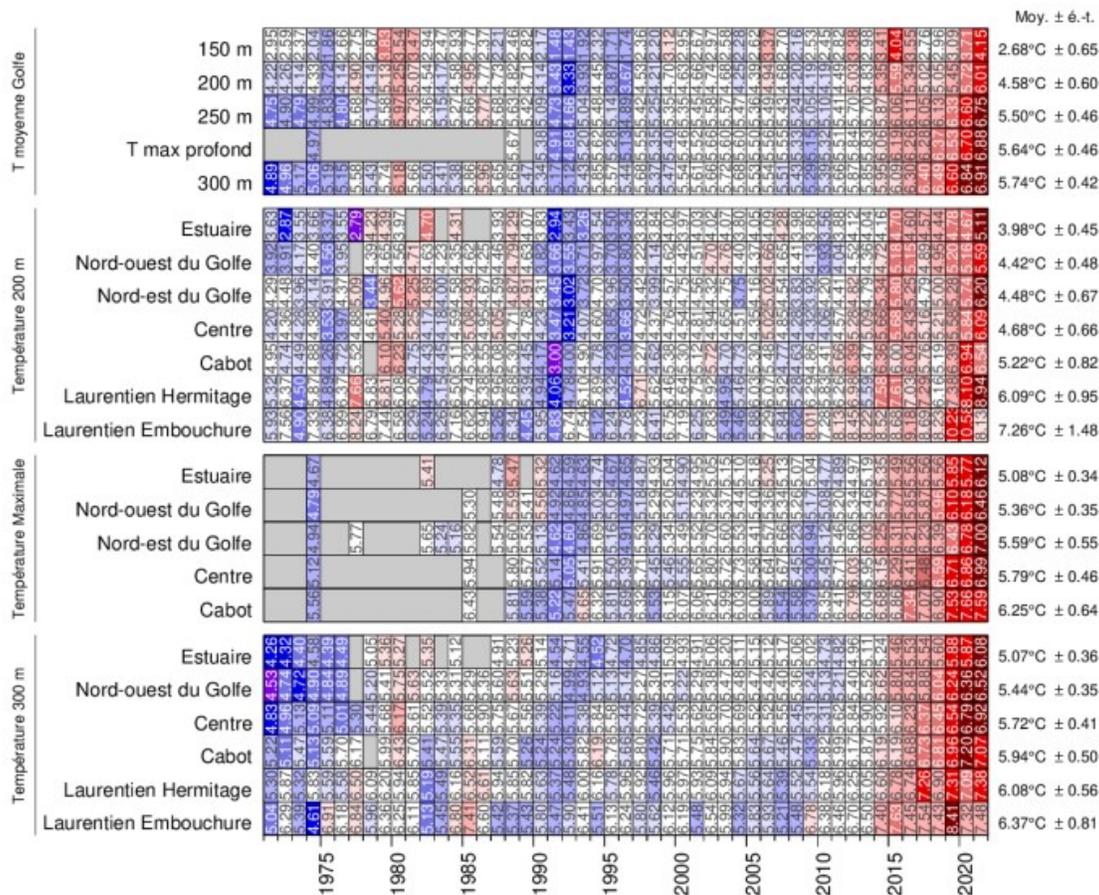


Figure 10 Température de la couche profonde de l’estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Les moyennes régionales sont indiquées pour 200 et 300 m. Le code de couleurs correspond à l’anomalie de température par rapport à la climatologie de 1991–2020 de chaque région et profondeur.

Source : Galbraith et al. (2022)

On y remarque que toutes les régions du golfe et de l’estuaire ont vécu des anomalies de température de l’eau succinctes dans les 10 dernières années. L’estuaire reste la zone la plus froide avec une température à 200 m de 3,98 °C, mais la figure 10 rappelle qu’il n’est pas à l’abri du réchauffement.

Alors que Galbraith et al. (2022) présentent les tendances observées, Lavoie et al. (2020) ont simulé l’effet des changements climatiques sur la température du golfe et de l’estuaire pour la période 2061-2080 avec un scénario de fortes émissions de gaz à effets de serre RCP 8.5 (voir figure 11).

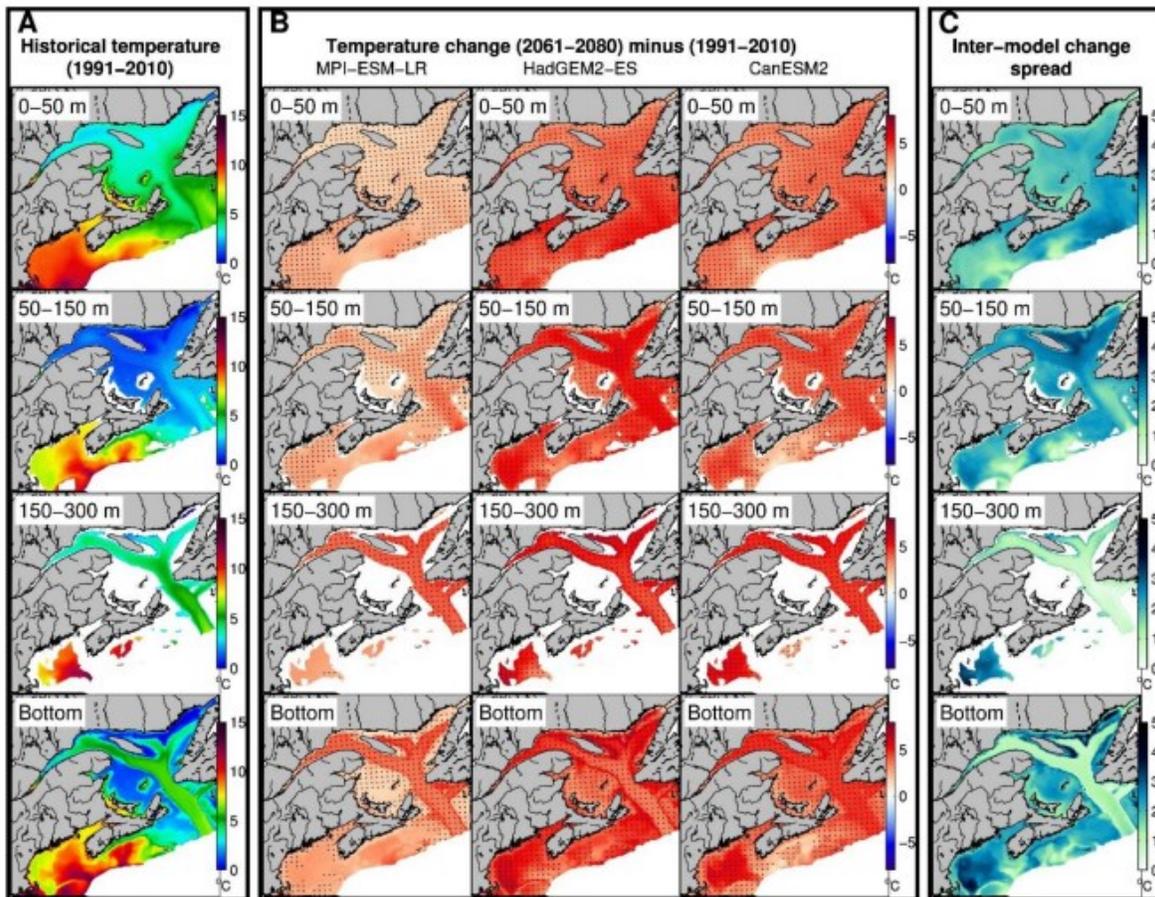


Figure 11 A) Température de l'eau moyenne (°C) pour la période 1991-2010 à quatre intervalles de profondeur (0-50 m, 50-150 m, 150-300 m et fond) pour les simulations forcées avec MPI-ESM-LR, HadGEM2-ES et CanESM2 selon le scénario RCP 8.5, B) Changement de température (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation et C) écart de changement entre les modèles.

Source: Lavoie et al. (2020)

On observe dans la couche de surface un réchauffement projeté élevé dans le golfe et dans l'estuaire pouvant se rapprocher de 3°C selon le modèle considéré. Il s'agit d'un important réchauffement relatif pour l'estuaire dont les eaux de surface froides étaient dans les environs de 4 °C pour la période historique. On observe aussi un réchauffement important du fond du chenal laurentien, même si les trois modèles diffèrent beaucoup. Cette augmentation est cohérente avec le plus fort apport du Gulf Stream à l'eau de l'estuaire qui devrait se poursuivre. En effet, la circulation simulée de Lavoie et al. (2019) montre que l'apport du Gulf Stream devrait continuer d'augmenter pour la période étudiée de 2016 à 2065, du moins dans la région de la plateforme néo-écossaise à son entrée dans le chenal laurentien.

Le changement de température du fond du chenal pourrait avoir de grandes conséquences sur les écosystèmes du PMSL. En effet, la remontée des eaux froides du fond à la tête du chenal en été qui favorise la concentration des proies des poissons, oiseaux et mammifères marins est un phénomène largement étudié qui explique l'abondante biodiversité dans le parc marin (Simard, 2019). **Le réchauffement du fond du chenal observé sur la figure 11 pourrait compromettre l'action essentielle de**

ce processus naturel, ne serait-ce qu'en modifiant l'habitat thermique des espèces clés adaptées au froid de l'écosystème du PMSSL.

La température de l'eau et l'épaisseur de la couche intermédiaire froide mesurées par le MPO à la station Rimouski sont des variables incluses dans le programme de surveillance écologique du PMSSL. Il pourrait être pertinent d'évaluer la possibilité d'ajouter une station à Tadoussac.

2.1.3. Modification de la salinité et de la stratification

La forte stratification de l'estuaire liée à la température et à la salinité, ainsi que la dynamique de ses trois couches (couche de surface, couche intermédiaire froide et couche profonde) est bien connue (voir Saucier et al., 2009; et la figure 12), tout comme le phénomène naturel de remontée des eaux à la tête du chenal laurentien (voir Simard, 2009).

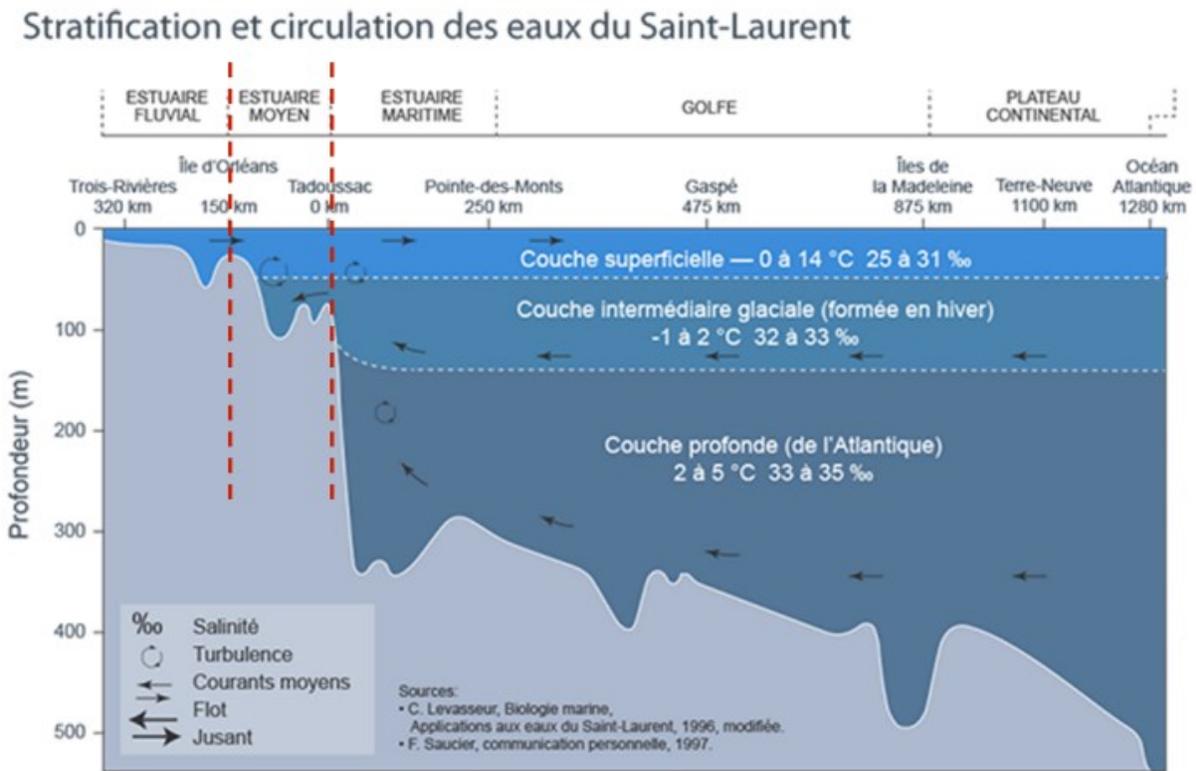


Figure 12 Schéma illustrant la stratification et la circulation des eaux à l'intérieur du Saint-Laurent.

Source : Conseil du Saint-Laurent (2017)

Les projections de Lavoie et al. (2020) montrent une diminution de la salinité en surface pour tout le golfe et l'estuaire comme attendu à l'échelle mondiale, mais une augmentation en profondeur dans le chenal laurentien en raison de l'augmentation de l'apport d'eau chaude et salée du Gulf Stream (voir figure 13).

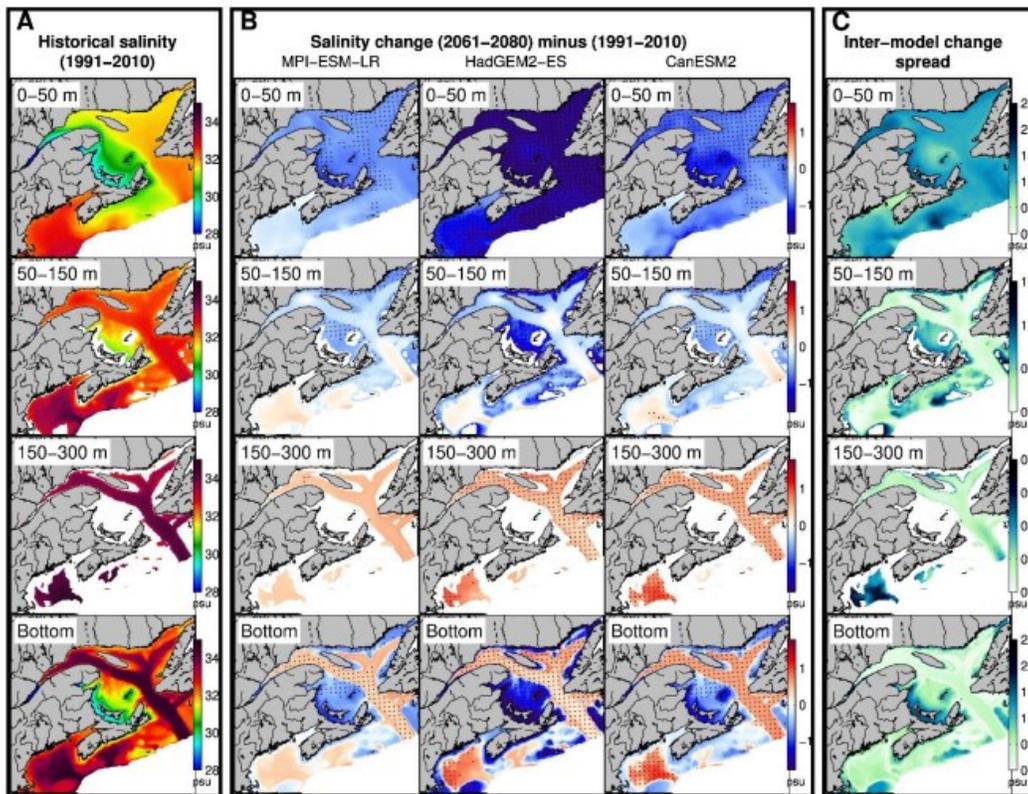


Figure 13 A) Salinité moyenne de l'eau (psu) sur la période 1991-2010 à quatre intervalles de profondeur (0-50 m, 50-150 m, 150-300 m et fond) dans le cadre du scénario RCP 8.5. Changement de salinité (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation, et C) écart entre les modèles.

Source : Lavoie et al. (2020)

L'augmentation de la différence de salinité entre les couches mène à une stratification plus élevée tel qu'illustré sur la figure 14 des projections d'évolution de la stratification de Lavoie et al. (2020)

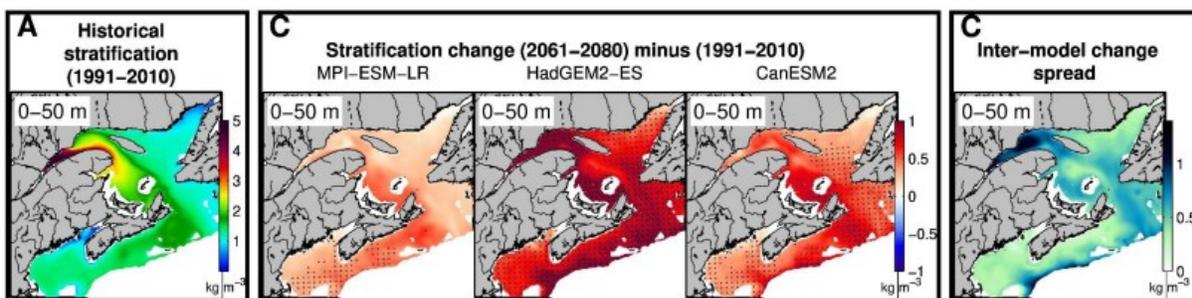


Figure 14 A) Stratification moyenne (kg m^{-3}) au cours de la période 1991-2010 à l'intervalle de profondeur 0-50 m dans le cadre du scénario RCP 8.5, B) changement de stratification (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation, et C) écart de changement entre les modèles.

Source : Lavoie et al. (2020)

L'augmentation de la stratification de l'estuaire pourrait constituer une conséquence importante des changements climatiques pour les écosystèmes du PMSSL puisqu'elle pourrait rendre plus difficile le mélange des eaux à la tête du chenal (Saucier et al., 2009). Cette zone de mélange a été plus d'une fois identifiée comme la caractéristique principale qui explique l'abondante biodiversité dans le PMSSL et les recherches sur les changements qui risquent de l'affecter méritent d'être poursuivies. Pour l'instant, il n'y a pas de prédiction claire sur la manière dont ce processus essentiel pourrait être modifié dans les années à venir. La modification de la salinité peut aussi mener à des changements biogéographiques chez certaines espèces (Lemmen et al., 2016).

Pour ce qui est du fjord, les mécanismes de circulation et de renouvellement de ses masses d'eau à l'embouchure sont assez bien étudiés (Galbraith et al., 2018). Toutefois, aucun document concernant l'évolution projetée des changements de circulation ou de stratification dans le fjord n'a été retrouvé au cours de la revue de littérature.

2.1.4. Diminution de la couverture de glace

Une tendance de réduction du couvert de glace et de la période d'englacement est observée depuis plusieurs décennies dans la zone maritime du Saint-Laurent (Alberti-Dufort et al., 2022). Cette diminution mène à une perte de la protection qu'offre la glace contre les vagues, ce qui rend les côtes plus vulnérables à l'érosion et aux inondations (Alberti-Dufort et al., 2022). Galbraith et al. (2022) ont estimé la sensibilité du couvert de glace du golfe et de l'estuaire aux changements climatiques en évaluant que chaque augmentation de la température de l'air hivernale de 1°C correspond à une perte de 14 jours de saison de glace. Les données du PMZA donnent une idée de la tendance générale de diminution du couvert de glace, mais il n'y a pas d'analyse spécifiquement pour la région du parc marin; la station la plus proche se trouvant à Rimouski.

Dans le futur, selon les projections avec scénario de fortes émissions de Lavoie et al. résumées dans les figures 15 et 16, l'épaisseur moyenne de la glace devrait continuer de diminuer de manière significative dans l'estuaire maritime et la concentration de glace devrait suivre cette même tendance.

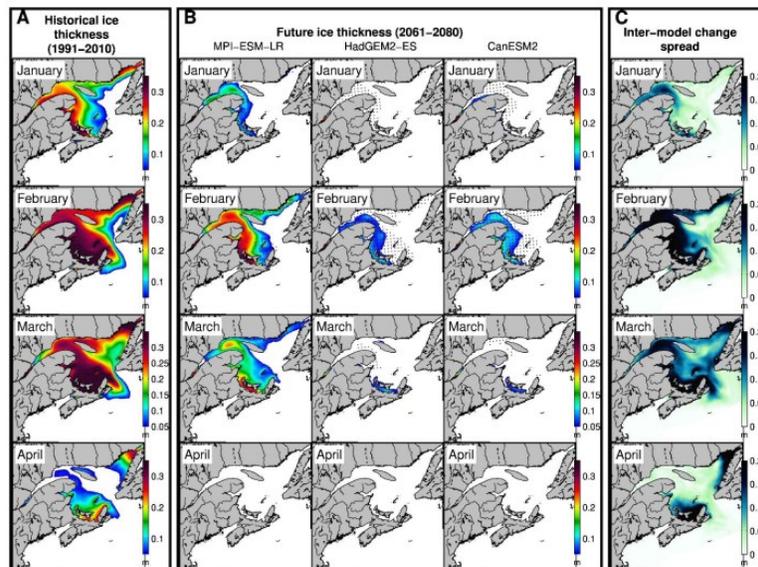


Figure 15 A) Épaisseur moyenne de la glace de mer (m) sur la période 1991-2010 dans le cadre du scénario RCP 8.5, B) Épaisseur moyenne de la glace de mer sur la période 2061-2080 pour chaque simulation, et C) Écart de changement entre les modèles pour l'épaisseur moyenne de la glace de mer.

Source : Lavoie et al. (2020)

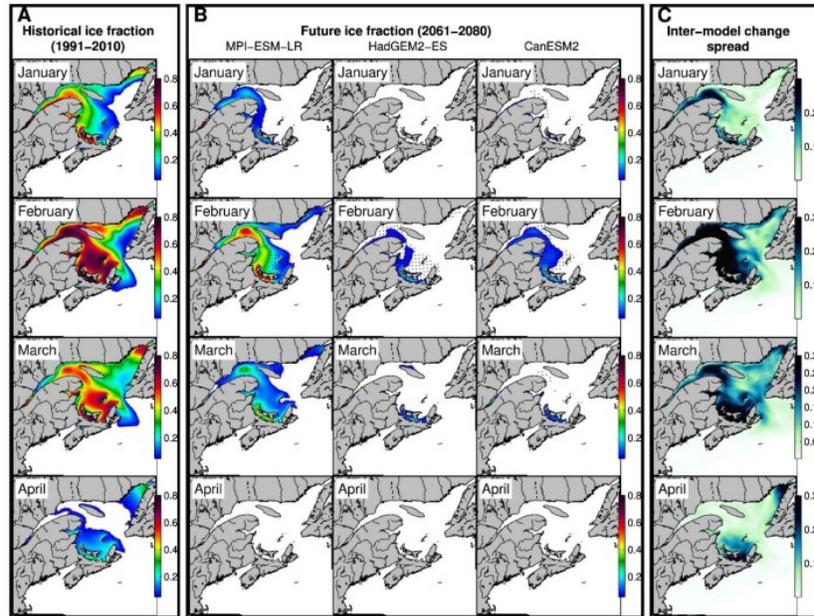


Figure 16 Concentration moyenne de glace de mer sur la période 1991-2010 dans le cadre du scénario RCP 8.5, B) fraction moyenne de glace de mer sur la période 2061-2080 pour chaque simulation, et C) Écart de changement entre les modèles.

Source : Lavoie et al. (2020)

Pour deux des trois modèles, il n’y a presque plus de glace dans l’estuaire maritime en février. La glace de l’estuaire moyen semble diminuer, mais pas au point de disparaître même en mars. Pour ce qui est du fjord, il existe des modèles qui permettent de comprendre la dynamique de la glace (voir Cornett et al., 2017), mais aucune publication qui traite spécifiquement de l’effet projeté des changements climatiques n’a été retrouvée.

L’absence de glace peut avoir un effet direct sur la faune marine qui fréquente les écosystèmes du PMSSL par exemple le phoque du Groenland qui met bas sur la glace (Hammill et Stenson, 2014). Cette conséquence s’ajoute à la réduction de la protection contre l’érosion qui fait de la diminution de la glace dans le Saint-Laurent une situation préoccupante pour l’avenir du socioécosystème du PMSSL.

2.1.5. Acidification

L’augmentation du CO₂ dans l’atmosphère se transmet à l’océan en favorisant une réaction qui produit de l’acide carbonique et diminue le pH de l’eau et la quantité d’ions carbonates un élément constitutif important pour la formation de la coquille et du squelette de nombreux organismes marins (Greenan et al., 2019). Les eaux côtières sont plus vulnérables à l’acidification parce que les activités humaines sur la terre ferme apportent des nutriments qui favorisent la productivité primaire qui, elle, apporte une plus grande décomposition et une augmentation de la respiration bactérienne. En découle une augmentation du CO₂ dans l’eau et donc une acidification locale. Dans l’estuaire, un phénomène particulier contribue à l’acidification : les eaux de l’Atlantique transportées au fond du chenal laurentien sont isolées pendant

plusieurs années de la surface. Durant ce temps, l'activité bactérienne et la respiration des organismes vivants fait augmenter le CO₂ et ce sont donc des eaux acides qui arrivent à la tête du chenal (Savenkoff et al., 2017). Mucci et al.(2011) ont reconstitué l'historique du pH du fond de l'estuaire maritime et calculent une réduction de 0,2 à 0,3 unité au cours des 80 dernières années. En comparaison, la diminution de pH à la surface a été de 0,1 pour la même période.

Les organismes dont la coquille ou le squelette est composé de carbonate de calcium CaCO₃ sont directement affectés par ces changements qui peuvent inhiber leur croissance. Dans leur analyse écosystémique du PMSL, Savenkoff et al. (2017) énumèrent les organismes les plus susceptibles d'être affectés par l'acidification : les coccolithophores (phytoplancton), les ptéropodes (zooplancton), les foraminifères (zooplancton), les mollusques bivalves, les gastéropodes, les crustacés, les échinodermes et les coraux. Puisque les eaux des profondeurs de l'estuaire connaissent la plus forte acidification, les organismes qui y vivent sont les plus affectés. Cette pression de l'acidification sur les milieux benthiques, couplée à celle de l'hypoxie, se répercute dans le reste de l'écosystème à travers les chaînes trophiques. Cette situation sera abordée plus en détail dans la section *Milieux benthiques*.

Les projections des changements de pH d'ici 2061-2080 avec scénario de fortes émissions de Lavoie et al. (2020) sont résumées dans la figure 17.

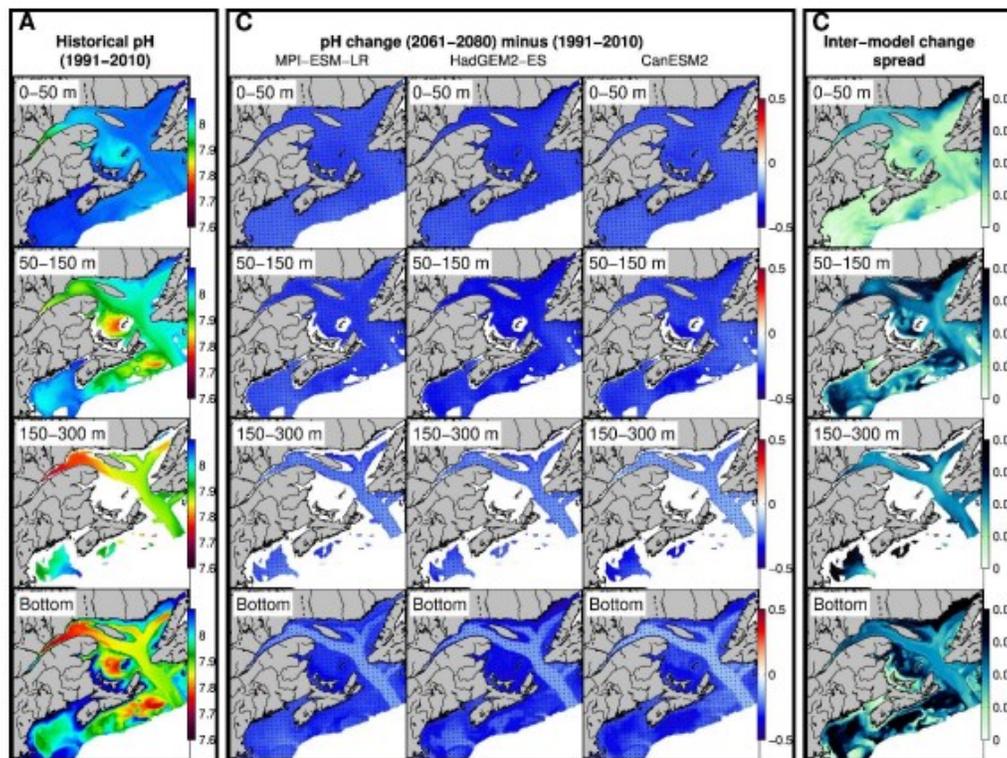


Figure 17 A) pH total moyen pour la période 1991-2010 à quatre intervalles de profondeur (0-50 m, 50-150 m, 150-300 m et fond) selon le scénario RCP 8,5. B) changement de pH total (moyenne 2061-2080 (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation, et C) écart de changement entre les modèles.

Source : Lavoie et al. (2020)

On observe une diminution à la surface dans tout le golfe. Le fond du chenal subit une diminution moins grande que le fond du golfe, mais il est nécessaire de rappeler que ses valeurs de pH étaient déjà très basses.

Lavoie et al. (2020) ont aussi projeté la saturation en aragonite et en calcite, deux formes de carbonate de calcium (CaCO_3) qui composent les coquilles et les squelettes de certains organismes énumérés plus haut. **Les résultats montrent que l'estuaire maritime et l'estuaire moyen sont déjà sous-saturés en aragonite, même en surface, à un point tel que les structures qui en sont composées commencent à se dissoudre. Pour la calcite, la valeur critique de sous-saturation devrait être atteinte dans la deuxième moitié du siècle et plus rapidement en profondeur.**

Le fjord quant à lui est plus acide que les eaux de surface de l'estuaire en raison de concentrations élevées de CO_2 qui s'expliquent par la forte activité biologique liée entre autres au rejet de nutriments par les activités humaines du Saguenay (Delaigue et al., 2020; Mucci et al., 2018). Toutefois, l'effet des changements climatiques sur l'acidification n'a pas été projeté dans le secteur du fjord.

L'acidification n'est pas suivie dans le programme de surveillance écologique du PMSSL.

2.1.6. Hypoxie

On parle habituellement d'hypoxie lorsque la concentration en oxygène dissous (OD) dans l'eau tombe sous les 20% à environ $61 \mu\text{mol/kg}$ (Greenan et al., 2019). En dessous de cette valeur, la survie de la majorité des organismes vivants est menacée, mais la plupart commencent à connaître des difficultés bien avant cette valeur critique (Savenkoff et al., 2017).

Puisque l'oxygène de l'air est diffusé dans l'eau et que les vagues brassent la couche de surface, l'eau est bien oxygénée dans les premiers mètres de l'estuaire et du fjord. Cependant, au fond, l'oxygène consommé par les organismes vivants n'est pas renouvelé par l'air et l'isolement de la couche profonde par la couche intermédiaire froide peut mener à l'hypoxie (Savenkoff et al., 2017). Dans les eaux hautement stratifiées de l'estuaire maritime, le fond présente des conditions sévèrement hypoxiques. Il s'agit d'une situation assez bien documentée qui inquiète de nombreux spécialistes (Savenkoff et al., 2017). La concentration en oxygène dissous du fond est passée de $130 \mu\text{mol/kg}$ dans les années 1930 à $65 \mu\text{mol/kg}$ pour la période 1982-2003 (Gilbert et al., 2005). Les changements dans la circulation des courants et des masses d'eau à l'entrée du chenal laurentien expliquent en bonne partie ce phénomène. En effet, les eaux qui entrent dans le golfe au détroit de Cabot sont déjà mal oxygénées (55 à 65%) et la respiration du vivant tout au long du trajet qui dure de 3 à 4 ans vers la tête du chenal fait diminuer la concentration d'OD tout en augmentant celle de CO_2 (Savenkoff et al., 2017). Ce même phénomène a aussi mené au faible pH des profondeurs du chenal tel que décrit dans la section sur l'acidification. Cette situation fait en sorte que l'hypoxie persiste dans le fond de l'estuaire même à travers les saisons. Après s'être stabilisées entre 1984 et 2016, les concentrations minimales en OD du fond de l'estuaire ont chuté drastiquement en 2020, atteignant à certains endroits des concentrations d'environ $35 \mu\text{M}$ (Jutras et al., 2022) (voir figure 18).

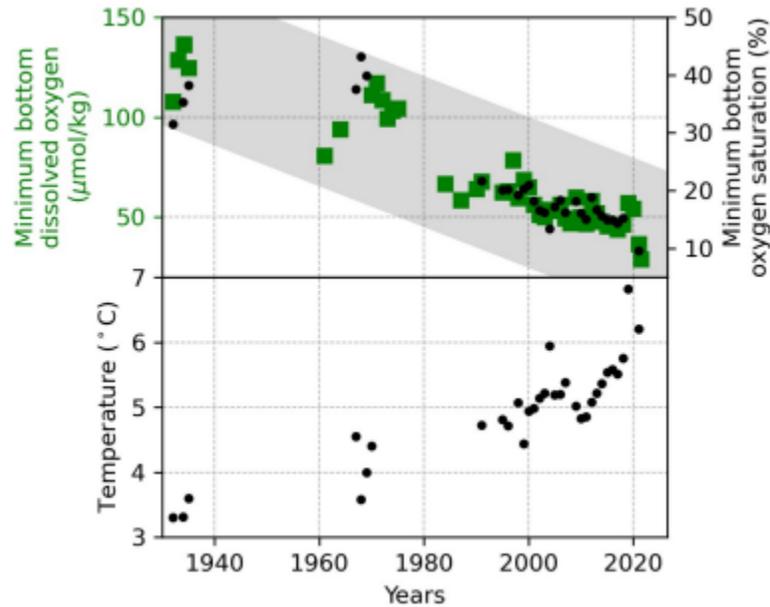


Figure 18 Concentration d'oxygène dissous minimale du fond à la tête de l'estuaire maritime et les températures de l'eau associées.

Source: Jutras et al. (2022)

La situation pourrait empirer avec une contribution encore plus grande du Gulf Stream à l'eau de l'estuaire. Aussi, une augmentation de la température de l'eau diminue la solubilité de l'oxygène et peut favoriser la respiration des bactéries qui dégradent la matière organique du fond (Savenkoff et al., 2017). Un apport accru de nutriments provenant des activités humaines sur le continent pourrait aussi accélérer la décomposition et donc l'hypoxie du fond du chenal. Lavoie et al. (2020) avaient projeté les conditions de l'oxygène dissous, mais une erreur relevée à la dernière minute a empêché l'inclusion des résultats dans l'article. Ceux-ci devraient faire l'objet d'une prochaine publication.

Tout comme pour l'acidification, les milieux benthiques sont les plus affectés et ce déclin des conditions se propage dans la chaîne trophique. Ce sujet sera discuté dans la section *habitats benthiques*.

L'oxygène dissous mesuré par le MPO à 300m de profondeur dans l'estuaire maritime et à la station Rimouski sont des variables incluses dans le programme de surveillance écologique du PMSSL.

2.1.7. Augmentation du niveau de la mer

Le niveau de la mer à l'échelle mondiale augmente à cause de la fonte des glaces et de l'expansion thermique de l'eau qui se réchauffe. À l'échelle locale, la variation du niveau de la mer dépend du mouvement vertical des continents. Par exemple, un ajustement isostatique datant de la fin de la dernière glaciation est toujours en cours au Canada et fait en sorte que les terres au Québec subissent un soulèvement de 1 à 4,5 mm par année selon les secteurs, tandis que les provinces maritimes montrent un affaissement allant jusqu'à 2 mm par année (Greenan et al., 2019). Cela dit, dans le Saint-Laurent, la hausse du niveau de la mer est plus importante que le relèvement des terres. À la station de Rimouski, la tendance d'augmentation du niveau de la mer calculée à partir de données de 1980 à 2017 est de 0,9 mm par année (Greenan et al., 2019).

La référence nationale la plus récente concernant les projections de niveau de la mer en fonction des changements climatiques est le rapport de James et al. (2021). La plateforme *DonnéesClimatiques.ca* offre une visualisation des projections pour cette variable. La figure 19 montre le graphique généré pour la cellule au large de Tadoussac.

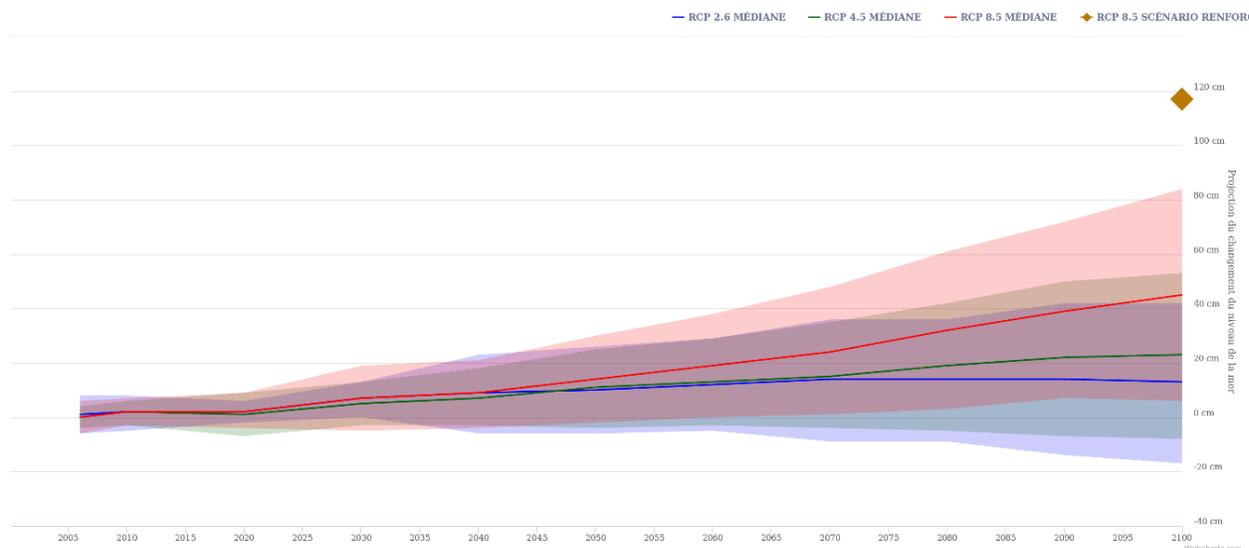


Figure 19 Projections du changement du niveau de la mer à Tadoussac.

Source : DonnéesClimat.ca (2023)

Si par précaution on considère le scénario de fortes émissions RCP 8.5, on peut s’attendre à une hausse assez importante du niveau de la mer avec une médiane un peu au-dessus de 40 cm d’ici 2100. Cette augmentation projetée est élevée, mais moins alarmante que dans les maritimes où la hausse projetée pourrait s’approcher d’un mètre d’ici 2100. Cela dit, la composition géologique des côtes de l’estuaire maritime la rend sensible à l’érosion (Alberti-Dufort, 2022). Des falaises meubles se trouvent aussi dans la section de l’estuaire moyen où se trouve le PMSSL. La hausse du niveau de la mer, en plus d’agir comme pression graduelle pour la côte, aggrave aussi les conséquences des tempêtes en permettant aux vagues de s’étendre plus loin en contexte d’inondation (Greenan et al., 2019).

La projection de l’augmentation du niveau marin au large est une donnée mature, toutefois, la transformation de ces niveaux d’eau en données géodésiques à la côte, qui est critique pour les habitats côtiers et la gestion des inondations, n’est pas encore disponible pour le Saint-Laurent.

2.2. Chocs

2.2.1. Tempêtes, vents et vagues

La nature dynamique des tempêtes les rend plus difficiles à prévoir que les facteurs de stress graduels comme la température et aucune tendance assez significative n’a été observée à l’échelle des eaux du Canada à part une hausse des tempêtes d’automne dans l’Atlantique Nord (Greenan et al., 2019). Greenan et al.(2019) jugent que les projections régionales de tempêtes ne sont pas assez solides pour tirer des conclusions même si à l’échelle mondiale l’augmentation de l’énergie thermique dans le système se traduira en une augmentation des tempêtes. Xu et Lefavre (2015) semblent pourtant avoir modélisé les ondes de tempêtes dans l’estuaire et le golfe du Saint-Laurent en fonction des changements

climatiques pour le compte du ministère des Transports du Québec, mais le rapport ne décrit pas les résultats.

Pour ce qui est de la hauteur maximale des vagues, les projections suggèrent une diminution dans le golfe du Saint-Laurent en été et une augmentation en hiver liée à la perte de couverture de glace (Greenan et al., 2019).

Selon nos communications avec des partenaires, soulignons des enjeux de modélisation des vents en climat futur en raison de l'échelle des phénomènes convectifs, le faible nombre d'observations des vagues (en développement du côté de ECCO via des réanalyses climatiques), des enjeux de modélisation des trajectoires et intensités des tempêtes et la complexité liée aux effets combinés tempête-niveau marin-glace. Il semblerait aussi que la Réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan ait obtenu un modèle hydrodynamique prédictif pour les ondes de tempêtes, vitesse et direction des vents en faisant appel à un partenaire externe. Il s'agit d'un exemple de possibilité qui pourrait être intéressant pour le PMSSL.

L'information est donc fragmentaire concernant les aléas d'événements extrêmes. Des recherches sont en cours sur la manière dont les modes naturels de variabilité climatique tels qu'El Niño et l'oscillation nord-atlantique pourraient être modifiés par les changements climatiques (Bush et Lemmen, 2019).

2.2.2. Érosion côtière, inondations et submersion par la mer

L'augmentation des tempêtes, des vagues, et du niveau de la mer peut entraîner une augmentation de l'érosion côtière, de la submersion et des inondations. Pour la région du parc marin, on sait que la réduction du couvert de glace expose les côtes aux inondations et à l'érosion lors d'événements extrêmes et que les répercussions qu'apportent ces événements pourraient devenir plus importantes à mesure que le niveau de la mer augmente. Ces aléas ont été placés dans la section chocs puisqu'ils peuvent avoir des effets importants lors d'événements extrêmes, mais il s'agit autant d'un choc que d'un stress graduel.

Concernant la projection de l'aléa de submersion, il existe quelques projets de modélisations dans un contexte municipal (voir par exemple Circé et al., 2016), mais il n'y a pas de carte de submersion en conditions futures disponible à l'échelle du Saint-Laurent. En ce sens, la maturité des connaissances est faible pour cet aléa. Pêches et Océans Canada a créé l'Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eaux extrêmes (OCANEE) pour l'adaptation des ouvrages portuaires (voir Zhai et al., 2023). La station la plus proche du PMSSL sur la rive nord se situe aux Escoumins à quelques mètres de la limite du parc marin. L'outil présente la hauteur à laquelle une infrastructure côtière devrait être surélevée pour faire en sorte que son risque d'inondation n'augmente pas selon trois scénarios de changements climatiques (RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5) (Voir l'annexe C). Aussi, selon nos informations, un projet d'Ingénieurs Canada est en cours et vise à rendre disponibles des données sur les surcotes de tempêtes pour les stations marégraphiques.

Pour ce qui est de l'érosion côtière, d'importants travaux ont été réalisés dans tout le Saint-Laurent par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) dirigé par Pascal Bernatchez à l'Université du Québec à Rimouski (UQAR). Le laboratoire a mis en place un Réseau de suivi de l'érosion côtière qui permet de connaître précisément l'avancée ou le recul des côtes du Québec maritime à partir de mesures annuelles entre des stations fixes et la côte (voir Bernatchez et Drejza, 2015). La figure 20 présente les classes de taux de déplacement annuels observés aux stations sur la rive nord de l'estuaire maritime à la hauteur du PMSSL. La figure 21 présente les classes de taux de déplacement annuels observés sur la rive nord de l'estuaire moyen à la hauteur du PMSSL. Il n'y a pas de station dans le fjord.

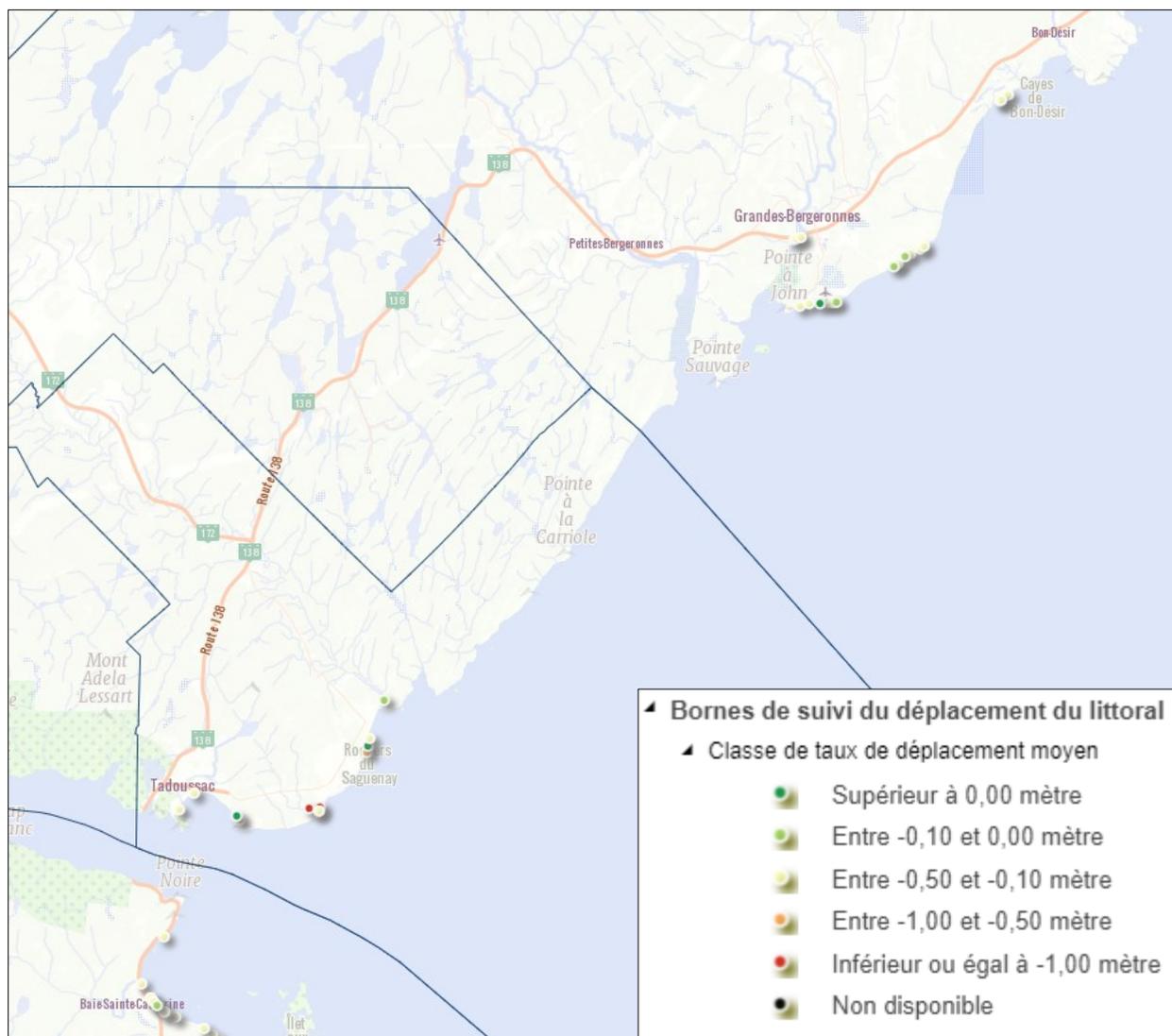


Figure 20 Déplacement moyen du littoral du suivi de l'érosion côtière pour la portion estuaire maritime du PMSSL.

Source : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (2022)

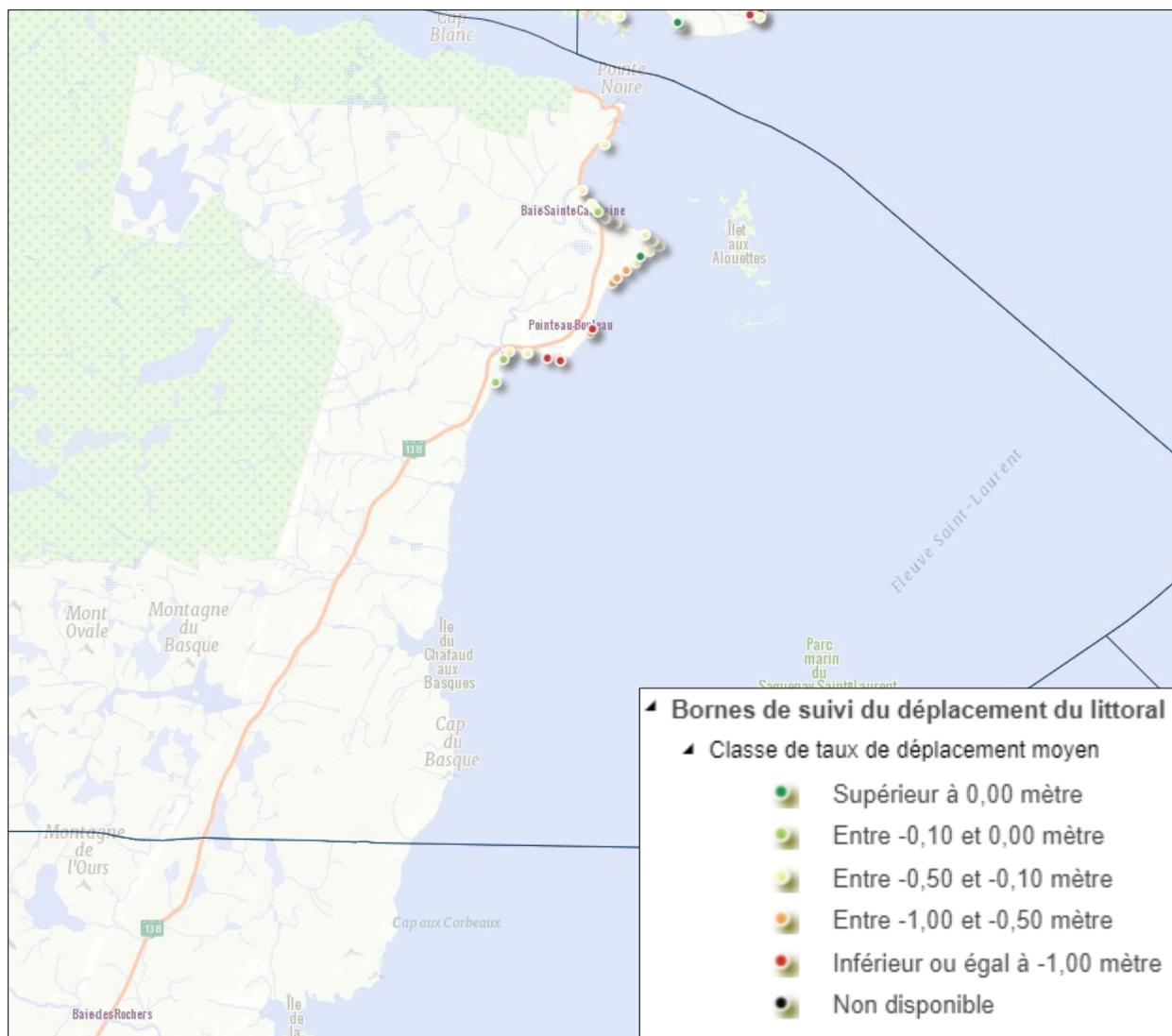


Figure 21 Déplacement moyen du littoral du suivi de l'érosion côtière pour la portion estuaire moyen du PMSSL.

Source : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (2022)

À quelques stations, un taux supérieur à 0 est observé c'est-à-dire qu'il y a une avancée de la côte. À la majorité des stations, la tendance de recul est faible ou moyenne. Toutefois, à certaines stations comme dans le secteur de Pointe aux vaches (en amont des Rochers du Saguenay sur la figure 20) le recul annuel moyen est de plus d'un mètre. Dans l'estuaire moyen, le secteur de Pointe-au-Bouleau connaît aussi un fort taux de recul. Le taux de recul entre -0,50 m et -0,10 m dans la baie de Tadoussac pourrait avoir des implications pour le tourisme et les infrastructures.

Pour estimer comment les tendances d'érosion vont évoluer dans les conditions futures, des projections de l'érosion selon différents scénarios de changements climatiques ont été produites dans divers avis d'experts visant la sécurité publique ainsi que dans le cadre d'analyses détaillées de sites prioritaires, mais ces données sont absentes dans les limites du PMSSL ou peu accessibles. Cela dit, **Bernatchez et al. (2015) suggèrent que les valeurs récentes de déplacement du littoral peuvent être utilisées pour avoir un**

aperçu du recul des prochaines années puisqu'elles comprennent déjà l'effet des changements climatiques et qu'elles devraient probablement se maintenir jusqu'à 2065.

En 2021, le LDGIZC a publié les résultats du projet *Résilience côtière* qui comporte de nombreux chantiers scientifiques. Ce projet a fait avancer les connaissances sur les milieux côtiers du Québec maritime et offre de multiples applications pour la gestion des zones côtières (Fraser et al., 2021). Les données de ce projet sont diffusées sur le géoportail SIGEC Web (Système Intégré de Gestion de l'Environnement Côtier). La section *Habitats côtiers* abordera plus en détail comment les résultats de ce projet pourraient être utiles pour évaluer la vulnérabilité des écosystèmes côtiers du PMSL aux changements climatiques. En plus de menacer le milieu bâti et les communautés humaines, la hausse du niveau de la mer et la disponibilité en sédiments affectent aussi les écosystèmes côtiers. En effet, ces changements entraînent une migration terrestre des habitats côtiers, mais des barrières topographiques et anthropiques peuvent empêcher la migration. Ce phénomène appelé coincement côtier peut causer la disparition des écosystèmes, mais surtout des pertes importantes de surface (Farron et al., 2020).

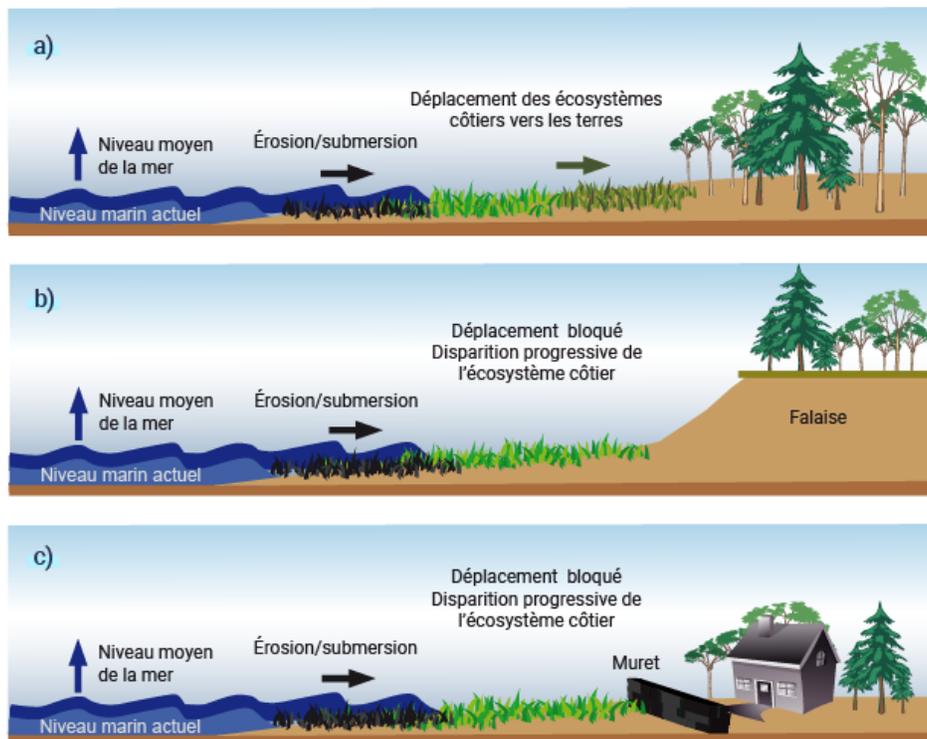


Figure 22 Schéma illustrant les facteurs qui influencent le coincement côtier. A) Déplacement de l'écosystème côtier en absence de contraintes. B) Déplacement de l'écosystème côtier bloqué par une contrainte naturelle. C) Déplacement de l'écosystème côtier bloqué par une contrainte anthropique.

Source : Modifié de Bernatchez et Quintin (2016)

2.2.3. Vagues de chaleur marines

Les vagues de chaleur marines, c'est-à-dire des périodes prolongées de températures anormalement élevées de l'eau près de la surface, sont un enjeu émergent qui n'avait pas été couvert par le rapport sur le climat changeant de 2019. La mise à jour de Bush et al. (2022) souligne que des avancées importantes ont été faites ces dernières années dans la compréhension du phénomène de vagues de chaleur marines.

Ils rapportent les énoncés du GIEC selon lesquels les vagues de chaleur marines ont doublé en fréquence depuis 1980 et devraient continuer d’augmenter.

Dans les publications sur les vagues de chaleur marines, l’accent est mis sur les bassins océaniques et il n’est pas clair si le Saint-Laurent ou le fjord subissent des épisodes de vagues de chaleur marines ni quelle est la réponse du socioécosystème du PMSSL. Les connaissances sont donc en émergence, davantage pour l’estuaire en raison des secteurs de modélisation océanographique.

En contexte d’importantes incertitudes à ce sujet, il serait pertinent d’étudier si une augmentation momentanée de la température de l’eau peut influencer le moment et la fréquence de déclenchement des floraisons d’algues toxiques dont la germination des kystes et la croissance sont conditionnées par l’atteinte de fenêtres de températures et de salinité optimales (Fauchot, 2006). Les floraisons d’algues toxiques sont des menaces directes pour la faune marine. Ce sujet sera abordé plus en détail dans la section sur les *habitats pélagiques*.

2.3. Maturité des connaissances et pistes d’adaptation

Tableau 7 Aperçu de la maturité des connaissances sur les aléas

Aléas	Maturité des connaissances	Pistes d’adaptation
Secteur Fjord	Faiblesse généralisée des connaissances dans le secteur du fjord	<ul style="list-style-type: none"> ○ L’acquisition et le développement des indicateurs océanographiques en climat futur ○ Rester à l’affût des projets du nouveau Groupe de recherche sur l’écosystème du fjord du Saguenay
Secteur Estuaire	Abondances de données mais pas assez généralisées ou accessibles	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rendre opérationnels et accessibles les jeux de données matures d’indicateurs climatiques
Interaction fjord-estuaire	Méconnaissance de l’évolution anticipée de la remontée des eaux froides à la tête du chenal	<ul style="list-style-type: none"> ○ Acquisition et développement des connaissances sur la remontée des eaux froides à la tête du chenal

Les connaissances concernant les changements climatiques ont beaucoup avancé à l’échelle mondiale et nationale avec la production de nombreuses données et une meilleure compréhension des effets des changements climatiques sur les écosystèmes (voir tableau 6). À l’échelle du golfe et de l’estuaire aussi, les modèles climatiques qui permettent de comprendre et de prévoir les conditions climatiques sont déjà fort utiles et vont continuer de s’améliorer. La faiblesse principale de la connaissance des changements climatiques dans le PMSSL est la projection des conditions du fjord du Saguenay pour laquelle aucune ressource pertinente n’a été identifiée lors de la recherche. En effet, la dynamique des eaux du fjord en relation avec l’estuaire est bien étudiée, mais il y a peu de publications sur les changements prévus. Du point de vue des pressions, le fjord semble beaucoup plus étudié sous l’angle de la contamination par des produits rejetés par l’humain que sous l’angle des changements climatiques, comme c’est le cas pour l’estuaire et au golfe du Saint-Laurent. Il se peut que l’explication vienne du fait que les problématiques liées aux changements climatiques sont moins alarmantes dans le fjord (en comparaison par exemple à l’hypoxie au fond du chenal), mais il est aussi possible que le fjord soit moins étudié.

- ❖ Devant la faiblesse généralisée des **connaissances dans le secteur du fjord, l'acquisition et le développement des indicateurs océanographiques en climat futur** constituent un point de départ essentiel pour envisager les problématiques et pistes d'adaptation de ce secteur. Il sera pertinent de **rester à l'affût des projets du nouveau Groupe de recherche sur l'écosystème du fjord du Saguenay** lancé en 2022 par l'Institut nordique de recherche sur l'environnement et la santé au travail (INREST), l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) et l'Université Laval (ULVAL). Un des axes du groupe est l'évaluation et l'identification des stressés environnementaux et leur influence sur la faune et la flore aquatiques.
- ❖ Pour l'estuaire, il s'agit d'une part de **rendre opérationnels et accessibles les jeux de données matures d'indicateurs climatiques** pour permettre l'évaluation quantitative des impacts, et d'autre part, de poursuivre le développement et l'application des connaissances faibles ou émergentes, principalement liées aux événements extrêmes (tempêtes, érosion, submersion, vagues de chaleur marines), nettement moins bien couverts jusqu'à maintenant.

De plus, même si le processus de remontée des eaux froides à la tête du chenal est bien connu, il ne semble pas y avoir de prévision claire de la manière dont il pourrait évoluer au fil du temps. Il s'agit peut-être d'un angle mort de la revue de littérature et non de l'état réel des connaissances, mais il serait pertinent d'examiner la question.

Références Aléas

Alberti-Dufort, A., Bourduas Crouhen, V., Demers-Bouffard, D., Hennigs, R., Legault, S., Cunningham, J., Larrivée, C. et Ouranos (2022). Québec; Chapitre 2 dans *Le Canada dans un climat en changement : Le rapport sur les Perspectives régionales*, (éd.) F.J. Warren, N. Lulham, D.L. Dupuis et D.S. Lemmen; Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario).

Bernatchez P. et S. Drejza (2015) Réseau de suivi de l'érosion côtière du Québec maritime - Guide pour les utilisateurs. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières et Chaire de recherche en géoscience côtière. Université du Québec à Rimouski, octobre 2015, 52 p.

Bernatchez, P., & Quintin, C. (2016). Potentiel de migration des écosystèmes côtiers meubles québécois de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dans le contexte de la hausse appréhendée du niveau de la mer. *Le Naturaliste canadien*, 140(2), 91-104.

Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C., Da Silva, L. (2015). Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis à Ouranos, 45 p. et annexes.

Bush, E. et D.S Lemmen, éditeurs. *Rapport sur le climat changeant du Canada*, gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 2019, 446 p.

Circé, M., Da Silva, L., Mercier, X., Duff, G., Boyer-Villemaire, U., Corbeil, S., Desjarlais, C. et Morneau F. (2016) *Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière à Carleton-sur-Mer*. Ouranos, Montréal. 169 pages et annexes.

Conseil du Saint-Laurent. (2017). La complexité mouvementée de l'estuaire moyen du Saint-Laurent, Plan de Gestion Intégrée Régional du Conseil du Saint-Laurent. 14 p.

Cornett, A., Watson, D., Babaei, H., & Sayed, M. (2017). Modelling Ice Dynamics in the Upper Saguenay Fjord. In *Proc. Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference*.

Delaigue, L., Thomas, H., & Mucci, A. (2020). Spatial variations in CO₂ fluxes in the Saguenay Fjord (Quebec, Canada) and results of a water mixing model. *Biogeosciences*, 17(2), 547-566.

DonnéesClimatiques.ca (2023) <https://donneesclimatiques.ca/> (Consulté le 18 février 2023).

Fauchot, Juliette (2006). *Écologie du dinoflagellé toxique Alexandrium tamarense dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent : facteurs environnementaux affectant l'initiation et le développement des efflorescences*. Thèse. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski, 164 p.

Farron, S. J., Hughes, Z. J., & FitzGerald, D. M. (2020). Assessing the response of the Great Marsh to sea-level rise: Migration, submersion or survival. *Marine Geology*, 425, 106195.

Flis, A. (2023) El Nino event signal is getting stronger for 2023. When is it forecast to emerge, and how can it impact the next Cold Weather season?. In *SEVERE WEATHER EUROPE*. https://www.severe-weather.eu/long-range-2/el-nino-event-forecast-2023-2024-global-weather-impact-winter-united-states-canada-europe-fa/?fbclid=IwAR1nbGc8nmBlvvf8_ZQtdB8eigJn_ZSSMrxmRu88YvUlxCBEEcuXn_TxQpU (Page consultée le 15 mars 2023).

Galbraith, P. S., Bourgault, D., & Belzile, M. (2018). Circulation et renouvellement des masses d'eau du fjord du Saguenay. *Le Naturaliste canadien*, 142(2), 36-46.

Galbraith, P.S., Chassé, J., Dumas, J., Shaw, J.-L., Caverhill, C., Lefavre, D. et Lafleur, C. 2022. Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2021. *Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/034*. iv + 85 p.

Gilbert, D., Sundby, B., Gobeil, C., Mucci, A., & Tremblay, G. H. (2005). A seventy-two-year record of diminishing deep-water oxygen in the St. Lawrence estuary: The northwest Atlantic connection. *Limnology and oceanography*, 50(5), 1654-1666.

Greenan, B.J.W., T.S. James, J.W. Loder, P. Pépin, K. Azetsu-Scott, D. Ianson, R.C. Hamme, D. Gilbert, J-E. Tremblay, X.L. Wang et W. Perrie. « Changements touchant les océans qui bordent le Canada », chapitre 7 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 2019, p. 344–425.

Hammill, M. O et Stenson, G. B. 2014. Changes in ice conditions and potential impact on harp seal pupping. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/025*. iv + 14 p.

James, T. S., Robin, C., Henton, J. A., & Craymer, M. (2021). Relative sea-level projections for Canada based on the IPCC Fifth Assessment Report and the NAD83v70VG national crustal velocity model. *Geological Survey of Canada, Open File*, 8764(10.4095), 327878.

Jutras, M., Mucci, A., Chaillou, G., Nesbitt, W. A., & Wallace, D. W. (2022). Temporal and spatial evolution of bottom-water hypoxia in the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *EGUsphere*, 1-16.

Lavoie, D., Lambert, N., & Gilbert, D. (2019). Projections of future trends in biogeochemical conditions in the northwest Atlantic using CMIP5 earth system models. *Atmosphere-Ocean*, 57(1), 18-40.

Lavoie, D., Lambert, N., Rousseau, S., Dumas, J., Chassé, J., Long, Z., Perrie, W., Starr, M., Brickman, D., and Azetsu-Scott, K. (2020). Projections of future physical and biochemical conditions in the Gulf of St. Lawrence, on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine using a regional climate model. *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* 334: xiii + 102 p.

Lemmen, D.S., Warren, F.J., James, T.S. et Mercer Clarke, C.S.L. éditeurs (2016). *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2016, 280p.

Mucci, A., Levasseur, M., Gratton, Y., Martias, C., Scarratt, M., Gilbert, D., ... & Lansard, B. (2018). Tidally induced variations of pH at the head of the Laurentian Channel. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75(7), 1128-1141.

Pêches et Océans Canada (MPO) (2016) 4035: LES ESCOUMINS (BASQUES), QC . In Institut océanographique de Bedford, *Can-EWLAT*. https://www.bio.gc.ca/science/data-donnees/can-ewlat/selected-location-fr.php?location_id=433 (Page consultée le 30 mars 2023).

Saucier, F. J., Roy, F., Senneville, S., Smith, G., Lefavre, D., Zakardjian, B., & Dumais, J. F. (2009). Modélisation de la circulation dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en réponse aux variations du débit d'eau douce et des vents. *Revue des Sciences de l'Eau*, 22(2), 159-176.

Simard, Y. (2009). The Saguenay-St. Lawrence Marine Park: oceanographic processes at the basis of this unique forage site of northwest Atlantic whales. *Rev Sci Eau*, 22, 177-197.

Tremblay-Bouchard, J. (2021) De nouveaux barèmes de température à la hausse pour le Saint-Laurent en 2020. In Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM), *Baleines en direct*, <https://baleinesendirect.org/en/st-lawrence-temperatures-on-the-rise-in-2020/> (Page consultée le 20 février 2023).

Warren, F. et Lulham, N., éditeurs (2021). *Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux*; gouvernement du Canada, Ottawa, ON.

Warren, F., Lulham, N. et Lemmen, D.S., éditeurs (2021). *Le Canada dans un climat en changement : Le rapport sur les perspectives régionales*; gouvernement du Canada, Ottawa, ON.

Xu, Z. et D. Lefavre, (éditeurs, 2015). *Prévision des niveaux d'eau dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en fonction des changements climatiques*. Rapport interne au ministère des Transports du Québec, janvier 2015, vii + 90 p.

Zhai, L., Greenan, B.J.W. and Perrie, W. 2023. The Canadian Extreme Water Level Adaptation Tool (CANEWLAT). *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean. Sci.* 348: iii + 15 p.

Données utiles

[Zone potentiellement exposée aux glissements de terrain \(ZPEGT\) - Carte de contrainte](#)

3. Écosystèmes du PMSSL dans un climat en changement

Suivant le schéma conceptuel présenté en introduction, le chapitre qui suit offre un survol de la manière dont les changements climatiques risquent d'affecter les composantes de l'écosystème. Même si cette approche par sections permet d'examiner plus en détail l'effet particulier des changements climatiques sur certains organismes que le parc et la population souhaitent protéger, une approche plus écosystémique permettrait une analyse qui ferait ressortir les interactions non seulement entre les pressions sur l'écosystème, mais aussi entre les composantes de l'écosystème.

L'approche écosystémique fait sa place dans la recherche et dans la gestion des aires protégées. Le programme de surveillance écologique du PMSSL et les travaux du parc en général en sont des exemples. L'approche écosystémique a aussi été appliquée dans l'estuaire du Saint-Laurent à l'occasion d'un projet d'envergure réalisé par le MPO entre 2007 et 2012 (voir Gagné et al., 2013) qui a rassemblé une équipe multidisciplinaire dans le but de faire avancer la recherche sur la caractérisation des habitats fréquentés par le béluga du Saint-Laurent et les espèces fourragères responsables de la présence du rorqual bleu dans l'estuaire maritime. Savenkoff et al. (2017) en décrit les retombées.

Beauchesne (2020) s'est entre autres appuyé sur les travaux de Savenkoff et al. pour produire sa thèse de doctorat portant sur l'évaluation des effets cumulatifs des changements globaux sur les écosystèmes dont le cas à l'étude est celui du Saint-Laurent. Ce travail offre une manière de considérer les pressions sur les écosystèmes du parc marin dans leur ensemble. En effet, Beauchesne a évalué l'effet cumulatif de 18 stressseurs dont six liés au climat, cinq à la pêche, cinq aux pressions venant du milieu côtier et deux au trafic maritime. La figure 23 montre la distribution de l'exposition à des effets cumulatifs dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

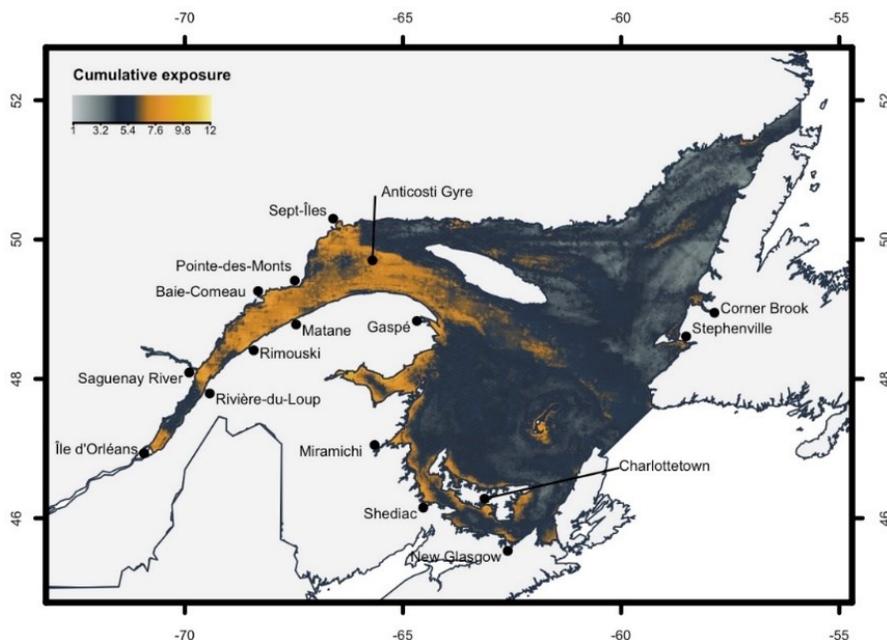


Figure 23 Distribution de l'exposition cumulative dans le système Saint-Laurent.

Source : Beauchesne (2020)

On observe que de multiples pressions se cumulent dans l'estuaire. Beauchesne (2020) a regroupé des secteurs avec des pressions similaires. Dans l'aire du PMSSL, un groupe de pressions est identifié dans le

fond du chenal laurentien avec les pressions de l'hypoxie et de l'acidification. Un autre groupe comprend les pressions de la pêche près des côtes. Le dernier groupe se trouve à l'embouchure du fjord et constitue un point chaud de l'exposition au trafic maritime, à la pêche, au climat et aux pressions provenant du développement côtier comme le rejet de nutriments.

Afin d'étudier les effets de ces pressions sur la structure de l'écosystème du Saint-Laurent, Beauchesne a modélisé le réseau trophique de 193 taxons qui interagissent entre eux et avec les stressseurs (voir figure 24).

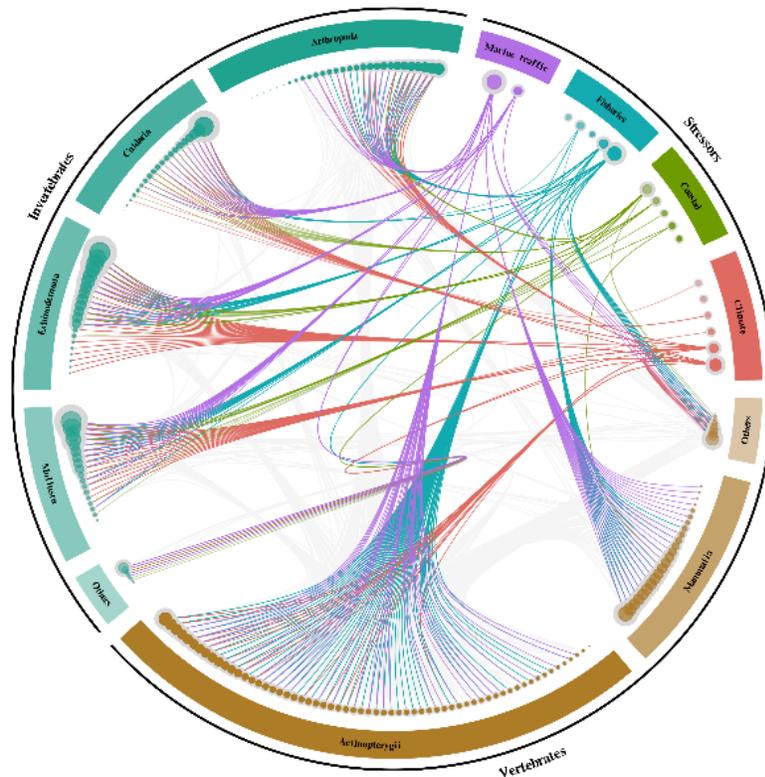


Figure 24 Effet cumulatif des stressseurs à l'échelle du réseau. Les interactions entre les 193 taxons sont en gris, la présence d'un stressseur sur le taxon est représentée par la liaison colorée. La grosseur des points de chaque taxon représente l'effet cumulatif sur ce taxon et la grosseur des points pour les stressseurs représente l'effet moyen de ce stressseur.

Source : Beauchesne (2020)

La figure 25 regroupe les taxons en grandes catégories et permet d'apprécier la contribution des effets cumulatifs que chaque groupe risque de subir. La figure montrant les résultats de Beauchesne pour chacun des 193 taxons est disponible à l'annexe D.

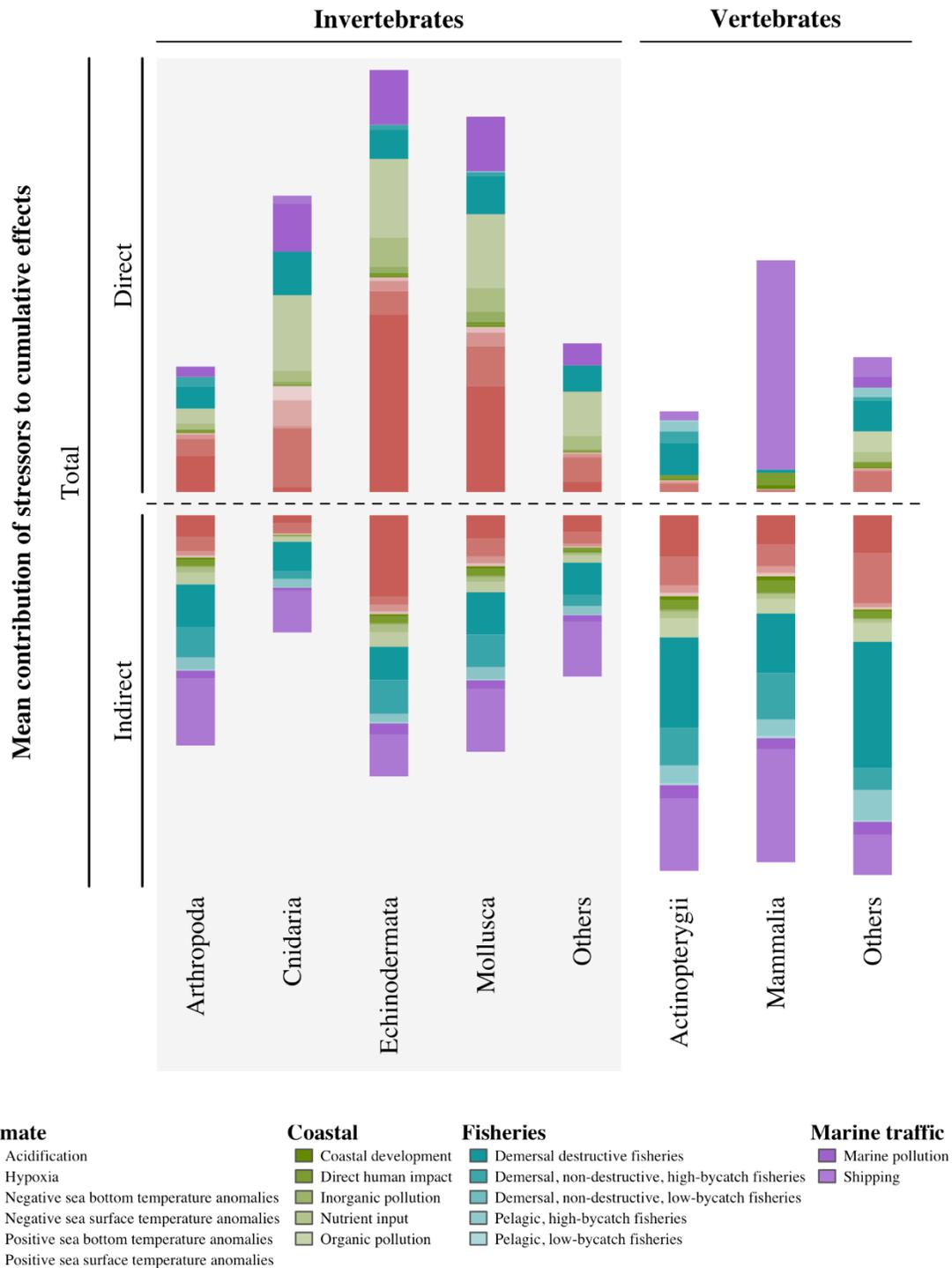


Figure 25 Contribution des stressors aux effets cumulatifs à l'échelle du réseau trophique sur les principaux groupes taxonomiques.

Source : Beaudouin (2020)

On voit que les groupes d'invertébrés sont les plus affectés directement par les stressors liés au climat, notamment les échinodermes et les mollusques qui subissent des effets importants face à l'acidification et l'hypoxie. Les vertébrés semblent être peu exposés à un stress direct du climat, mais le climat contribue indirectement aux effets cumulatifs qu'ils peuvent subir à travers les changements dans leurs proies. Les cinq stressors climatiques de Beausnesne sont des variables sur lesquelles il n'est pas vraiment possible d'agir. **Toutefois, le fait de comprendre comment le climat s'ajoute aux autres stressors anthropiques souligne l'importance et l'urgence de réduire les pressions sur lesquelles l'humain a un contrôle.**

Alors que le chapitre 1 de la revue couvrait la composante *aléa* du risque climatique, les travaux de Beausnesne permettent de comprendre la composante *exposition*. Les sections suivantes de la revue de littérature approfondiront la composante *vulnérabilité* en détaillant la manière dont chaque groupe taxonomique est sensible aux aléas climatiques et par quel moyen leur capacité d'adaptation intrinsèque leur permet ou non de faire face aux changements à venir. Suivant les résultats de Beausnesne (2020), les sections sur les habitats pélagiques, benthiques et côtiers seront abordées sous l'angle de la sensibilité directe aux aléas climatiques tandis que les sections sur les poissons, oiseaux et mammifères marins seront abordées surtout sous l'angle de la sensibilité trophique qui les rend vulnérables à des effets indirects des changements climatiques. Boyce et al. (2022a) ont construit un index de la vulnérabilité aux changements climatiques de la vie marine. Dans Boyce et al. (2022b, en préimpression) les chercheurs et chercheuses montrent comment ces données peuvent être opérationnalisées avec l'exemple du nord de l'Atlantique. On voit dans cet article que des données dans l'estuaire existent et **il serait intéressant d'explorer ces données afin de tirer des conclusions pertinentes à la gestion du PMSSL**. Toutefois, la revue de littérature se concentre sur les publications qui fournissent une information déjà analysée pour les écosystèmes du parc marin.

Berteaux et al. avaient publié en 2014 une synthèse de l'effet des changements climatiques sur la biodiversité au Québec dans le cadre du projet de recherche CC-Bio supporté par Ouranos. Cependant, ce travail ne touchait qu'au milieu terrestre. Berteaux et al. ont publié récemment (2018) une étude en Arctique intitulée *Changements climatiques et toundra du Nunavik : exposition, sensibilité et vulnérabilité*. Les données disponibles sur le site web du projet permettent de connaître les projections de changements de distribution de 183 espèces du Nunavik et synthétisent l'information climatique sur le territoire d'étude. Si **une telle étude pouvait être réalisée en milieu marin pour la région du PMSSL** (en s'appuyant sur le réseau trophique déjà construit par Beausnesne?), les gestionnaires pourraient beaucoup mieux prendre en compte les changements climatiques dans leur planification et appliquer des mesures d'adaptation visant la protection de la biodiversité mieux éclairées. L'envergure d'un tel projet de recherche dépasse la portée de la présente revue de littérature, mais cette dernière pourrait être un catalyseur pour **le démarrage d'une analyse du risque climatique qui soit multidisciplinaire et écosystémique.**

Tableau 8 Aperçu de la maturité des connaissances sur le risque climatique pour les écosystèmes

Éléments exposés	Maturité des connaissances	Pistes d'adaptation
Écosystèmes	Manque de projections des effets sur la biodiversité marine	<ul style="list-style-type: none"> ○ Acquisition et développement des connaissances sur l'effet des changements climatiques sur la biodiversité au Québec ○ Analyse des risques climatiques sur la biodiversité

Références Écosystèmes

Beauchesne, David (2020). *Évaluation des effets cumulatifs des changements globaux sur les écosystèmes : le cas de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent*. Thèse. Rimouski, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER), 287 p.

Berteaux D., N. Casajus et P. Ropars (2018) Changements climatiques et toundra du Nunavik : exposition, sensibilité et vulnérabilité. Rapport présenté au Consortium Ouranos sur la climatologie régionale et les changements climatiques. Université du Québec à Rimouski, Québec, Canada, 60 pages.

Berteaux, D. (2014). *Changements climatiques et biodiversité du Québec: vers un nouveau patrimoine naturel*. Québec, Presses de l'Université du Québec, 206 p.

Boyce, D. G., Tittensor, D. P., Garilao, C., Henson, S., Kaschner, K., Kesner-Reyes, K., ... & Worm, B. (2022a). A climate risk index for marine life. *Nature Climate Change*, 12(9), 854-862.

Boyce, DG, Tittensor, D. P., Fuller, S., Henson, S., Kaschner, K., Reygondeau, G., Schleit, K. E., Saba, V., Shackell, N. L., Worm, B. (2022b). Operationalizing climate risk for fisheries in a global warming hotspot. bioRxiv (préimpression).

Gagné, J.A., Ouellet, P., Savenkoff, C., Galbraith, P.S., Bui, A.O.V. et Bourassa, M.-N. Éd. 2013. Rapport intégré de l'initiative de recherche écosystémique (IRÉ) de la région du Québec pour le projet : les espèces fourragères responsables de la présence des rorquals dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2013/086. vi + 181 p.

Savenkoff, C., Gagné, J. A., Gilbert, M., Castonguay, M., Chabot, D., Chassé, J., ... & Starr, M. (2017). Le concept d'approche écosystémique appliqué à l'estuaire maritime du Saint-Laurent (Canada). *Environmental Reviews*, 25(1), 26-96.

3.1. Habitats pélagiques

Tableau 9 Aperçu du risque climatique pour les habitats pélagiques

Éléments exposés	Risque climatique	Maturité des connaissances	Pistes d'adaptation
Habitats pélagiques	<p>Élevé</p> <p>Sensibilité directe à la température de l'eau et aux changements des conditions océanographiques à large échelle.</p> <p>Les floraisons d'algues toxiques pourraient être plus fréquentes et étendues.</p> <p>En hausse</p>	<p>Forte</p> <p>Assez bonnes connaissances du système dans son ensemble, mais manque de projections locales</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Faire appel à la modélisation en partenariat avec le MPO pour répondre à des besoins de connaissances précis dans le PMSSL avec une vision prospective ○ Continuer de développer le suivi des proies pélagiques ○ Ajouter un suivi du mésozooplancton critique pour la baleine noire ○ Veille sur les décisions de gestion des pêches d'espèces fourragères

Les changements climatiques ont un effet direct sur le phytoplancton et le zooplancton qui sont regroupés ici sous l'appellation *habitats pélagiques*. Puisqu'ils sont à la base du réseau trophique, c'est surtout à travers les changements de leur abondance, de leur distribution et de leur diversité que les organismes de niveaux trophiques supérieurs comme les oiseaux et les mammifères marins seront affectés indirectement par les changements climatiques. Le krill est particulièrement important pour l'alimentation du rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*), du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), du rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*) et du petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) qui fréquentent le PMSSL durant l'été. Les copépodes quant à eux, en plus de nourrir le krill et les petits poissons, sont les proies principales de la baleine noire de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*).

Actuellement, la santé des habitats pélagiques est suivie dans le PMSSL grâce à un indicateur des proies des mammifères marins. Plus précisément, ce suivi inclut la biomasse moyenne de krill par année, le ratio de krill arctique/krill nordique et la biomasse relative moyenne de poisson par année. Les poissons pélagiques, même s'ils constituent des proies importantes des mammifères marins, seront discutés dans une section sur les poissons pour répartir plus équitablement l'information entre les sections. Le suivi actuel des proies dans le parc marin est effectué en partenariat avec le MPO et ne couvre que l'estuaire maritime. La majorité des publications qui ressortent de la revue concernent seulement cette portion du parc marin, entre autres en raison de l'abondance d'organismes pélagiques qu'apporte la tête du chenal laurentien. En effet, le zooplancton a besoin du phytoplancton, qui lui est conditionné par la remontée de sels nutritifs à la tête du chenal. De plus, l'instabilité de la colonne d'eau, la turbidité qui empêche la lumière de pénétrer la surface, le froid et la présence de glace sont des freins aux floraisons de phytoplancton dans l'estuaire moyen (Dionne, 2001). Le fjord du Saguenay, quant à lui, abrite ses propres communautés de zooplancton en amont, tandis que dans la région de l'embouchure il reçoit à marée haute le plancton d'eau salée de l'estuaire (Simard et al., 2008).

3.1.1. Vulnérabilité des habitats pélagiques aux changements climatiques

Bénard et al (2018) ont étudié l'effet de l'augmentation de la température et de l'acidification sur le phytoplancton des floraisons d'automne dans l'estuaire maritime. Leurs résultats suggèrent que l'acidification a peu d'influence sur la croissance du phytoplancton, mais qu'une augmentation de la température peut favoriser leur croissance si la température de l'environnement était préalablement légèrement en dessous de la fenêtre de températures optimale.

Pour ce qui est du mésozooplancton représenté dans l'estuaire en grande partie par les copépodes, il est sensible aux changements climatiques par l'effet direct d'une hausse de la température de l'eau, par la modification de la disponibilité du phytoplancton ainsi que par les changements dans la circulation marine qui guide ses déplacements (Melle et al., 2014). En ce qui concerne l'effet de la température de l'eau, Krumhansl et al. (2018) soulignent que les eaux froides sont notamment nécessaires à la diapause des copépodes *Calanus* spp., genre dominant dans l'estuaire, qui leur permet d'accumuler des réserves de lipides. Des avancées récentes dans la compréhension de la dynamique du transport et de la production des copépodes ont mis en évidence des liens entre l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent indispensables à la compréhension de la distribution du mésozooplancton (voir Brennan et al., 2019 et Brennan et al., 2021). Le macrozooplancton, représenté surtout par le krill, en plus de suivre la distribution de ses proies, est lui aussi influencé par les processus à large échelle qui ont cours dans le golfe et l'estuaire (Lavoie et al., 2016; Benkort, 2019). En d'autres mots, le zooplancton est en grande partie sensible aux changements climatiques à travers des changements dans la circulation des masses d'eau qui font intervenir des processus non cycliques difficiles à prévoir surtout lorsqu'ils déclenchent une cascade de réponses biogéochimiques (Lavoie et al., 2016).

En ce qui concerne l'hypoxie qui a cours dans les profondeurs de l'estuaire, les copépodes ne devraient pas être trop affectés puisque même s'ils visitent les eaux profondes en hiver, ils sont en diapause à ce moment et leur métabolisme est ralenti (Savenkoff et al., 2017). Pour ce qui est du krill, Benkort (2019) met en évidence l'importance pour le krill de s'alimenter même pendant la saison hivernale durant laquelle il y a une faible abondance de ses proies habituelles. À ce moment, il peut se nourrir d'organismes benthiques, ce qui laisse sous-entendre que des changements climatiques affectant le milieu benthique pourraient se répercuter dans les populations de krill. Quelques organismes planctoniques peuvent être plus sensibles à l'acidification comme les coccolithophores, les ptéropodes et les foraminifères (Savenkoff et al., 2017).

En ce qui concerne la capacité adaptative intrinsèque des habitats pélagiques, les essais expérimentaux de Ollier et al. (2018) suggèrent que le krill de l'estuaire fait preuve d'une grande plasticité métabolique qui l'aide à faire face aux changements de température. Cope et al. (2021) soulignent que malgré cette plasticité, le krill est directement conditionné par des fenêtres de température optimales assez restreintes. Benkort (2019) a observé peu d'effet direct de la température sur la production de krill, surtout comparativement à l'influence de l'environnement nutritionnel.

3.1.2. Projections de l'évolution des habitats pélagiques

Lavoie et al. (2020) du MPO offrent des projections des conditions biogéochimiques pour un scénario de fortes émissions RCP 8.5 dans le même article qui projette les conditions physiques futures du golfe du Saint-Laurent (voir le chapitre sur les *Aléas*). La projection de l'évolution pour ces variables des habitats pélagiques est basée sur un modèle qui fait intervenir les nutriments, le phytoplancton, le zooplancton et les détritus.

Phytoplankton

Les projections pour la biomasse des producteurs primaires c'est-à-dire la somme des petits (flagellées) et des gros (diatomées) phytoplanctons sont présentées en concentrations de chlorophylle a . La figure 26 montre qu'en fonction du modèle climatique utilisé, la chlorophylle a à la surface pourrait augmenter près de la tête du chenal laurentien, là où il y avait déjà une grande abondance historique de producteurs primaires. Cette augmentation semble s'accompagner d'une baisse de chlorophylle a plus en aval dans le golfe du Saint-Laurent. Puisque l'ensemble du système golfe-estuaire est à considérer dans le cycle de production du zooplancton (Benkort, 2019), la diminution du phytoplancton dans le golfe pourrait affecter ses consommateurs même avec une chlorophylle a élevée à la tête du chenal.

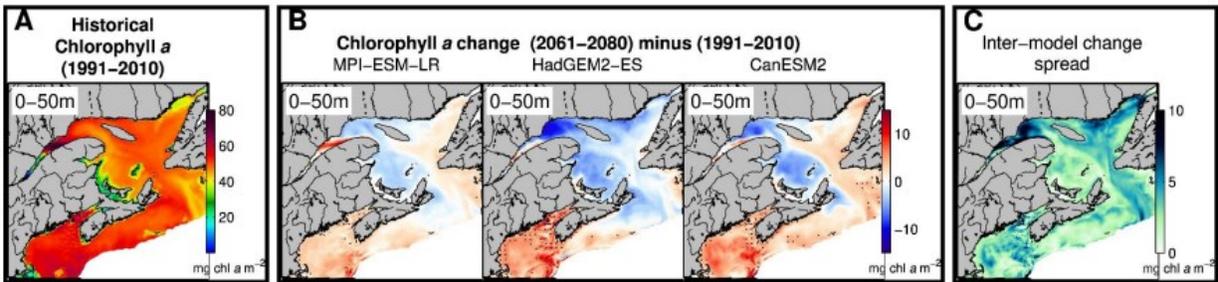


Figure 26 A) Biomasse moyenne annuelle de chlorophylle a pour la période 1991-2010 à un intervalle de de profondeur de 0-50 m pour les simulations forcées avec MPI-ESM-LR, HadGEM2-ES et CanESM2 selon le scénario RCP 8.5, B) Changement de biomasse de chlorophylle a (moyenne 2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation et C) écart de changement entre les modèles.

Source: Lavoie et al. (2020)

Ce sont les diatomées qui sont responsables de cette augmentation tel qu'en témoigne le ratio diatomée/flagellée qui devrait aussi augmenter dans l'estuaire maritime. Lavoie *et al.* (2020) suggèrent que **cette augmentation pourrait être due à une diminution de la prédation par le mésozooplancton qui lui, risque de subir une augmentation de la mortalité en raison de l'augmentation de la température de l'eau.**

Mésozooplancton (copépodes)

Le mésozooplancton devrait surtout diminuer dans le golfe du Saint-Laurent, mais la tendance de diminution n'est pas claire dans l'estuaire et varie selon le modèle utilisé (voir la figure 27 de Lavoie et al, 2020).

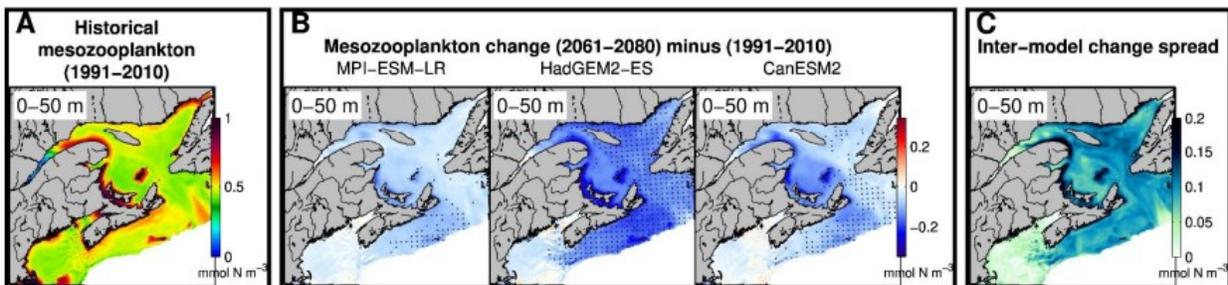


Figure 27 A) Concentration moyenne annuelle de mésozooplancton pour la période 1991-2010 à un intervalle de de profondeur de 0-50 m pour les simulations forcées avec MPI-ESM-LR, HadGEM2-ES et CanESM2 selon le scénario RCP 8.5, B) Changement de concentration de mésozooplancton (moyenne

2061-2080 moins moyenne 1991-2010) pour chaque simulation et C) écart de changement entre les modèles.

Source : Lavoie et al. (2020)

La croissance du mésozooplancton devrait arriver un peu plus tôt au printemps et atteindre des concentrations maximales plus faibles (Lavoie et al., 2020)

Brennan et al. (2021) ont étudié comment les changements globaux modifieront les zones d'abondances des espèces de copépodes *Calanus* spp., proies importantes de la baleine noire de l'Atlantique Nord, une espèce en voie de disparition qui visite l'estuaire maritime du PMSSL. Ils soulignent une diminution des deux espèces dominantes *Calanus finmarchius* et *Calanus hyperboreus* dans le plateau de l'Atlantique nord-ouest depuis les alentours de 2010. Sorochan et al. (2019) observent que cette baisse de biomasse est corrélée à l'augmentation de la température dans le sud de l'aire de répartition des copépodes *Calanus* spp. dans le golfe du Maine.

D'ailleurs, on observe un déplacement des aires d'alimentation principales de la baleine noire de la baie de Fundy vers le golfe du Saint-Laurent plus au nord. Brennan et al. (2021) suggèrent que les zones d'abondances de *Calanus* spp. influencées directement pas les courants (Brennan et al., 2019), pourraient continuer de changer au fil des changements climatiques. Grieve et al. (2017) ont aussi projeté les effets des changements climatiques sur la distribution de *Calanus finmarchicus* dans le golfe du Maine qui correspond au sud de son aire de répartition, et observent une baisse drastique des populations.

Il semblerait donc que les copépodes seront affectés négativement par la hausse des températures de l'eau. Ces changements se répercuteront à leurs consommateurs, dont le krill et la baleine noire qui en a besoin en grande concentration. Même si la modélisation permet des prédictions à large échelle de l'abondance du mésozooplancton, Sorochan et al. (2021) notent que **d'importants manques de connaissances persistent sur la variation spatiotemporelle du zooplancton à l'échelle locale ce qui rend difficile la prédiction dynamique des habitats de qualité pour les mammifères marins.**

Macrozooplancton (krill)

Même si la compréhension de l'écologie du krill du Saint-Laurent a beaucoup augmenté dans les dernières années, il persiste une certaine incertitude quant à la prédiction de sa condition future dans un contexte de changements climatiques. Le krill n'est pas inclus dans le rapport de Lavoie et al. 2020 même si les modèles peuvent être utilisés pour étudier le krill. Cabrol et al. (2021) ont étudié l'effet des changements climatiques sur l'alimentation du rorqual commun. Ils soulignent que l'information sur ses proies, dont le krill arctique qui en constitue la majeure partie, reste encore fragmentaire. Benkort (2019) a étudié les mécanismes de transport du krill dans l'estuaire remarque aussi que les estimations d'abondance de krill restent rares, mais qu'il semble y avoir une tendance à la diminution depuis les années 1970.

Le MPO effectue un suivi acoustique du krill dans le PMSSL depuis 2007 (Simard et Roy, 2018). Ils remarquent que l'abondance des populations semble toujours élevée, même s'ils observent de fortes fluctuations sur de courtes périodes. Simard et Roy suggèrent que ces variations sont dues à des phénomènes météorologiques non cycliques à l'échelle du golfe Saint-Laurent, ce qui rappelle l'importance de considérer le transport des organismes planctoniques pour comprendre comment les changements climatiques peuvent les affecter et non seulement l'environnement physique et biologique local (Lavoie et al., 2016). Les résultats de Simard et Roy (2018) s'inscrivent dans la même lignée que les conclusions de McQuinn et al. (2015) qui suggéraient que les données historiques d'abondance de krill

obtenues par les filets à plancton avaient sous-estimé les effectifs des populations de l'estuaire. D'ailleurs, quand ils et elles ont réalisé une analyse des interactions trophiques de l'estuaire en 2013, Savenkoff et al. ont conclu que le krill n'était pas, pour leur période d'étude (2008-2010), une ressource limitante, que seulement 35% des effectifs étaient consommés et que le rorqual bleu n'avait pas à compétitionner pour le krill même s'il s'en nourrit presque exclusivement. Cela dit, ce résultat concerne la production totale de krill et Savenkoff et al (2013) rappellent que la densité de krill et la distribution des agrégations dans l'estuaire sont variables et fortement liées aux conditions physiques et biogéochimiques à l'échelle régionale. Dans cet ordre d'idée, un changement observé chez le rorqual bleu pourrait être indicateur de changements importants dans l'écosystème. Plus récemment, la thèse de Guilpin (2020) soutient que les agrégations de krill de l'estuaire sont en fait rarement assez denses pour permettre au rorqual bleu de faire des réserves qui lui permettraient d'assurer sa survie et sa reproduction. Ces résultats suggèrent que les conséquences de la diminution des stocks de krill se feraient déjà ressentir et pourraient aller en s'aggravant. Dans l'état actuel des connaissances, davantage de recherches seront nécessaires pour prévoir les changements d'agrégations de krill dans le futur. Lavoie et al. (2016) soulèvent qu'il faudrait même considérer l'effet des changements dans les fréquences et trajectoires des tempêtes.

Les deux espèces de krill dominantes sont le krill nordique (*Meganctyphanes norvegica*) et le krill arctique (*Thysanoessa raschii*). Le ratio entre les deux espèces avait été estimé pour 2000-2009 à 60 :40 pour *Thysanoessa.spp.* (McQuinn et al, 2015). Guilpin (2020) suggère qu'une augmentation de la température de l'eau pourrait favoriser *M. norvegica*. En effet, les deux espèces réagissent différemment aux changements de leur environnement. La modification du ratio krill arctique/krill nordique a de l'importance pour l'écosystème de l'estuaire puisque, **même s'il est plus gros, le krill nordique contient moins de lipides, se trouve plus en profondeur et forme des agrégations moins denses que le krill arctique ce qui peut en faire une proie de moins bonne qualité pour les mammifères marins**, tout dépendant de leur stratégie d'alimentation (Cabrol et al., 2021). Le ratio des deux espèces de krill est une variable intégrée au suivi écologique du PMSSL.

Floraisons d'algues toxiques

Certains dinoflagellés produisent des neurotoxines. Une floraison de ces organismes, c'est-à-dire une augmentation soudaine de leur concentration dans le milieu, peut entraîner des épisodes de mortalité de masse des mammifères marins, des oiseaux et des poissons. De plus, les organismes filtreurs comme les bivalves sont souvent assez tolérants aux toxines ce qui fait en sorte qu'ils peuvent en accumuler de grandes quantités qui se transfèrent ensuite dans la chaîne trophique (Starr et al., 2017). Les épisodes de floraisons d'algues toxiques sont des événements récurrents dans l'estuaire du Saint-Laurent et causent la fermeture temporaire des zones de cueillette de mollusques. L'ampleur et la fréquence des floraisons varient d'année en année. En 2008, une importante floraison d'algues toxiques *Alexandrium tamarense* s'est produite dans le Saint-Laurent et a entraîné une mortalité de masse sans précédent d'animaux marins (Starr et al., 2017).

Les floraisons d'algues toxiques font l'objet d'un suivi dans le PMSSL intégré au programme de surveillance écologique et en partenariat avec le MPO. Le rapport d'état du parc 2022 indique que les floraisons ont été très rares et de faible amplitude dans les dernières années. Toutefois, il est prévu que les changements climatiques augmentent la fréquence et l'étendue des floraisons d'algues toxiques dans le Saint-Laurent. En effet, la plupart des dinoflagellés qui produisent des toxines se retrouvent longtemps sous forme de kystes dormants dans les sédiments. Lorsque les bonnes conditions sont rassemblées, une floraison peut potentiellement se produire. Des modèles ont été développés récemment dans le but de prédire les

occurrences futures de trois espèces d'algues toxiques *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica* et *Pseudo-nitzschia seriata* selon un scénario de fortes émissions RCP 8.5 (Boivin-Rioux et al., 2022). Les occurrences de *D. acuminata* et *D. norvegica* devraient augmenter dans le futur tandis que celles de *P. seriata* devraient diminuer ou se stabiliser. Les floraisons devraient se produire plus tôt et les fenêtres d'opportunités des floraisons devraient être élargies. Ces changements pourraient affecter la santé d'écosystèmes qui n'avaient pas été affectés par ce type d'événement auparavant. Boivin-Rioux et al. (2021) ont aussi projeté les occurrences d'*Alexandrium catenella* selon des scénarios de fortes et de moyennes émissions (RCP 8.5 et RCP 4.5) et constatent aussi l'augmentation de la fréquence et de l'étendue des floraisons.

La répartition spatiale des kystes d'*Alexandrium tamarense* avait été étudiée à la suite de la floraison meurtrière de 2008 par Gracia et al. (2013). De fortes concentrations de kystes avaient été observées sur la rive nord de l'estuaire à la hauteur de Manicouagan et Rivière aux Outardes ainsi que sur la rive sud de l'estuaire maritime. Toutefois, les chercheuses et chercheurs expliquent que les floraisons d'algues toxiques sont des phénomènes dynamiques et que le pic de toxicité ne se produit pas nécessairement à l'emplacement des kystes.

3.1.3. Maturité des connaissances et pistes d'adaptation

Le zooplancton est beaucoup étudié dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, notamment par le MPO. Ils réalisent entre autres un suivi de la biomasse du mésoplancton et du macroplancton dans le cadre du programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA)-Québec mis sur pied en 1998. Les contributions universitaires ont aussi permis de mieux comprendre la dynamique des organismes planctoniques et leur importance pour les mammifères marins. Plusieurs thèses récupérées dans cette revue sont le fruit d'un projet multidisciplinaire lancé en 2013 visant à évaluer la résilience du krill dans l'estuaire (Guilpin, 2020; Cabrol, 2019).

Même si l'écosystème est de mieux en mieux connu, plusieurs publications scientifiques récentes soulignent le manque de connaissances actuel pour prédire efficacement l'effet des changements climatiques. Cela dit, des modèles qui tiennent compte des interactions dans l'écosystème et des variables environnementales ont été créés et améliorés au fil des années. Ces modèles permettent de projeter l'impact des changements climatiques sur les habitats pélagiques. Le rapport de Lavoie et al. (2020) donne un bon exemple de l'information qu'ils peuvent fournir, dont des cartes utiles à la prise de décision. Ces publications laissent croire qu'il serait possible de :

- ❖ Faire appel à la modélisation en partenariat avec le MPO pour répondre à des besoins de connaissances précis dans le PMSSL avec une vision prospective.

Pour l'instant, le suivi des proies dans le PMSSL fait partie du programme de surveillance écologique du parc et permet de mieux comprendre la répartition spatiale et la stratégie d'alimentation des mammifères marins. L'agrandissement du PMSSL a été annoncé en mars 2023. Les nouvelles limites n'ont pas été annoncées, mais un secteur de la Haute-Côte-Nord avait été mis en réserve aux fins d'aires protégées dans le but de conserver des zones d'alimentation des rorquals où se trouvent de fortes concentrations de krill et de poissons-proies (MELCCFP, 2019).

- ❖ L'agrandissement du parc dans ce secteur pourrait justifier que des ressources soient accordées à l'amélioration du suivi des proies et au développement de capacités prévisionnelles.

Aussi, les copépodes ne semblent pas inclus dans ce suivi.

- ❖ L'ajout d'un suivi du mésozooplancton pourrait permettre de mieux prévoir les aires d'alimentation de la baleine noire de l'Atlantique Nord et ainsi d'appliquer des mesures adaptées spatialement.

Certaines initiatives de recherche sur le zooplancton prennent leur origine dans une volonté de développer une pêche commerciale du krill. Un moratoire sur ce type de pêche s'appuyant sur le principe de précaution a cours dans le Saint-Laurent depuis 1997, mais il existe un intérêt d'en explorer la faisabilité (Guilpin, 2020).

- ❖ Le PMSSL gagne à rester à l'affût des décisions concernant les activités de pêche au krill dans le Saint-Laurent.

Pour conclure, les changements climatiques affectent directement les habitats pélagiques et ces changements se propagent dans le reste de l'écosystème du PMSSL notamment à travers la consommation du zooplancton par les organismes de niveaux trophiques supérieurs. Bien que peu claire dans les publications, il semble y avoir une tendance décroissante des stocks de zooplancton. Au-delà de l'abondance, des changements dans la concentration, l'emplacement et la diversité des agrégations se produisent et sont étudiés, mais les capacités à les prévoir sont encore limitées puisqu'ils font intervenir de nombreux processus physiques et biologiques. Les effets directs des changements climatiques impliquent des variables comme la température de l'eau et la floraison des algues toxiques sur lesquelles il n'est pas vraiment possible d'agir à l'échelle du PMSSL. Néanmoins, en prévoyant ces effets et la manière dont ils se propagent dans l'écosystème, il sera plus aisé de mettre en place des mesures efficaces pour réduire l'impact du reste des pressions auxquelles l'écosystème est exposé.

Références Habitats pélagiques

Bénard, R., Levasseur, M., Scarratt, M., Blais, M. A., Mucci, A., Ferreyra, G., ... & Lizotte, M. (2018). Experimental assessment of the sensitivity of an estuarine phytoplankton fall bloom to acidification and warming. *Biogeosciences*, 15(16), 4883-4904.

Benkort, D. (2019). Mécanismes de transport, d'agrégation et de production du krill (*Thysanoessa raschii* et *Meganyctiphanes norvegica*) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Thèse. Québec, Université Laval, 145 p.

Brennan, C. E., Maps, F., Gentleman, W. C., Lavoie, D., Chassé, J., Plourde, S., & Johnson, C. L. (2021). Ocean circulation changes drive shifts in *Calanus* abundance in North Atlantic right whale foraging habitat: a model comparison of cool and warm year scenarios. *Progress in Oceanography*, 197, 102629.

Brennan, C. E., Maps, F., Gentleman, W. C., Plourde, S., Lavoie, D., Chassé, J., ... & Johnson, C. L. (2019). How transport shapes copepod distributions in relation to whale feeding habitat: demonstration of a new modelling framework. *Progress in Oceanography*, 171, 1-21.

Cabrol, J. (2019). Étude écophysiological des espèces dominantes de krill (*Meganyctiphanes norvegica*, *Thysanoessa inermis* et *T. raschii*) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (Doctoral dissertation, Université du Québec à Rimouski).

Cope, L. E., Plourde, S., & Winkler, G. (2021). Seasonal variation of growth and reproduction of the subarctic krill species, *Thysanoessa raschii*, driven by environmental conditions in the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *Journal of Plankton Research*, 43(3), 458-474.

Dionne, S. 2001. (Sous la direction de). Plan de conservation des écosystèmes du parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. Parcs Canada, parc marin du Saguenay-Saint-Laurent 538 p.

Grieve, B. D., Hare, J. A., & Saba, V. S. (2017). Projecting the effects of climate change on *Calanus finmarchicus* distribution within the US Northeast Continental Shelf. *Scientific Reports*, 7(1), 1-12.

Guilpin, Marie (2020). Étude des interactions bioénergétiques entre le rorqual bleu *Balaenoptera musculus* et le krill dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent = Bioenergetic interactions between the blue whale *Balaenoptera musculus* and krill in the Estuary and Gulf of St Lawrence. Thèse. Rimouski, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER), 288 p.

Cabrol, J., Lesage, V., Leclerc, A., Giard, J., Iverson, S., Bérubé, M., ... & Nozais, C. (2021). Individual and population dietary specialization decline in fin whales during a period of ecosystem shift. *Scientific Reports*, 11(1), 17181.

Krumhansl, K. A., Head, E. J., Pepin, P., Plourde, S., Record, N. R., Runge, J. A., & Johnson, C. L. (2018). Environmental drivers of vertical distribution in diapausing *Calanus* copepods in the Northwest Atlantic. *Progress in Oceanography*, 162, 202-222.

Lavoie, D., Chassé, J., Simard, Y., Lambert, N., Galbraith, P. S., Roy, N., & Brickman, D. (2016). Large-scale atmospheric and oceanic control on krill transport into the St. Lawrence estuary evidenced with three-dimensional numerical modelling. *Atmosphere-Ocean*, 54(3), 299-325.

Lavoie, D., Lambert, N., Rousseau, S., Dumas, J., Chassé, J., Long, Z., ... & Azetsu-Scott, K. (2020). *Projections of future physical and biogeochemical conditions in the Gulf of St. Lawrence, on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine*. Fisheries and Oceans Canada= Pêches et Océans Canada.

Lavoie, D., Lambert, N., Starr, M., Chassé, J., Riche, O., Le Clairche, Y., ... & Gilbert, D. (2021). The gulf of St. Lawrence biogeochemical model: A modelling tool for fisheries and ocean management. *Frontiers in Marine Science*, 8, 732269.

McQuinn, I. H., Plourde, S., Pierre, J. F. S., & Dion, M. (2015). Spatial and temporal variations in the abundance, distribution, and aggregation of krill (*Thysanoessa raschii* and *Meganyctiphanes norvegica*) in the lower estuary and Gulf of St. Lawrence. *Progress in Oceanography*, 131, 159-176.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) (2019) Planification Canada-Québec pour l'établissement d'aires marines Projets à l'étude dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent d'ici 2020. *Présentation Powerpoint*. Gouvernement du Québec. https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/aire-marine/documents/seance-information-AMP-2019.pdf (Page consultée le 8 mars 2023).

Melle, W., Runge, J., Head, E., Plourde, S., Castellani, C., Licandro, P., ... & Chust, G. (2014). The North Atlantic Ocean as habitat for *Calanus finmarchicus*: Environmental factors and life history traits. *Progress in Oceanography*, 129, 244-284.

Ollier, A., Chabot, D., Audet, C., & Winkler, G. (2018). Metabolic rates and spontaneous swimming activity of two krill species (Euphausiacea) under different temperature regimes in the St. Lawrence Estuary, Canada. *Journal of Crustacean Biology*, 38(6), 697-706.

Ollier, Angélique (2017). Effet de la température sur les taux métaboliques et l'activité de nage spontanée de deux espèces de krill de l'estuaire du Saint-Laurent, *Meganyctiphanes norvegica* et *Thysanoessa raschii*. Mémoire. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski, 124 p.

Plourde, S., McQuinn, I. H., Maps, F., St-Pierre, J. F., Lavoie, D., & Joly, P. (2014). Daytime depth and thermal habitat of two sympatric krill species in response to surface salinity variability in the Gulf of St Lawrence, eastern Canada. *ICES Journal of Marine Science*, 71(2), 272-281.

Savenkoff, C., Comtois, S., & Chabot, D. (2013). Trophic interactions in the St. Lawrence estuary (Canada): must the blue whale compete for krill?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 129, 136-151.

Savenkoff, C., Gagné, J. A., Gilbert, M., Castonguay, M., Chabot, D., Chassé, J., ... & Starr, M. (2017). Le concept d'approche écosystémique appliqué à l'estuaire maritime du Saint-Laurent (Canada). *Environmental Reviews*, 25(1), 26-96.

Simard, Y., & Roy, N. (2018). Une décennie de suivis acoustiques continus des rorquals bleus, des rorquals communs et du krill dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent de 2007 à 2017. *Le Naturaliste Canadien*, 142(2), 106-114.

Simard, Y., Roy, N., Saucier, F., Gagné, J., & Giard, S. (2008). Saguenay fjord entrance whale feeding ground: Acoustic study of sill dynamics and tidal aggregation of forage fish. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5), 2992-2992.

Sorochan, K. A., Plourde, S., Baumgartner, M. F., & Johnson, C. L. (2021). Availability, supply, and aggregation of prey (*Calanus* spp.) in foraging areas of the North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*). *ICES Journal of Marine Science*, 78(10), 3498-3520.

Sorochan, K. A., Plourde, S., Morse, R., Pepin, P., Runge, J., Thompson, C., & Johnson, C. L. (2019). North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*) and its food:(II) interannual variations in biomass of *Calanus* spp. on western North Atlantic shelves. *Journal of Plankton Research*, 41(5), 687-708.

Boivin-Rioux, A., Starr, M., Chassé, J., Scarratt, M., Perrie, W., Long, Z., & Lavoie, D. (2022). Harmful algae and climate change on the Canadian East Coast: Exploring occurrence predictions of *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica*, and *Pseudo-nitzschia seriata*. *Harmful Algae*, 112, 102183.

Boivin-Rioux A, Starr M, Chassé J, Scarratt M, Perrie W and Long Z (2021) Predicting the Effects of Climate Change on the Occurrence of the Toxic Dinoflagellate *Alexandrium catenella* Along Canada's East Coast. *Front. Mar. Sci.* 7:608021.

Starr, M., Lair, S., Michaud, S., Scarratt, M., Quilliam, M., Lefavre, D., ... & Measures, L. (2017). Multispecies mass mortality of marine fauna linked to a toxic dinoflagellate bloom. *PloS one*, 12(5), e0176299.

Gracia, S., Roy, S., & Starr, M. (2013). Spatial distribution and viability of *Alexandrium tamarense* resting cysts in surface sediments from the St. Lawrence Estuary, Eastern Canada. *Estuarine, coastal and shelf science*, 121, 20-32.

Données utiles

[Zooplankton de la zone côtière du nord de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. - Jeux de données OGSL/SLGO](#)

[Aires de concentration de krill dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent](#)

[Biomasse du zooplankton aux stations du programme de monitoring de la zone atlantique \(PMZA\)- Québec. - Portail du gouvernement ouvert \(canada.ca\)](#)

[Zones de production primaire élevée dans l'estuaire et le golfe du St-Laurent - Aperçu \(arcgis.com\)](#)

3.2. Habitats benthiques

Tableau 10 Aperçu du risque climatique pour les habitats benthiques

Éléments exposés	Risque climatique	Maturité des connaissances	Pistes d'adaptation
Habitats benthiques	<p style="text-align: center;">Élevé</p> <p>Exposition des milieux benthiques à des conditions hypoxiques extrêmes à la tête du chenal laurentien qui s'étendent et s'amplifient avec le réchauffement.</p> <p>Acidification extrême en profondeur observable même en surface. Sensibilité très forte des organismes à coquille ou squelette en calcite</p> <p style="text-align: center;">En hausse</p>	<p>Moyenne</p> <p>L'hypoxie et l'acidification sont étudiées, mais la répercussion concrète pour les organismes n'est pas consolidée à un niveau qui permette des mesures d'adaptation.</p> <p>Les organismes benthiques sont décrits, mais peu suivis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Suivi d'espèces épibenthiques indicatrices, notamment poursuivre le suivi de l'oursin vert ○ Projection des changements au niveau des communautés – invertébrés benthiques et poissons de fond ○ Système de prévision et projections en climat futur des floraisons toxiques ○ Partenariats avec la recherche notamment plateforme d'échanges ○ Recherche sur les contaminants ○ Interdiction de la pêche au chalut de fond

Le chapitre 1 portant sur les aléas liés au climat qui affectent le PMSSL montre que les milieux benthiques sont les premiers touchés par la triple pression de l'hypoxie, de l'acidification, et de la hausse de la température qui ont cours surtout à la tête du chenal laurentien. Puisque les tendances et les projections indiquent que ces pressions pourraient s'intensifier dans le futur, il est pertinent de se demander si la capacité d'adaptation des organismes qui vivent dans les profondeurs de l'estuaire sera suffisante pour assurer la viabilité de leurs populations. Le terme benthique fait référence au fond et peut désigner autant le littoral peuplé d'algues marines que les profondeurs du chenal laurentien. Afin d'examiner en détail les enjeux de l'hypoxie et de l'acidification, la présente section se concentre sur les invertébrés benthiques. Les macroalgues seront abordées dans la section Habitats côtiers afin de souligner l'enjeu de l'érosion. Les poissons de fond, aussi affectés par l'hypoxie et l'acidification, seront abordés dans la section poissons afin de mettre en évidence la pêche commerciale qui a motivé jusqu'à maintenant un plus grand effort de recherche.

Pour ce qui est des habitats benthiques, Beachesne (2020) a évalué que les groupes taxonomiques les plus exposés à l'hypoxie et à l'acidification sont :

- les Cnidaires comme les anémones (ex. : *Actinostola callosa*)
- Les échinodermes, dont les oursins verts (*Strongylocentrotus droebachiensis*) et l'étoile de mer commune (*Asterias rubens*)
- Les mollusques, dont les bivalves (ex. : *Mya arenaria* et *Mytilus edulis*) et les gastéropodes comme le buccin (*Buccinum undatum*)
- Les crustacés comme le crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) et la crevette nordique (*Pandalus borealis*)

Les animaux benthiques font partie de l'alimentation de poissons et de mammifères marins comme le béluga (ex. : polychètes, buccins, crustacés, etc.) (Lesage et al, 2020). De plus, certains organismes

benthiques jouent un rôle écologique de facilitation en créant des conditions de vie qui favorisent l'établissement d'autres espèces (Lemieux, 2015). Par exemple, les moules augmentent l'hétérogénéité du substrat et retiennent le sable, ce qui peut faciliter l'établissement d'animaux fouisseurs comme certains polychètes. Plusieurs mollusques sont récoltés de manière non commerciale dans le PMSSL, hors des zones de préservation intégrale, et dans les périodes autorisées par le MPO. Il se déroule aussi une pêche commerciale manuelle à l'oursin vert jugée compatible avec les objectifs du parc marin et qui correspond à environ 98% des quantités et valeurs des captures prises dans le parc marin annuellement.

3.2.1. Vulnérabilité des habitats benthiques aux changements climatiques

La plupart des animaux ont besoin d'oxygène pour produire de l'énergie et ainsi croître, se reproduire, s'alimenter et tout simplement se maintenir en vie. Les cétacés et les pinnipèdes remontent à la surface pour obtenir leur oxygène, mais de nombreux organismes doivent se contenter de l'oxygène dissous qui est très limité dans les profondeurs de l'estuaire maritime (Savenkoff et al., 2017). On parle généralement d'hypoxie lorsque la concentration en oxygène dissous est plus faible que $61 \mu\text{mol/kg}$ ce qui correspond à 20% de saturation (Greenan et al., 2019). En situation d'hypoxie, la plupart des organismes vivants éprouvent des dérangements physiologiques qui affectent tous les aspects de leur vie (Thomas et al., 2019). Sous une certaine concentration, le manque d'oxygène devient léthal.

Vaquer et Duarte (2008) ont montré que les seuils d'hypoxie varient énormément selon les espèces et que la valeur conventionnelle sous-estime l'effet néfaste de l'hypoxie sur un grand nombre d'organismes. Belley et al. (2010) donnent l'exemple de certains taxons de cnidaires considérés tolérants à l'hypoxie, mais qui se retrouvent sévèrement affectés lorsque la moindre diminution de l'oxygène dissous dépasse leur seuil. L'article de Vaquer et Duarte (2008) ainsi que celui de Diaz et Rosenberg (1995) sont souvent cités comme références à l'échelle mondiale pour la réponse des organismes à l'hypoxie.

La pression de l'hypoxie se combine en profondeur à celle de l'acidification causée par l'augmentation du CO_2 relâché au cours de la respiration des animaux transportés dans le chenal et des bactéries du fond. L'augmentation du CO_2 dissous amène une baisse des concentrations de calcite et d'aragonite, deux composés du CaCO_3 utilisés par certains organismes pour former leur coquille ou leur squelette. L'aragonite, forme la plus soluble, est déjà en sous-saturation dans l'estuaire tandis que la calcite s'approche de la sous-saturation dans plusieurs zones. La plupart des bivalves et des buccins de l'estuaire ont des coquilles de calcite et d'aragonite (Mucci et al., 2018) et sont donc affectés directement par l'acidification. Le corps et les épines des oursins sont normalement composés de calcite de magnésium qui est encore plus soluble que l'aragonite. Les eaux acides ont donc un effet corrosif sur eux (Mucci et al., 2018). La plupart des espèces faisant l'objet de récolte comme l'oursin vert et les bivalves sont surtout récoltés près des côtes à moins de 20 m de profondeur. Ces eaux aussi subissent une acidification provenant des échanges de CO_2 avec l'atmosphère (Mucci et al., 2018). Il a été observé que la mye commune (*Mya arenaria*) augmentait son comportement de fouisseur face à une augmentation du CO_2 dissous et **que l'oursin vert (*Strongylocentrotus droebachiensis*) subissait une baisse de fécondité, de croissance des gonades, de taux d'alimentation, le tout accompagné d'une hausse de la sensibilité à la toxicité des métaux (Mucci et al., 2018).**

L'augmentation de la température de l'eau peut aussi affecter les populations benthiques. Par exemple, les premiers stades de vie du crabe des neiges sont très sensibles à l'augmentation de la température du fond et de la surface (Emond, 2018). Même si les mécanismes d'interaction entre ces pressions ne sont pas encore bien connus, on sait que l'augmentation de la température pourrait amplifier les effets de

l'hypoxie, car elle provoque une augmentation de l'activité métabolique et donc une plus haute demande en oxygène. L'oxygène est aussi moins soluble dans l'eau chaude (Brennan et al., 2016). Les eaux froides de l'estuaire sont peut-être un facteur expliquant pourquoi des organismes ont pu y vivre aussi longtemps dans des conditions d'hypoxie extrêmes. Avec le réchauffement de cette eau, leur avenir est incertain.

Brennan et al., (2016) ont réalisé une revue de littérature pour connaître les intervalles de préférences et les seuils de température, oxygène, salinité, profondeur et pH de 54 espèces de poissons et macroinvertébrés ayant une importance commerciale ou de conservation vivant dans le golfe du Saint-Laurent. Une figure rassemblant les plages et les seuils de températures et d'oxygène dissous pour ces espèces est présentée à l'annexe E. On y retrouve entre autres la crevette nordique, le crabe des neiges, la mye commune et la moule bleue (*Mytilus edulis*), des macroinvertébrés benthiques qui vivent dans le parc marin. Des tableaux détaillés présentant ces informations pour différents stades de vie des espèces étudiés sont aussi disponibles dans l'article de Brennan et al. (2016). Beauchesne a quant à lui évalué la vulnérabilité de plusieurs invertébrés à l'acidification et à l'hypoxie en attribuant un score à certains de leurs traits comme la capacité de se déplacer et la composition de leur coquille. L'effet cumulatif des 18 stressors évalués entre autres pour les invertébrés est montré à l'annexe D.

Les changements climatiques pourraient aussi augmenter la fréquence des floraisons d'algues toxiques comme *Alexandrium catenella* qui peuvent entre autres contaminer les bivalves comme la moule bleue (voir *Autocueillette durable et sécuritaire de moules bleues du Saint-Laurent en collaboration avec les Wolastoqiyik Wahsipekuk* de Lefebvre et al., 2021).

Puisque chaque espèce possède ses propres préférences de température, pH et OD, certaines sont plus adaptées que d'autres aux changements qui se produisent dans le PMSSL. Certains traits font en sorte qu'il est plus facile pour une espèce de faire face aux changements des conditions, par exemple les espèces plus mobiles peuvent se réfugier hors des zones hypoxiques et acides alors que les espèces sédentaires subissent les pressions (Belley 2010). Certaines stratégies métaboliques permettent aussi de mieux tolérer l'hypoxie, par exemple, la capacité d'extraire plus d'oxygène de l'eau ou la possibilité de passer à un métabolisme anaérobie (Thomas et al, 2019).

En résumé, les habitats benthiques sont très sensibles à la diminution de l'oxygène dissous qui est essentiel au maintien de la vie et à l'acidification, qui empêche directement plusieurs espèces de se développer. Plusieurs organismes ont cependant développé une grande variété de stratégies pour s'adapter aux conditions difficiles et peuvent donc tolérer un certain niveau de pression. Si les changements se font graduellement et n'atteignent pas un stade critique, les communautés benthiques changent en faveur des espèces les plus résistantes aux pressions. Toutefois, si les conditions dépassent les limites des organismes ou que les changements sont trop brusques, l'adaptation ne sera pas possible et on pourrait observer une perte de biodiversité (Brennan et al., 2016).

3.2.2. Tendances et projections de l'évolution des habitats benthiques

L'estuaire a connu, il y a plusieurs décennies, une période de perturbations critiques causée par la surpêche par chalutage du fond qui a changé de manière irréversible les communautés benthiques (Moritz et al., 2015). Depuis, la pêche est devenue plus durable et des espèces opportunistes ont colonisé le fond de l'estuaire formant des communautés assez résilientes aux perturbations. Belley et al. (2010) avaient étudié les assemblages macrobenthiques du fond du chenal et concluaient qu'il n'y avait pas de baisse de richesse spécifique entre les zones normoxiques et les zones hypoxiques. Toutefois, la composition des communautés était différente ce qui suggérait des changements ayant favorisé des

espèces plus tolérantes aux conditions hypoxiques. En effet, L'aggravation de l'hypoxie favorise généralement la colonisation par des espèces opportunistes à croissance rapide et de petite taille (Isabel et al., 2021). En d'autres mots, les communautés benthiques de l'estuaire maritime ont évolué de manière à s'adapter aux conditions difficiles. Cela dit, les données analysées dataient de 2006 et 2007 et les conditions ont changé rapidement dans les dernières années avec certaines zones qui s'approchent de l'anoxie. Cette tendance pourrait mener au dépassement des seuils de tolérance de plusieurs organismes et mener à une diminution de la richesse spécifique tel qu'observé ailleurs dans le monde (Savenkoff et al., 2017). Récemment, Audet et al. (2023) ont analysé les sédiments du chenal laurentien pour comprendre les changements dans la biodiversité de foraminifères. Elles et ils observent un déclin de 60 à 65% de la diversité taxonomique de foraminifères depuis les années 60 en faveur de certaines espèces tolérantes à l'hypoxie.

Le MPO effectue un suivi multidisciplinaire annuel par chalutage de l'estuaire maritime et du nord du Golfe dont un des objectifs est d'évaluer la biodiversité des espèces présentes près du fond. Dans le dernier rapport publié (Bourdages et al., 2022), les chercheurs et chercheuses présentent les perspectives historiques de 25 taxons sur les 82 taxons de poissons et 214 taxons d'invertébrés identifiés lors de la mission. La plupart des conclusions du dernier rapport concernent les poissons (voir section 2.2 Poissons), mais une série de figures présente les poids moyens des invertébrés récoltés lors des relevés des vingt dernières années et souligne les anomalies d'abondance. Encore une fois, ce suivi n'inclut pas l'estuaire moyen ni le fjord du Saguenay et ne permet donc pas d'établir un portrait complet de l'évolution des communautés benthiques dans le PMSSL. Les données peuvent toutefois donner quelques pistes sur l'abondance de certaines proies des mammifères marins et un aperçu de la situation dans le chenal.

Pour ce qui est des projections, le milieu académique et le MPO ont développé des modèles permettant de prédire la viabilité des habitats benthiques selon les variables environnementales (voir Lévesque et al., 2010). Moritz et al (2013) ont aussi modélisé la distribution spatiale des communautés épibenthiques dans l'estuaire maritime et le Golfe. Ces travaux ont démontré que des **prédictions spatiales concernant l'évolution des habitats benthiques au fil des changements climatiques seraient réalisables**. Pourtant, peu de publications à cet effet ont été retrouvées durant la revue de littérature.

Brennan et al. (2016) ont évalué le risque climatique auquel sont exposés la morue franche (*Gadus morhua*) et le loup atlantique (*Anarchias lupus*) en conjuguant leur sensibilité à l'hypoxie et à la température aux projections de changements climatiques. **Des prédictions de la sorte pour d'autres espèces clés, dont certains invertébrés benthiques, apporterait une information pertinente à la gestion du parc**. Stortini et al. (2017) ont réalisé un exercice similaire pour l'évolution des populations de crevette nordique, *Pandalus borealis*. Selon les projections de Stortini et al. (2017) les populations de crevettes nordiques du golfe devraient diminuer là où la température dépasse leur limite, mais pourraient augmenter légèrement dans l'estuaire qui bénéficie de températures plus froides. Toutefois, l'effet de la baisse d'OD vient balancer l'augmentation de biomasse en imposant un stress aux femelles. Puisqu'il s'agit d'une espèce très importante pour la pêche commerciale, les stocks de crevettes nordiques sont suivis de près (MPO, 2022) et un rapport détaillé dirigé par Ouranos au sujet de sa vulnérabilité a été publié en 2022 (Noisette, 2022). On y retrouve des projections spatiales des changements de biomasse selon des scénarios de faibles et de fortes émissions pour toute la côte de l'Atlantique Nord, le golfe du Saint-Laurent et l'estuaire.

Encore une fois, la majorité de la littérature se concentre sur l'estuaire maritime, toutefois, il existe une connectivité entre le fjord et l'estuaire qui laisse supposer que les changements observés dans l'estuaire

se répercutent dans le fjord. Par exemple, les crevettes nordiques et les crabes des neiges de l'estuaire et du fjord appartiennent aux mêmes populations (Sévigny et al. 2009).

3.2.3. Maturité des connaissances et pistes d'adaptation

Les recherches sur la vulnérabilité de la crevette nordique et des poissons qui font l'objet de pêche commerciale montrent que s'il y a un intérêt, la science est capable de fournir des prédictions de l'évolution des espèces au fil des changements climatiques. Malgré cela, un écart persiste à l'heure actuelle entre ce que les modèles sont capables de prédire et les informations qui sont produites et intégrées à la gestion. L'état de la situation physique des profondeurs est de mieux en mieux connu, surtout pour le fond du chenal laurentien. Pourtant, Schloss et al. rapportaient en 2017 que la recherche sur l'acidification du Saint-Laurent n'en était qu'à ses débuts. Comme pour les autres thèmes, l'estuaire maritime est beaucoup plus couvert par la recherche et surtout par les suivis du MPO. Les espèces commerciales sont aussi beaucoup mieux étudiées. La maturité des connaissances est jugée moyenne, car on connaît assez bien la diversité d'organismes benthiques qui vit dans le PMSSL. Cette diversité est entre autres mise de l'avant dans les activités de plongée et d'interprétation. Cependant, il y a peu d'information sur l'évolution projetée des habitats benthiques à moins de tenter de tirer des conclusions pertinentes pour le PMSSL à partir des projections pour certaines espèces commerciales suivies dans le nord du golfe. Il reste donc des manques à combler pour assurer le maintien de la diversité et de la santé des habitats benthiques au sein du parc marin.

Le PMSSL ne possède pas encore d'indicateur de la santé des habitats benthiques malgré qu'ils aient été jugés importants à suivre.

- ❖ Isabel et al. (2021) proposent certaines espèces épibenthiques comme indicatrices des changements dans les habitats benthiques. Il s'agit de *Actinostola callosa*, *Actinauge cristata*, *Ctenodiscus crispatus* et *Brisaster fragilis* qui réagissent fortement à l'hypoxie. Un tel indicateur serait utile en périphérie de la zone hypoxique pour surveiller son agrandissement. Audet et al. (2023) proposent aussi des espèces de foraminifères qui pourraient servir d'indicateurs. Ce suivi pourrait être réalisé avec des acteurs et actrices sur le terrain, par exemple les pêcheurs et pêcheuses.
- ❖ Il y aurait éventuellement la possibilité de modéliser les assemblages d'invertébrés benthiques et de poissons de fond à l'échelle des communautés en incluant les relations entre les espèces dans les projections. Des outils s'inscrivant dans cette démarche commencent à se développer. Les travaux de O'Brien et al. (2022) dont le but est d'appuyer la gestion des aires marines protégées dans la région du plateau néo-écossais constituent un bon exemple des retombées possible de ce type d'information.

Le PMSSL est déjà en train d'intégrer le suivi des stocks d'oursins vert dans un contexte de pêche commerciale à ses indicateurs. Ce suivi permettra de s'assurer que la pratique de l'activité reste compatible avec les objectifs du parc et pourra agir comme premier détecteur de changements dans les habitats benthiques côtiers.

Plusieurs recherches ont vu le jour dans le PMSSL sur une autre perturbation des habitats benthiques : l'augmentation des contaminants d'origine anthropique (par exemple Gagné et al., 2022, qui concerne la mye commune), notamment dans le Fjord du Saguenay qui abrite des communautés côtières très développées et connaît un transport maritime fréquent. En plus d'affecter directement les populations d'invertébrés du fond, la contamination peut aussi représenter un risque pour les populations humaines

et les mammifères marins qui les consomment. Face à la pression des changements climatiques sur laquelle il est peu possible d'agir, il est important de réduire les pressions sur lesquelles l'humain a un certain contrôle. En ce sens, il sera pertinent pour le parc marin de :

- ❖ Continuer à soutenir la recherche au sujet l'effet de l'augmentation des contaminants dans l'eau sur les espèces benthiques.

Au sujet des floraisons d'algues toxiques qui peuvent entre autres affecter les mollusques récoltés par l'humain, un suivi mené par le MPO est déjà intégré aux indicateurs du PMSSL. Toutefois, à ma connaissance, il n'y a pas encore de mesures en place qui permette de les prévoir. Dans cet ordre d'idée, Lefebvre et al. (2021) recommandent :

- ❖ La mise en place d'un système de prévision des floraisons d'algues toxiques. Lefebvre et al. (2021) donnent l'exemple de travaux dans le Maine pour mettre en place un suivi des kystes d'*Alexandrium catenella* à l'automne, ce qui permet de prévoir les floraisons estivales. De leur côté, Durier et al. (2022) ont testé la valvométrie, c'est-à-dire l'observation des changements de comportements des bivalves, pour développer un système d'alerte de la présence d'algues toxiques.

Une autre pression anthropique, bien que localisée, s'ajoute à la gamme de stressors auxquels sont exposés les habitats benthiques : une pêche au chalut de fond est pratiquée dans les limites du parc depuis quelques années grâce à un permis de longue date (SNAP, 2021). Il s'agit d'un enjeu actuel pressant, jugé incompatible avec les objectifs du PMSSL. Dans un contexte d'incertitude sur l'évolution de la santé des habitats benthiques face aux changements globaux et considérant qu'il s'agit d'une activité proscrite par la norme pancanadienne dans toute nouvelle aire marine protégée, Pêches et Océans Canada devrait :

- ❖ Interdire la pêche au chalut de fond dans le PMSSL

Pour finir, plusieurs laboratoires de recherche s'intéressent aux habitats benthiques de l'estuaire et du fjord, notamment celui de Philippe Archambault à l'Université Laval. De plus, une initiative de recherche dirigée par Piero Calosi de l'UQAR appelée *Vivre sans souffle ? Caractérisation des communautés d'invertébrés marins benthiques dans un estuaire du Saint-Laurent en plein changement* est en cours et pourrait apporter des réponses récentes à certains enjeux.

- ❖ Le parc marin gagne à rester à l'affût des publications produites par les milieux académiques et à poursuivre le développement de ses partenariats avec les universités et groupes de recherche. Une plateforme d'échange comme le comité scientifique qui pourrait être relancé prochainement serait bénéfique.

Références Habitats benthiques

Audet, T., de Vernal, A., Mucci, A., Seidenkrantz, M. S., Hillaire-Marcel, C., Carnero-Bravo, V., & Gélinas, Y. (2023). Benthic Foraminiferal Assemblages from the Laurentian Channel in the Lower Estuary and Gulf of ST. Lawrence, Eastern Canada: Tracers of Bottom-Water Hypoxia. *Journal of Foraminiferal Research*, 53(1), 57-77.

- Belley, R., Archambault, P., Sundby, B., Gilbert, F., & Gagnon, J. M. (2010). Effects of hypoxia on benthic macrofauna and bioturbation in the Estuary and Gulf of St. Lawrence, Canada. *Continental Shelf Research*, 30(12), 1302-1313.
- Bourdages, H., Brassard, C., Chamberland, J.-M., Desgagnés, M., Galbraith, P., Isabel, L. and Senay, C. (2022). Preliminary results from the ecosystemic survey in August 2021 in the Estuary and northern Gulf of St. Lawrence. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/011. iv + 95 p. Thomas, Y., Flye-Sainte-Marie.
- Brennan, C. E., Blanchard, H., & Fennel, K. (2016). Putting temperature and oxygen thresholds of marine animals in context of environmental change: a regional perspective for the Scotian Shelf and Gulf of St. Lawrence. *PLoS One*, 11(12).
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (1995). Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and marine biology. An annual review*, 33(245), 03.
- Durier, G., Nadalini, J. B., Comeau, L., Starr, M., Michaud, S., Tran, D., ... & Tremblay, R. (2022). Use of valvometry as an alert tool to signal the presence of toxic algae *Alexandrium catenella* by *Mytilus edulis*. *Frontiers in Marine Science*, 9.
- Emond, K. (2018). Phénologie et dynamique de population des crustacés décapodes : effets de facteurs biotiques et climatiques sur le recrutement du crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*). Thèse. Rimouski, Université du Québec à Rimouski, Département de biologie, chimie et géographie, 251 p.
- Gagné, F., André, C., Turgeon, S., & Ménard, N. (2022). Spatio-Temporal Variation of Elemental Contamination and Health of *Mya arenaria* Clam in the Saguenay–St. Lawrence Marine Park. *Applied Sciences*, 12(3), 1106.
- Isabel, L., Beauchesne, D., McKindsey, C., & Archambault, P. (2021). Detection of Ecological Thresholds and Selection of Indicator Taxa for Epibenthic Communities Exposed to Multiple Pressures. *Frontiers in Marine Science*, 1474.
- J., Chabot, D., Aguirre-Velarde, A., Marques, G. M., & Pecquerie, L. (2019). Effects of hypoxia on metabolic functions in marine organisms: Observed patterns and modelling assumptions within the context of Dynamic Energy Budget (DEB) theory. *Journal of Sea Research*, 143, 231-242.
- Joseph, L., & Cusson, M. (2015). Resistance of benthic intertidal communities to multiple disturbances and stresses. *Marine Ecology Progress Series*, 534, 49-64.
- Lefebvre, M. C., Archambault, P., Truchon-Savard, A., Weiner, G. P., Grant, C., Hennigs, R., ... & Lemire, M. (2021). Autocueillette durable et sécuritaire de moules bleues du Saint-Laurent en collaboration avec les Wolastoqiyik Wahsipekuk (Québec, Canada). *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 21(1).
- Lemieux, J. (2015). *Analyse du rôle des composantes de la diversité sur le fonctionnement des écosystèmes marins benthiques intertidaux* (Université du Québec à Chicoutimi).
- Lesage, V., Lair, S., Turgeon, S., & Béland, P. (2020). Diet of St. Lawrence Estuary Beluga (*Delphinapterus leucas*) in a changing ecosystem. *The Canadian Field-Naturalist*, 134(1), 21-35.
- Lévesque, M., Archambault, P., McKindsey, C. W., Vaz, S., & Archambault, D. (2010). Predictive benthic habitat suitability model for the Estuary and the northern Gulf of St. Lawrence. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 2893.

- Moritz, C., Lévesque, M., Gravel, D., Vaz, S., Archambault, D., & Archambault, P. (2013). Modelling spatial distribution of epibenthic communities in the Gulf of St. Lawrence (Canada). *Journal of Sea Research*, 78, 75-84.
- Mucci, A., Levasseur, M., Gratton, Y., Martias, C., Scarratt, M., Gilbert, D., ... & Lansard, B. (2018). Tidally induced variations of pH at the head of the Laurentian Channel. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75(7), 1128-1141.
- Noisette, F., Alberio, A., Calosi, P., Barria, A., Boissonneault, M., Chemel, M., Grech, E., Soubirou, M. (2022) Vulnérabilité des populations de crevette nordique (*Pandalus borealis*) aux changements climatiques et globaux le long de la côte Est du Canada : de la ressource naturelle aux communautés côtières. Ouranos, 174 p.
- O'Brien, J. M., Stanley, R. R., Jeffery, N. W., Heaslip, S. G., DiBacco, C., & Wang, Z. (2022). Modeling demersal fish and benthic invertebrate assemblages in support of marine conservation planning. *Ecological Applications*, 32(3),
- Pêches et Océans Canada (MPO) (2022) Assessment of northern shrimp stocks in the estuary and gulf of St. Lawrence in 2021. Pêches et Océans Canada, 24 p.
- Schloss, I. R., Archambault, P., Beauchesne, D., Cusson, M., Ferreyra, G., Levasseur, M., ... & Tremblay, R. (2017). Cumulative potential impacts of the stress factors associated with human activities on the St. Lawrence marine ecosystem. *Hydrocarbon in the Gulf of St. Lawrence-Social, Economic and Environmental Issues*, eds P. Archambault, IR Schloss, C. Grant, and S. Plante (Rimouski, QC: Notre Golfe), p. 133-165.
- Sévigny, J. M., Valentin, A., Talbot, A., & Ménard, N. (2009). Connectivité entre les populations du fjord du Saguenay et celles du golfe du Saint-Laurent. *Revue des sciences de l'eau*, 22(2), 315-339.
- Société pour la nature et les parcs du Canada (SNAP) (2021) Évaluation des aires marines protégées au Canada. SNAP 100 p.
- Stortini, C. H., Chabot, D., & Shackell, N. L. (2017). Marine species in ambient low-oxygen regions subject to double jeopardy impacts of climate change. *Global change biology*, 23(6), 2284-2296.
- Thomas, Y., Flye-Sainte-Marie, J., Chabot, D., Aguirre-Velarde, A., Marques, G. M., & Pecquerie, L. (2019). Effects of hypoxia on metabolic functions in marine organisms: Observed patterns and modelling assumptions within the context of Dynamic Energy Budget (DEB) theory. *Journal of Sea Research*, 143, 231-242.
- Vaquer-Sunyer, R., & Duarte, C. M. (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(40), 15452-15457.

3.3. Habitats côtiers

Tableau 11 Aperçu du risque climatique pour les habitats côtiers

Éléments exposés	Risque climatique	Maturité des connaissances	Pistes d'adaptation
Habitats côtiers	<p>Moyen (à déterminer)</p> <p>Érosion localisée. Falaise meuble sensible</p> <p>Hausse modérée du niveau de la mer</p> <p>Données non disponibles pour évaluer l'exposition au coincement côtier des écosystèmes.</p> <p>Hausse</p>	<p>Moyenne</p> <p>Faiblesse pour le fjord</p> <p>Bonnes connaissances dans l'estuaire, mais éparpillées et difficiles d'accès</p> <p>Indicateur de suivi en développement dans le PMSSL</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rassembler les informations déjà disponibles pour avoir un portrait de la vulnérabilité des milieux côtiers ○ Comblent le manque de données de base sur le fjord ○ Continuer de développer un suivi des habitats côtiers à travers des partenariats ○ Réaliser des études sur l'évolution projetée des milieux côtiers (ex. : portraits-diagnostics)

Les écosystèmes côtiers jouent un rôle important dans le parc marin Saguenay-Saint-Laurent. D'abord, ils procurent des habitats pour la faune et sont des sites de reproduction pour certaines espèces. Les macroalgues sont d'importants contributeurs de la production primaire des écosystèmes et fournissent une structure créatrice d'habitats où peuvent se développer les invertébrés et les poissons (Tamigneaux et Johnson, 2016). Ces habitats profitent aussi aux prédateurs comme les oiseaux marins et migrateurs qui trouvent en zone côtière une abondance de ressources. Plusieurs habitats côtiers dans le PMSSL ont d'ailleurs été identifiés comme des Zones importantes pour la conservation des oiseaux (ZICO). Les écosystèmes côtiers procurent aussi d'importants services aux humains. Notamment, ils peuvent protéger les côtes de l'érosion en atténuant la force des vagues et en retenant les sédiments (Barbier et al., 2011). La zone côtière est aussi visitée par l'humain, par exemple lors de la récolte des bivalves et la pêche commerciale à l'oursin. De plus, il s'agit d'un élément valorisé des paysages qui contribue à l'attrait touristique des milieux naturels.

Toutefois, les habitats côtiers sont menacés par les aléas liés aux changements climatiques, surtout la hausse du niveau de la mer et la modification du régime des vagues et des tempêtes qui risquent d'accélérer l'érosion et la submersion de certains secteurs. La migration des écosystèmes côtiers vers les terres est souvent freinée par un obstacle naturel ou anthropique, ce qui mène à leur disparition à mesure que le niveau de la mer augmente. En ce sens, il peut être pertinent d'évaluer la vulnérabilité des habitats côtiers au phénomène de coincement côtier. Bien entendu, les milieux côtiers sont aussi exposés aux aléas d'augmentation de la température et de diminution du couvert de glace. On pourrait aussi ajouter l'augmentation des pathogènes, l'eutrophisation, les floraisons d'algues toxiques, le ruissellement et la sédimentation. Toutefois, les contraintes de temps pour la réalisation de la revue de littérature obligent à concentrer les efforts de recherche et à prioriser les enjeux de coincement côtier et d'érosion. Les autres menaces pourront être évaluées ultérieurement.

D'ailleurs, un suivi des habitats côtiers est en cours de développement dans le cadre du programme de surveillance du PMSSL. Quelques descriptions existent des milieux côtiers, entre autres celles présentées

dans le plan de conservation du parc (voir Dionne, 2001). Cela dit, le fjord est moins bien documenté dans ces sources qui commencent à dater (voir aussi le document à l'interne *Portrait des zones herbacées du Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent* de Gilbert, 2004).

Plus récemment, à l'échelle du Saint-Laurent, les travaux du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) peuvent servir de base de connaissances pour la caractérisation des zones côtières. Le projet *Résilience côtière* de ce laboratoire constitue une référence complète pour la prise en compte des changements climatiques dans la gestion des zones côtières (voir Fraser et al., 2021).

Une plateforme cartographique, SIGEC WEB, rassemble les nombreuses données produites au cours de ce projet. Quelques jeux de données sont offerts librement, mais pour l'instant, une large partie des données demeure à l'usage exclusif des municipalités, des MRC et des communautés autochtones. Il pourrait être pertinent pour le PMSL de discuter une entente de partage de données avec le LDGIZC. En effet, le projet *Résilience côtière* donne une bonne idée des capacités actuelles de la science à répondre à des enjeux de gestion en zone côtière.

Pour cette raison, le projet sera discuté en détail dans la présente section afin de faire ressortir quelles informations concernant la vulnérabilité des habitats côtiers et la projection de leur évolution existent déjà pour le parc marin et quelles informations seraient pertinentes à obtenir pour assurer l'adaptation des habitats côtiers du parc. La figure 28 présente les 12 chantiers du projet *Résilience côtière* dont les plus pertinents seront mis en relation avec le parc marin dans la présente section.

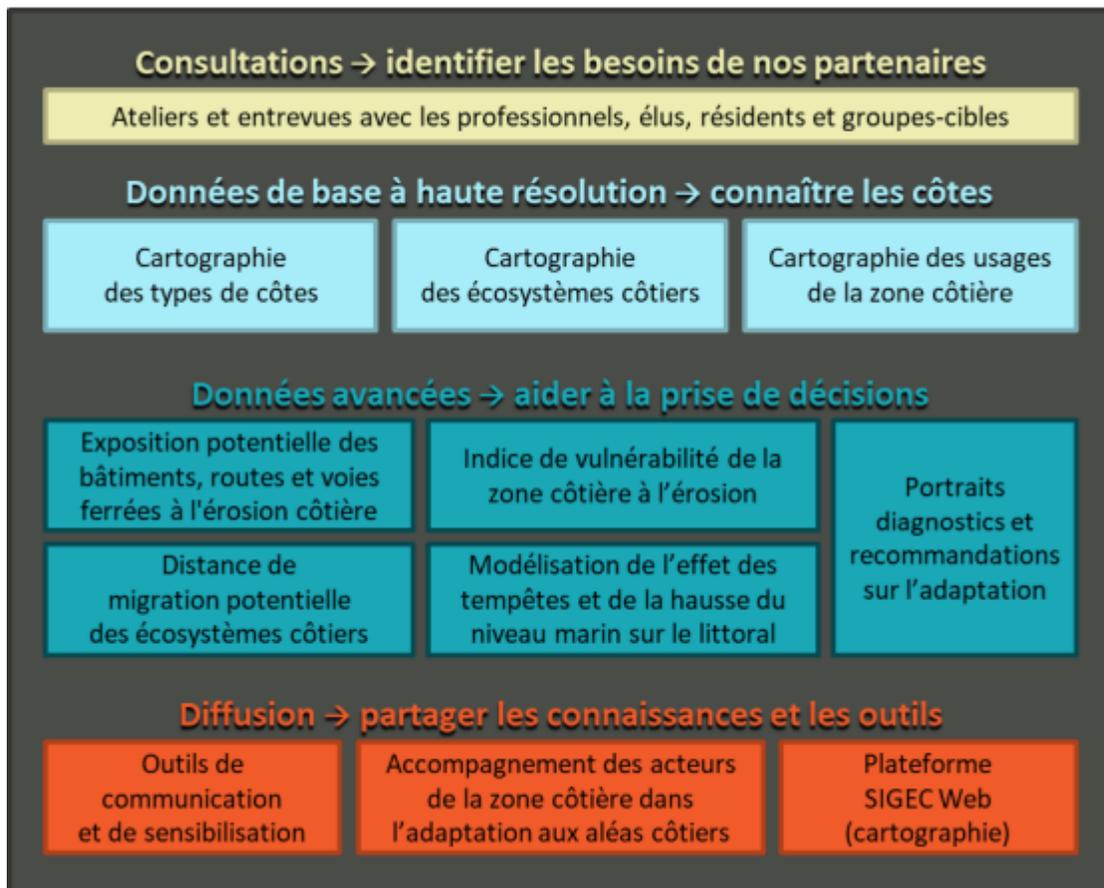


Figure 28 Schéma des 12 chantiers du projet Résilience côtière du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières.

Source : Fraser et al. (2021)

Le projet ne concerne que le Québec maritime et le fjord du Saguenay n'est donc inclus dans aucun des chantiers. Cela dit, les résultats publiés pour l'estuaire maritime et l'estuaire moyen donnent une idée de ce qui pourrait être entrepris pour combler les lacunes de connaissances dans le fjord.

Pour commencer, la cartographie des types de côtes et des écosystèmes côtiers a été réalisée pour tout le Saint-Laurent et est donc disponible dans le PMSSL pour l'estuaire maritime et l'estuaire moyen. Ces données sont disponibles sur le géoportail SIGEC WEB. La figure 29 donne un exemple de cartographie des écosystèmes côtiers présenté dans le rapport de synthèse du projet *Résilience côtière* (Fraser et al., 2021).

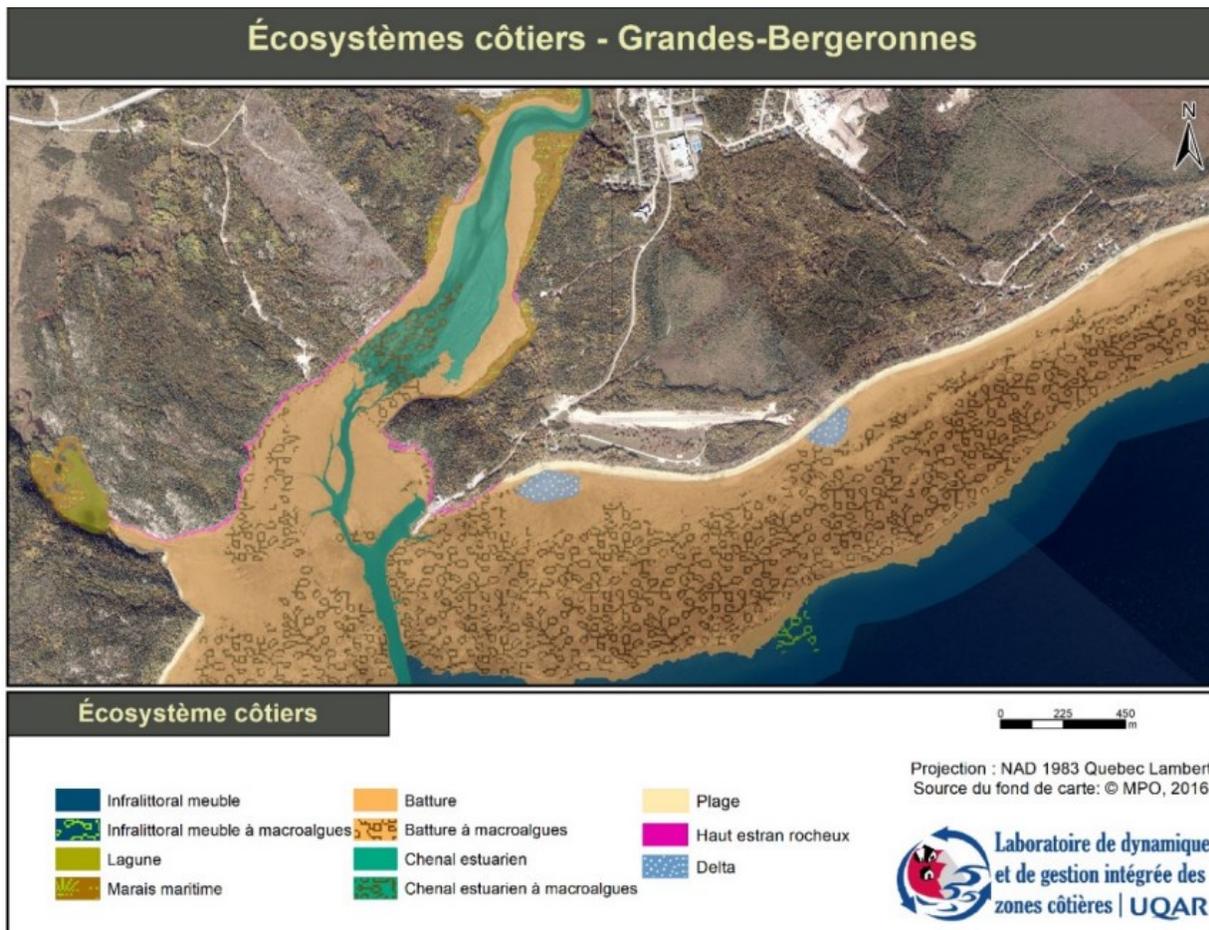


Figure 29 Écosystèmes de l'embouchure de la rivière Grandes-Bergeronnes, Côte-Nord.

Source : Fraser et al. (2021)

Des fiches décrivant les grands types d'écosystèmes sont aussi disponibles [sur le site internet du laboratoire](#). De plus, le géoportail offre une grande quantité de photos aériennes géoréférencées de toute la côte maritime du PMSSL pour différentes années ainsi que des photos du substrat à plusieurs sites du littoral (la figure 30 en présente un exemple).



Figure 30 Exemple de photographies de la côte et du substrat disponibles sur la plateforme SIGEC Web pour la région du PMSSL dans le secteur de Pointe aux vaches.

Source : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, 2021 & Pêches et Océans Canada, 2021 (Récupéré sur SIGEC Web)

Ces données de base constituent une caractérisation brute des zones côtières qui permet de cibler des zones sensibles à la submersion, d'évaluer l'artificialisation de la côte et de produire de données plus avancées (Fraser et al., 2021). Une caractérisation plus fine peut être réalisée pour supporter des mesures plus ciblées. Les comités ZIP ont développé une grande expertise à ce sujet. Par exemple, le comité ZIP de la Rive Nord de l'Estuaire a réalisé une caractérisation exhaustive d'habitats littoraux d'importance sur son territoire. Un des sites caractérisés, les marais de Les Bergeronnes, a une zone d'étude connexe aux limites du PMSSL (voir Desrochers et al., 2022). D'autres exemples proviennent du comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, qui a mené de nombreux projets comme la caractérisation écologique et la restauration d'habitats à la Pointe-aux-Anglais au Bic (voir Bachand et al., 2021) et l'atténuation des impacts du coincement côtier par la restauration d'un marais côtier endigué à Saint-André-de-Kamouraska (voir Truchon et al., 2021). De son côté, le comité ZIP Saguenay-Charlevoix a réalisé récemment une étude sur l'état des rives du Moyen-Saguenay dans un contexte de protection des frayères d'éperlan arc-en-ciel (Comité ZIP Saguenay-Charlevoix, 2020). La zone à l'étude se situe plus en amont que les limites du PMSSL, mais le rapport de projet donne une bonne idée de la manière dont une étude similaire dans le parc marin pourrait appuyer la prise de décisions concernant l'adaptation des habitats côtiers aux changements climatiques.

Une étude de caractérisation du banc de laminaires de la Batture-aux-Alouettes, à l'intérieur du PMSSL, près de Baie Sainte-Catherine, un secteur important pour la pêche à l'oursin vert, a été réalisée par Pêches et Océans Canada en 2018-2019. Le MPO a aussi publié des données de biodiversité (2017-2021) d'un relevé côtier effectué dans le cadre de la Planification pour une intervention environnementale intégrée dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Les occurrences de 150 taxons ont été identifiées à partir d'images sous-marines (voir figure 30) et ont servi à valider la cartographie des zones côtières.

La zone côtière est aussi un lieu où se pratiquent de nombreuses activités. Le volet *cartographie des usages et des sites d'intérêt côtiers du Québec maritime* du projet *Résilience côtière* du LDGIZC a produit des données pour l'ensemble du Québec maritime. Une cartographie participative a aussi été réalisée avec trois communautés innues et donne un exemple de projet qui peut favoriser la valorisation des savoirs locaux et autochtones et les activités culturelles.

En résumé, on peut dès cette section comprendre qu'il existe de nombreuses données sur la zone côtière à l'échelle du Québec maritime, mais que ces informations ne sont pas encore complètement consolidées dans le PMSSL à un niveau suffisant pour appuyer les décisions. De plus, le fjord n'est pas couvert dans les travaux à large échelle. Les sections qui suivent montrent que des données plus avancées peuvent être produites et que les connaissances sont beaucoup plus matures pour des sites hors du PMSSL.

3.3.1. Vulnérabilité des habitats côtiers aux changements climatiques

Les côtes du parc marin sont sensibles aux aléas d'érosion puisqu'elles sont en grande partie des falaises meubles (voir les tendances d'érosion dans la section *Aléas liés aux changements climatiques*). Pour ce qui est des écosystèmes côtiers de la portion estuaire du PMSSL, il s'agit selon SIGEC WEB de battures, de battures à macroalgues, de bas estran rocheux et meuble à macroalgues. Les limites du parc marin connectent le marais maritime des Grandes-Bergeronne. La végétation de la batture aux Alouettes fournit un habitat important qui favorise une grande biomasse de proies pour les mammifères et les oiseaux. Des données plus avancées seront nécessaires pour évaluer la vulnérabilité de ces sites. Les chantiers scientifiques du projet Résilience côtière donnent de bons exemples d'études qu'il serait possible de réaliser pour combler ce manque.

Pour évaluer la vulnérabilité des habitats côtiers au coincement côtier et à la disparition ou la diminution de la biodiversité, l'évaluation de la migration potentielle des écosystèmes côtiers peut apporter plusieurs réponses. En effet, la migration vers les terres est une capacité d'adaptation intrinsèque des écosystèmes côtiers et les facteurs qui bloquent cette adaptation comme une structure humaine ou naturelle augmentent la vulnérabilité. De plus, lorsque la migration d'un marais est bloquée, non seulement le marais peut perdre de la surface totale, mais aussi, son couvert végétal peut changer au fil des changements d'exposition à la submersion et à la salinité. En effet, la partie inférieure d'un marais (le schorre inférieur) prend peu à peu le dessus sur la partie supérieure (le schorre supérieur) à mesure que l'eau monte. Puisque le schorre supérieur contient une plus grande biodiversité que le schorre inférieur qui est généralement mono-espèce au Québec, le remplacement du schorre supérieur par l'inférieur, peut résulter en une perte de biodiversité (Fraser et al., 2021). De ce fait, les secteurs qui ont une faible distance de migration potentielle seront plus à risque de disparaître ou de se dégrader. Les données de distance de migration potentielles dans le parc marin ne sont disponibles que pour la partie incluse dans la MRC de la Haute-Côte-Nord, c'est-à-dire en aval de Tadoussac. Dans l'estuaire moyen, seule la MRC de Kamouraska est couverte. Il manquerait donc des données pour la rive nord de l'estuaire moyen c'est-à-dire dans la MRC de Charlevoix-Est ainsi que dans le fjord. Les travaux de ce chantier scientifique du projet Résilience côtière sont en quelque sorte une mise à jour du projet *Impacts des changements climatiques et des contraintes physiques sur le réajustement des écosystèmes côtiers (coastal squeeze) du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent (GESL) et évaluation des mesures d'atténuation de ces impacts* (voir Bernatchez et al., 2016) qui avait donné lieu à la publication d'un article scientifique (voir Bernatchez et Quintin, 2016). Les données de migration potentielles devraient être plus à jour sur SIGEC Web, mais il pourrait être intéressant d'explorer les données de Bernatchez et al. (2016) puisque la migration avait été mise en relation avec les projections d'érosion et de submersion pour construire un indice de la sensibilité présente et future des écosystèmes côtiers. Dans le rapport du projet, seuls quelques sites hors du PMSSL sont discutés plus en détail et les cartes régionales ne sont pas assez claires pour tirer des conclusions locales.

Un indice de vulnérabilité a aussi été développé par le LDGIZC et appliqué à 8 sites hors du PMSSL, mais il concerne surtout la vulnérabilité des enjeux humains même si quelques paramètres écosystémiques sont considérés (Fraser et al., 2021).

En résumé, la côte est sensible à l'érosion et à plusieurs endroits les falaises empêchent les écosystèmes de migrer vers les terres. Les habitats côtiers du PMSSL sont d'importantes zones d'alimentation, d'alevinage, de nourricerie, de halte migratoire et de refuge. Cela dit, la recherche sur les habitats côtiers du parc marin devra être poursuivie avant de pouvoir tirer de véritables conclusions sur sa vulnérabilité. La portion fjord devra faire l'objet d'une acquisition de données plus importantes pour combler les manques.

3.3.2. Tendances et projections de l'évolution des habitats côtiers

Puisque les données de base de caractérisation des habitats côtiers ne sont pas encore consolidées pour l'ensemble du PMSSL, la projection de son évolution n'est pas encore disponible. La tendance de l'érosion côtière et sa projection en conditions futures ont été abordées dans le chapitre *Aléas liés aux changements climatiques*, mais la tendance des changements dans les écosystèmes côtiers n'est pas documentée pour le PMSSL. Des données avancées qui procurent des capacités prévisionnelles ont été produites pour certains sites dans le cadre du projet *Résilience côtière* ce qui offre un aperçu du type d'information que les capacités scientifiques actuelles sont capables de produire pour guider les décisions.

Par exemple, le LDGIZC a modélisé l'effet des tempêtes actuelles et futures sur les côtes basses meubles de quatre sites (hors du PMSSL) particulièrement touchés par les tempêtes dans le passé. Une autre application de la modélisation est la prévision de l'effet de la hausse du niveau de la mer sur les marais maritimes. Ce chantier a été réalisé pour 8 marais maritimes du Québec maritime, le plus proche du PMSSL se trouvant à Kamouraska. Grâce à ces études, les scientifiques sont en mesure de cartographier la variation potentielle de la surface des marais et la proportion changeante de schorre inférieure et supérieure, indicatrice de changements dans la biodiversité. **Ce type d'étude amène une information utile pour la prise de décision, car elle permet d'estimer l'ampleur de la perte de biodiversité côtière anticipée et peut motiver la mise en place de mesures d'adaptation, par exemple le recul des infrastructures humaines pour offrir aux marais une distance de migration vers les terres.**

Pour la composante humaine des habitats côtiers, l'exposition potentielle des bâtiments, routes et voies ferrées à l'érosion côtière a été évaluée pour tout le Québec maritime en comparant la distance entre les structures et la côte, la vitesse de déplacement de la côte et le recul événementiel, c'est-à-dire le recul maximal possible lors d'un seul événement selon le type de côte (Fraser et al., 2021). À partir de ces résultats, il est possible de prédire vers quelle année l'infrastructure sera potentiellement exposée à l'érosion. Ces données existent dans SIGEC Web, mais ne sont pas partagées librement.

Pour finir, le LDGIZC a produit 16 portraits-diagnostic pour des sites prioritaires hors du PMSSL, le plus proche étant à Trois-Pistoles. Ces portraits rassemblent tous les facteurs importants pour appuyer le choix des solutions d'adaptation. Puisque l'expertise du parc marin est moins développée pour les habitats côtiers que pour les autres composantes de son territoire (ex. : mammifères marins), des portraits clé en main tels que ceux fournis aux municipalités et aux MRC permettraient de traduire rapidement l'information scientifique en actions concrètes de conservation tout en permettant au PMSSL de mettre ses efforts de recherche sur d'autres composantes. Cela dit, le développement d'une expertise interne appuyée par des partenariats est une option tout aussi avantageuse. En effet, le programme de

surveillance écologique du parc marin permet d'assurer la permanence des suivis et ainsi de pouvoir observer la tendance des indicateurs sur le long terme.

3.3.3. Maturité des connaissances et pistes d'adaptation

L'appréciation des capacités actuelles d'analyse des zones côtières a permis de constater les lacunes de connaissances pour la région du PMSSL. On pourrait estimer que la maturité des connaissances sur cette composante est faible du fait que les données qui couvrent le parc marin ne sont pas encore intégrées à sa planification et considérant que le fjord n'est pas couvert dans la majorité des études. Cela dit, de nombreux outils et données sont disponibles et permettraient de combler l'écart des connaissances à court terme.

- ❖ D'abord, les données déjà disponibles dans l'estuaire pourraient être consolidées pour fournir un aperçu de la situation actuelle des écosystèmes côtiers du parc marin et appuyer le développement d'un indicateur de l'état des habitats côtiers dans le programme de surveillance écologique.
- ❖ Ensuite, des données plus avancées pourraient être produites pour prédire l'évolution des habitats côtiers au fil des changements climatiques et des aléas qu'ils apportent. En parallèle, des projets d'acquisition de données dans le fjord pourraient être mis en place pour combler l'écart avec l'estuaire.

Une fois le portrait de la situation clarifié, l'analyse des enjeux côtiers pourrait aller jusqu'à une analyse coûts-avantages des options d'adaptation qui intègre des facteurs socio-économiques. Ouranos a réalisé plusieurs études de ce type qui peuvent servir de sources d'inspiration (voir Boyer-Villemaire et al., 2016)

Un autre exemple de démarche provient du parc national Forillon qui est reconnu pour le succès de sa prise en compte de l'aléa d'érosion (voir Sigouin, 2021). Ses projets de restauration ont été réalisés en partenariat avec le LDGIZC de l'UQAR, ce qui a permis de mettre en place des mesures d'adaptation basées sur la compréhension scientifique de la dynamique côtière.

Le cas du PMSSL offre de nombreuses opportunités de collaboration, entre autres avec les comités ZIP qui agissent sur son territoire, le parc national du Fjord-du Saguenay qui partage ses limites en zone littorale du fjord et les communautés autochtones qui habitent dans l'aire de coordination du parc marin et qui y pratiquent des activités. Sachant qu'à travers sa cogestion, la collaboration et la concertation sont des forces du parc marin Saguenay-Saint-Laurent, la conservation de ses habitats côtiers a le potentiel de devenir un exemple d'adaptation aux changements climatiques. De plus, si le parc est agrandi jusqu'à la rive sud de l'estuaire, il faudrait que ce volet soit développé davantage, en partenariat avec les acteurs t actrices de la zone côtière déjà présents, puisque cette rive abrite de nombreux marais maritimes riches en biodiversité.

Références Habitats côtiers

Bachand, É., P. Bois, J.-É Joubert, S. Veilleux et F. Truchon. (2021). Caractérisation écologique et restauration d'habitat à la Pointe-aux-Anglais, Bic. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire. 63 p. + annexes.

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological monographs*, 81(2), 169-193.

Bernatchez, P., & Quintin, C. (2016). Potentiel de migration des écosystèmes côtiers meubles québécois de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dans le contexte de la hausse appréhendée du niveau de la mer. *Le Naturaliste canadien*, 140(2), 91-104.

Bernatchez, P., Jolicoeur, S., Quintin, C., Savard, J.-P., Corriveau, M., O'Carroll, S., Bérubé, D., Garneau, M., Chmura, G.L., Nguyen-Quang, T., Lieou, C.K., Torio, D., Van Ardenne, L., Sammari, H., St-Pierre, M. 2016. Impacts des changements climatiques et des contraintes physiques sur le réajustement des écosystèmes côtiers (coastal squeeze) du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent (GESL) et évaluation des mesures d'atténuation de ces impacts. Rapport de recherche remis à Ouranos et Ressources naturelles Canada, mars 2016, 189 p. + annexe.

Boyer-Villemare, U., Circé, M., Da Silva, L., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2016) Rapport synthèse de l'analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière au Québec et dans les provinces atlantiques. Ouranos. 36 p. et annexes.

Comité ZIP Saguenay-Charlevoix (2020) Programme de restauration des écosystèmes côtiers du Saguenay, rives et marais intertidaux - Étude de l'état des rives du Moyen-Saguenay, Comité de la Zone d'intervention prioritaire (ZIP) Saguenay-Charlevoix, Ville de Saguenay, 59p. et annexes.

Desrochers, V., Maltais, M.K., Saint-Marc, C. et Morissette, A. (2022). Rapport de caractérisation : Les marais de Les Bergeronnes. Comité ZIP de la Rive Nord de l'Estuaire. BaieComeau, Québec. 134p. + Annexes.

Fraser C., Drejza, S., Marie, G. et Bernatchez, P. (2021) Projet Résilience côtière : développement d'outils d'adaptation à l'érosion côtière pour les municipalités du Québec maritime. Rapport de Synthèse. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au MELCC, décembre 2021, 106 p.

Sigouin, D. 2021. Cap-des-Rosiers Natural Dynamics Restoration and Coastal Ecosystem Enhancement. Final Report. Conservation and Restoration Program. Forillon National Park. 33 p.

Tamigneaux, É., & Johnson, L. E. (2016). Les macroalgues du Saint-Laurent: une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global. *Le Naturaliste Canadien*, 140(2), 62-73.

Truchon, F., Joubert, J.-É., Lafond, F., Croteau, K. et Bois, P. (2021). Atténuation des impacts du coincement côtier par la restauration d'un marais côtier endigué, Saint-André-de-Kamouraska, MRC de Kamouraska, Rapport final 2021. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, Québec. 74 p

Données utiles

[Biodiversité du relevé côtier Planification pour une intervention environnementale intégrée dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent \(2017-2021\) - Portail du gouvernement ouvert \(canada.ca\)](#)

[Cartographie des sensibilités biologiques pour la planification et l'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures, région du Québec - Portail du gouvernement ouvert \(canada.ca\)](#)

[Caractérisation du banc de laminaires de la Batture-aux-Alouettes en 2018-2019 - Portail du gouvernement ouvert \(canada.ca\)](#)

3.4. Poissons

Tableau 12 Aperçu du risque climatique pour les poissons

Éléments exposés	Risque climatique	Maturité des connaissances	Pistes d'adaptation
Poissons	<p>Moyen</p> <p>Sensibilité variable des espèces à la température et à l'oxygène dissous</p> <p>Des espèces bénéficiaires (ex. sébaste)</p> <p>Vs.</p> <p>Des espèces victimes (ex. flétan)</p> <p>Bilan net incertain</p> <p>Des transformations dans la richesse ou les distributions sont inévitables, mais pas nécessairement seulement négatives selon les différents intérêts</p> <p>Hausse</p>	<p>Moyenne</p> <p>Distinction selon l'intérêt commercial des espèces :</p> <p>Bonne connaissance des espèces commerciales</p> <p>Manque plusieurs espèces d'intérêt non commercial</p> <p>Données éparées</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Continuer de développer le suivi hydroacoustique des proies dans le PMSSL ○ Bonifier le suivi des pêches récréatives et non commerciales ○ Miser sur la collaboration avec les partenaires – soutenir et faire converger les efforts avec la gestion intégrée des pêches ○ Explorer les applications possibles des indices de risque climatique de la vie marine ○ Continuer de développer les méthodes de suivi à l'échelle de l'écosystème comme l'ADN e ○ Évaluations régionales des écosystèmes qui combinent la modélisation et les analyses socio-économiques ○ Intégrer les changements climatiques dans la projection des stocks ○ Poursuivre la revue de la littérature et rassembler les données ○ Explorer les études d'attribution aux CC chez certaines espèces qui semblent en changement

Cette section traite du risque climatique pour les poissons du PMSSL dont plusieurs font partie de la diète de nombreux prédateurs dans le parc marin. Ce regroupement comprend d'abord les poissons pélagiques comme le capelan (*Mallotus villosus*), le lançon d'Amérique (*Ammodytes americanus*) et le hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*). Ces espèces clés forment des bancs compacts qui nourrissent les oiseaux marins, d'autres poissons plus gros, et presque tous les mammifères marins qui fréquentent le Parc marin. Non seulement le PMSSL souhaite protéger ces proies des mammifères marins à l'intérieur de ses limites, mais de plus, cette priorité de conservation a motivé la mise en réserve de territoires aux fins d'aires protégées (RTFAP) (MELCCFP, 2019) qui viennent se coller à la limite du parc et dont le statut de protection sera déterminé dans le futur. À la suite de l'annonce de l'agrandissement du parc marin en mars 2023, il serait possible qu'une partie de ces territoires soient intégrés au PMSSL. Les plus petits poissons nourrissent aussi des plus gros, qui seront eux-mêmes abordés dans cette section, notamment les poissons de fond comme la morue, le sébaste et le flétan.

Les poissons ne peuvent pas être étudiés en se restreignant aux limites du PMSSL. En effet, de nombreuses espèces ne se reproduisent même pas dans cette section de l'estuaire. Par exemple, même s'il existe un léger recrutement local du capelan, notamment dans le fjord, la majorité des individus proviennent de

l'aval de l'estuaire en dehors du Parc marin (Lazartigues et al., 2016). Alors que certaines régions, comme le golfe du Saint-Laurent, sont des lieux essentiels pour la reproduction des poissons, la région du Parc marin, avec sa remontée d'eau froide à la tête du chenal, joue souvent le rôle de zone d'alimentation essentielle à de nombreux organismes. Cette grande connectivité des habitats marins souligne encore une **fois l'importance de considérer les changements à grande échelle, souvent en incluant jusqu'au golfe du Saint-Laurent, dans l'évaluation de la vulnérabilité des populations d'animaux aquatiques qui convergent et s'agglomèrent dans le parc marin.**

Pour ce qui est du fjord, la partie incluse dans le PMSSL, correspondant au Bas-Saguenay, contient quelques espèces dulcicoles, anadromes et catadromes, mais est dominée par des espèces marines (Dionne, 2001). Certaines espèces comme le capelan et l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) sont produits localement tandis que d'autres comme le sébaste (*Sebastes Marinus*) et la morue (*Gadus morhua*) proviennent d'une immigration de juvéniles des populations de l'estuaire (Sirois, 2009).

Vers l'amont du Saint-Laurent, dans l'estuaire moyen, se trouvent surtout des espèces d'eau douce ou qui passent une partie de leur vie en eau douce. D'ailleurs, les RTFAP aux abords du parc marin de cette partie du Saint-Laurent ont comme priorité de conservation la protection des poissons en situation précaire comme le bar rayé (*Morone saxatilis*), l'alose savoureuse (*Alosa sapidissima*), l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) et l'esturgeon noir (*Acipenser oxyrinchus*) (MELCCFP, 2019). Le secteur des Basques et le secteur de Kamouraska par exemple, devraient protéger la totalité de l'habitat essentiel désigné du bar rayé (MELCCFP, 2020)

Les poissons dans le PMSSL seront affectés par les changements climatiques, mais la prédiction de l'effet de ces changements est complexe et ne peut se limiter à une évaluation des effets directs des aléas liés au climat sur chaque espèce. En effet, cette évaluation nécessite une analyse des liens trophiques pour comprendre comment les interactions entre les espèces peuvent mener à des effets indirects des changements climatiques. Un autre niveau de complexité s'ajoute par le fait qu'il faut considérer dans ces analyses les changements auxquels est exposé chaque stade de vie des organismes marins pour bien comprendre ce qui peut faire varier leurs populations. Par exemple, Lewis et al. (2019) ont montré que la relation entre la biomasse de capelan et les changements de couverture de glace dans la région de la plateforme néo-écossaise n'était pas linéaire puisqu'une retraite des glaces plus tôt ou plus tard, causait un décalage entre les floraisons de copépodes et la période qui précède la fraie du capelan. Puisque le dénouement de cette complexité dépasse l'envergure souhaitée pour cette revue de littérature et que la majorité des documents disponibles cible des enjeux de pêche dans le golfe, la présente section sur les poissons du PMSSL se contente d'offrir un survol des moyens qu'il serait possible d'appliquer dans le futur pour évaluer la vulnérabilité des poissons aux changements climatiques dans les limites du PMSSL et pour suivre l'évolution des populations qui le fréquentent. Cela dit, la recherche sur les poissons est essentielle pour comprendre les écosystèmes du Saint-Laurent. Par exemple, vers la fin des années 80, la surpêche des poissons de fond a fait s'effondrer les populations de nombreuses espèces provoquant un changement de régime en faveur des petits poissons pélagiques (Savenkoff et al., 2007). Face à ce changement drastique, les prédateurs des milieux marins ont dû s'adapter, tout comme les populations humaines. Il s'agit d'un événement qui rappelle qu'une cascade de changements peut survenir lorsque les écosystèmes sont soumis à de fortes pressions.

3.4.1. Vulnérabilité des poissons aux changements climatiques

Pour l'ensemble des poissons, l'augmentation de la température de l'eau a un effet sur la distribution et l'abondance, selon les fenêtres de préférences propres à chaque espèce. Par exemple, plusieurs études ont conclu que la température de l'eau était un facteur important pour expliquer les dynamiques de recrutement d'espèces comme le maquereau, le hareng et la morue (Brosset et al., 2019). En général, le recrutement des espèces pélagiques de courte durée de vie dépend plus intimement de conditions environnementales optimales que les espèces à longue durée de vie (Brosset et al., 2019). Puisque chaque espèce possède sa propre sensibilité, certaines pourraient connaître une diminution de biomasse totale tandis que d'autres pourraient être favorisées. Par exemple, le réchauffement des eaux du golfe pourrait expliquer en partie l'augmentation sans précédent des stocks de sébastes dans le golfe à travers l'augmentation du chevauchement entre les pics d'abondance de nauplius de copépodes et le stade larvaire des sébastes (Burns et al., 2021). À l'inverse, le réchauffement de l'eau accompagné de la baisse d'oxygène dissous pourrait décimer les stocks de flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) (Stortini et al., 2017).

En plus du réchauffement de l'eau, les conséquences de l'hypoxie décrites dans le chapitre 1 sur les aléas liés au climat et dans la section sur les habitats benthiques s'appliquent aussi aux poissons de fond. Entre autres, ceux qui fréquentent le chenal laurentien à un stade de leur vie sont fortement exposés à ce facteur de stress. De plus, puisqu'une grande partie du recrutement des poissons du Bas-Saguenay se fait à partir de l'estuaire, les poissons du fjord se retrouvent aussi exposés aux pressions qui ont lieu dans l'estuaire (Sévigny et al., 2009). Quelques études étudient spécifiquement l'effet de l'hypoxie sur des poissons d'importance commerciale. Par exemple, le flétan du Groenland, est assez tolérant à l'hypoxie avec un seuil critique à 11% (Savenkoff et al., 2017) toutefois, les juvéniles sont moins résistants avec leur seuil à 15% et surtout, les œufs du flétan du Groenland se développent dans des couches plus profondes que la majorité des poissons ce qui les expose à l'hypoxie (Savenkoff et al., 2017). L'article de Ait Youcef (2013) avait évalué que l'hypoxie n'était pas encore problématique pour le flétan du Groenland, mais que si l'oxygène dissous continuait de baisser, la distribution et la survie des juvéniles pouvaient être affectées. Comme discuté dans le chapitre 1, la diminution de l'OD a poursuivi sa chute depuis la publication de cet article (2013).

Puisque l'augmentation de la stratification dans l'estuaire pourrait avoir un effet sur la dynamique de remontée des eaux à la tête du chenal, la concentration des espèces pélagiques fourragères qui en dépend (Simard, 2009) pourrait aussi être affectée. **La projection des changements dans la dynamique de la remontée des eaux est une question de recherche importante dont la réponse n'a pas été retrouvée dans cette revue de littérature.**

Pour aller plus loin dans l'évaluation de la vulnérabilité des poissons du PMSSL face aux aléas liés au climat, plusieurs études à échelle plus vaste ont été réalisées dans les dernières années. Les travaux de Brennan et al. (2016) présentés dans la section *Habitats benthiques* et dont une des figures est disponible à l'annexe E, proposent des intervalles de préférences pour 54 espèces de poissons dont plusieurs fréquentent le Saint-Laurent. L'indice du risque climatique de Boyce et al. (2022a), abordé en introduction du présent chapitre, est aussi une inestimable source d'information pour l'entreprise d'une évaluation de la vulnérabilité. Une étude de cas est présentée dans Boyce et al. (2022b-préimpression) et montre les retombées possibles d'une **régionalisation de l'indice de risque climatique de la vie marine.**

Shackell et al. (2014) ont réalisé un exercice similaire pour la région du golfe du Maine et du plateau néo-écossais avec scénario de réchauffement moyen et ont pu déterminer la proportion des espèces qui se retrouveraient favorisées ou défavorisées par les changements à venir. Shackell et al. ont conclu que d'ici 2030, les espèces marines devraient conserver une certaine stabilité, mais que d'ici 2060, les habitats de 85% des espèces auront changé radicalement (65% perdants et 20% gagnants).

Un autre exemple d'étude qui pourrait être entrepris dans les limites du parc marin et éclairer les décisions est discuté dans l'article de Levangie et al (2022). Les chercheuses et chercheurs ont étudié l'influence du réchauffement des eaux sur la mortalité de 100 poissons marins du plateau néo-écossais. Même s'il s'agit en majorité des mêmes espèces, **une étude s'inspirant des exemples ci-haut, mais qui tient compte de la réalité particulière de la région du parc marin donnerait une bonne vue d'ensemble de la vulnérabilité des poissons du PMSSL aux changements climatiques.** Pour l'instant, il faut souvent se contenter d'articles dont la zone d'étude fait l'objet d'une forte pêche commerciale, parfois loin du PMSSL. Les différences régionales de conditions de l'environnement (par exemple la remontée d'eau froide dans l'estuaire ou l'apport d'eau douce du fjord) empêchent de tirer des conclusions assez fiables pour guider la gestion du PMSSL.

En résumé, les poissons ne sont pas tous affectés également par les changements climatiques et bien que la maturité des connaissances au sujet de la vulnérabilité des espèces soit assez avancée, un effort scientifique supplémentaire sera nécessaire pour ramener cette information à l'échelle du Parc. La vulnérabilité est jugée moyenne dans le tableau synthèse afin de refléter le fait que la composition des communautés de poissons change beaucoup en fonction des conditions du milieu, mais ces changements ne sont pas toujours défavorables et la grande mobilité des poissons (en comparaison avec plusieurs organismes benthiques) leur confère une capacité d'adaptation intrinsèque appréciable.

3.4.2. Tendances et projections de l'évolution des poissons

Dans le PMSSL, un indicateur du programme de surveillance écologique concerne le suivi des espèces pélagiques fourragères, dont le capelan, le hareng, l'éperlan et le lançon, qui composent l'alimentation des mammifères. Il s'agit d'un suivi réalisé à l'aide d'un système hydroacoustique dont les capacités se développent d'année en année. Pour les poissons de fond, les données disponibles actuellement proviennent du suivi des récoltes de la pêche blanche dans le fjord du Saguenay (MPO, 2021) et de relevés de recherche aux filets maillants disponibles jusqu'en 2018 (Gauthier et al., 2019).

À l'échelle de l'estuaire et du golfe, le MPO évalue depuis longtemps les stocks des poissons qui font l'objet d'une pêche commerciale. Pour la majorité des espèces, l'évaluation examine la situation d'une espèce à la fois, à partir des données de récoltes. Depuis quelques années, le MPO a la volonté d'adopter **une approche écosystémique de la gestion des pêches, c'est-à-dire qu'il souhaite intégrer le climat, les conditions océanographiques et les relations prédateur-proie** (MPO, 2021). À l'heure actuelle, seules quelques espèces pour lesquelles il existe plus de données sont suivies par une approche écosystémique, mais **le MPO a l'intention d'étendre l'application de cette approche à la gestion de toutes les pêches. Cette transition pourrait être une opportunité de mieux inclure l'estuaire moyen dans les évaluations,** car ce qui se passe dans l'estuaire maritime a un impact sur l'estuaire moyen et vice-versa. La même réflexion serait valable pour les poissons du fjord dont une grande partie du recrutement provient de l'estuaire. Le Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent est déjà reconnu pour son approche de gestion écosystémique qui passe par la mise en relation des composantes de l'écosystème et des communautés humaines et le MPO pourrait bénéficier de cette expertise. En retour, les modèles développés par le MPO

sont de puissants outils pour se projeter dans le futur et mettre en place des mesures préventives. Le MELCCFP aussi a développé des capacités de gestion du poisson au fil des années, notamment à travers le Réseau de suivi ichtyologique (RSI) qui documente depuis 1995 la situation des communautés de poissons dans la portion fluviale du Saint-Laurent. Ce suivi a été étendu à l'estuaire moyen en 2009 avec la création du Réseau d'inventaire des poissons de l'estuaire (RIPE) (Paradis et al., 2020). Les travaux du MELCCFP dans cette section du Saint-Laurent pourraient apporter des informations utiles au PMSSL, notamment dans un contexte de protection de zones de reproduction et de croissance de proies des mammifères marins dans les RTFAP en amont du parc marin. En résumé, la gestion des poissons du Saint-Laurent et du fjord est un exemple concret de **convergence d'expertises complémentaires**. En ce sens, la collaboration sera déterminante pour l'adaptation des socioécosystèmes du PMSSL. Dans cet esprit, les plateformes qui favorisent la concertation comme le Plan d'action Saint-Laurent qui vise la mise en commun des efforts et des ressources des ministères et agences du Québec et du Canada pour assurer une gestion intégrée du Saint-Laurent, seront appelées à jouer un rôle important pour affronter les défis qu'amènent les changements climatiques.

Pour l'instant, il semble persister des lacunes, toutes organisations confondues, dans la capacité à mettre en place à l'échelle opérationnelle des mesures préventives appuyées sur la projection des changements. L'article de Stortini et al. (2017) donne un bon exemple des conclusions qu'il est possible d'obtenir grâce à la modélisation. Les chercheuses et chercheurs ont utilisé des modèles de distribution d'espèces pour projeter les changements dans les populations de morue franche et de flétan du Groenland en fonction de la hausse de la température de l'eau et de l'hypoxie. La zone d'étude est l'estuaire maritime et le nord du golfe du Saint-Laurent. Les prédictions du modèle de Stortini et al. (2017) indiquent que pour le scénario de baisse d'OD de 4% avec réchauffement moyen, la biomasse totale de flétan du Groenland pourrait diminuer de 40%. La morue franche quant à elle, s'adapte à une grande variété de températures, mais est sensible à l'hypoxie et montre un haut taux de mortalité dès 28% de saturation en oxygène dissous. Elle devrait donc subir une baisse de stock dans les zones profondes et une légère augmentation dans les secteurs peu profonds moins affectés par l'hypoxie (Stortini et al., 2017). Les populations de morue devraient donc continuer d'être confinées en grande partie à deux zones refuges à l'est du chenal Esquiman et au nord-est d'Anticosti et se tenir loin du fond du chenal laurentien.

Dans le passé, des travaux de recherche comme ceux de Turgeon (2012) et de l'initiative de recherche écosystémique discutée dans Savenkoff et al. (2017) (voir l'exemple de la figure 31) avaient permis de modéliser la répartition spatiale des proies des mammifères marins dans le PMSSL.

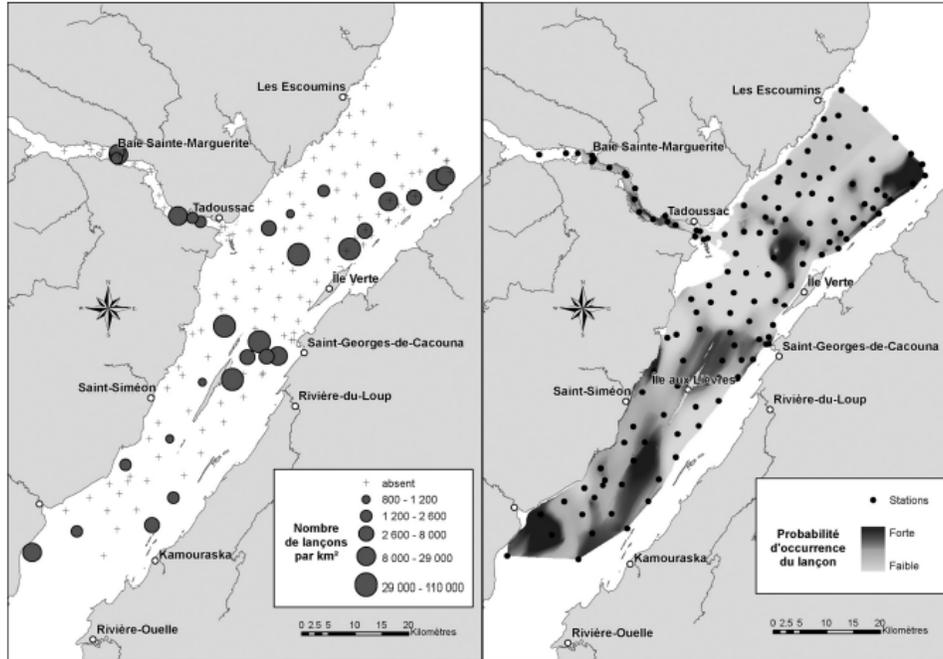


Figure 31 Modélisation de l'occurrence du lançon. La partie gauche de la figure représente les données d'abondance mesurées et la partie droite la probabilité d'occurrence modélisée.

Source : Savenkoff et al. (2017)

Une telle cartographie, combinée aux avancées récentes de projection des changements climatiques, laisse présager une possibilité éventuelle de prédire la répartition des agrégations de poissons en fonction de divers scénarios d'émissions et de gestion ce qui pourrait mieux informer la planification du zonage du PMSSL. D'ailleurs, l'indicateur développé par le parc marin qui utilise les données hydroacoustiques pour suivre les proies des mammifères marins pourrait assurer la concordance entre les projections et la situation observée chaque année, permettant ainsi une gestion adaptative de l'écosystème.

3.4.3. Maturité des connaissances et pistes d'adaptation

La maturité des connaissances est jugée moyenne, car **seules les espèces qui font l'objet d'une pêche commerciale sont étudiées en détail**. Les études sont souvent hors des limites du PMSSL ou à une échelle qui ne permet pas de tirer de conclusions pertinentes à la gestion du parc. La projection des changements climatiques est parfois prise en compte dans les évaluations des stocks, ce qui offre des exemples d'où en est la connaissance actuelle, mais elle n'est pas répandue à la majorité des espèces. À ce sujet, Pepin et al. (2022) ont évalué 178 évaluations des stocks de Pêches et Océans Canada pour savoir si elles considèrent le climat, les conditions océanographiques et les relations écologiques. L'équipe de recherche conclue que 46 % des évaluations traitent de ces considérations en tant qu'hypothèses conceptuelles, 21% les incluent de manière quantitative, 31% les interprètent de manière qualitative, et 27% les intègrent à des recommandations de gestion. Pepin et al. (2022) soulignent un écart entre la capacité du Canada à répondre aux changements environnementaux comparativement à d'autres juridictions et suggèrent de développer des **approches de gestion intégrées telles que des évaluations régionales des écosystèmes qui combinent la modélisation et les analyses socio-économiques à partir d'une équipe multidisciplinaire**. L'expertise du PMSSL en matière de gestion écosystémique pourrait être profitable à une telle démarche et le parc pourrait à son tour étendre sa capacité de recherche scientifique. Parcs

Canada-MELCCFP et Pêches et Océans Canada travaillent déjà en partenariat sur de nombreux dossiers et les conclusions de cette revue de littérature ne font que souligner l'importance de :

- ❖ La poursuite des projets collaboratifs dans un contexte où les deux organisations ont identifié les changements climatiques comme un axe important à développer.

En attendant que la recherche éclaire les prédictions régionales des changements dans les populations de poissons qui fréquentent le parc marin, il reste important de continuer de suivre leur évolution. En ce sens, tel que souligné dans les rapports du programme de surveillance écologique du PMSSL, il sera pertinent de :

- ❖ Continuer à développer les techniques de suivi hydroacoustique des proies, notamment la capacité de distinguer les espèces entendues.
- ❖ Poursuivre l'intégration des suivis de la pêche blanche au programme de surveillance écologique, notamment pour participer à l'évaluation de la durabilité d'une éventuelle pêche au flétan atlantique dans le fjord. Selon l'évolution de ce dossier, le parc pourrait avoir à gérer un fort engouement pour la pêche blanche si on se fie à la couverture médiatique de la pêche scientifique qui se déroule à l'hiver 2023. De plus, il n'y a plus de relevé de recherche aux filets maillants dans le fjord après 2018. Il s'agissait d'un suivi réalisé depuis 2000 qui devait avoir lieu à chaque deux ans. La revue de littérature n'a pas permis d'identifier la raison de l'arrêt des publications.
- ❖ Explorer la possibilité de suivre aussi les pêches récréatives estivales afin d'avoir un aperçu de tendances générales concernant certains poissons et potentiellement disposer d'un signal d'alerte supplémentaire en cas de motif inquiétant dans le nombre de prises saisonnières.
- ❖ Continuer de suivre les évaluations du MELCCFP au sujet des espèces à statut comme le bar rayé, l'alose savoureuse et l'esturgeon.

Dans une perspective de gestion écosystémique, les avancées de la recherche sur l'ADN environnemental commencent à proposer des applications intéressantes pour les aires protégées marines. Afzali et al. (2021) ont montré que l'ADN e pouvait être une approche complémentaire aux relevés par chalut de fond du MPO pour évaluer la biodiversité et qu'elle permettait mieux de détecter les espèces dans la colonne d'eau. Gold et al. (2021) ont testé l'ADN e en tant qu'outil de suivi dans une aire marine protégée en Californie. Le parc marin a aussi développé un suivi de l'ADN e, en partenariat avec l'Institut de Biologie Intégrative et des Systèmes à l'Université Laval, dans le cadre d'un projet visant à améliorer l'identification des espèces du suivi hydroacoustique des proies des mammifères marins.

- ❖ Malgré les limites actuelles, la poursuite de ces démarches de suivi de l'ADN e pourrait offrir des applications utiles à la gestion des écosystèmes dans le PMSSL.

Pour conclure, l'information sur le poisson dans le Saint-Laurent est abondante, mais éparse. Le survol de ce grand thème est ici contraint par le temps et devrait soulever l'intérêt d'un effort de synthèse plus approfondi. Cette consolidation de l'information est essentielle afin de disposer d'une base de connaissances assez solide pour poser des mesures d'adaptation concrètes. En effet, la baisse de disponibilité de proies est souvent rapportée comme une menace à laquelle sont exposés les mammifères marins, mais des prévisions claires de baisse de stock ou de changement de composition des communautés de poissons ne sont pratiquement jamais avancées.

Références Poissons

- Afzali, S. F., Bourdages, H., Laporte, M., Mérot, C., Normandeau, E., Audet, C., & Bernatchez, L. (2021). Comparing environmental metabarcoding and trawling survey of demersal fish communities in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Environmental DNA*, 3(1), 22-42.
- Ait Youcef, Wahiba (2013). *Impacts de l'oxgène dissous sur la distribution spatiale, l'abondance et la croissance du flétan du Groenland (Reinhardtius hippoglossoides) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent*. Thèse. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski, 173 p.
- Berger, C. S., Bougas, B., Turgeon, S., Ferchiou, S., Ménard, N., & Bernatchez, L. (2020). Groundtruthing of pelagic forage fish detected by hydroacoustics in a whale feeding area using environmental DNA. *Environmental DNA*, 2(4), 477-492.
- Boyce, D. G., Tittensor, D. P., Garilao, C., Henson, S., Kaschner, K., Kesner-Reyes, K., ... & Worm, B. (2022a). A climate risk index for marine life. *Nature Climate Change*, 12(9), 854-862.
- Boyce, DG, Tittensor, D. P., Fuller, S., Henson, S., Kaschner, K., Reygondeau, G., Schleit, K. E., Saba, V., Shackell, N. L., Worm, B. (2022b). Operationalizing climate risk for fisheries in a global warming hotspot. bioRxiv (préimpression).
- Brennan, C. E., Blanchard, H., & Fennel, K. (2016). Putting temperature and oxygen thresholds of marine animals in context of environmental change: a regional perspective for the Scotian Shelf and Gulf of St. Lawrence. *PLoS One*, 11(12).
- Brosset, P., Durant, J. M., Van Beveren, E., & Plourde, S. (2019). Fish population growth in the Gulf of St Lawrence: effects of climate, fishing and predator abundance. *Marine Ecology Progress Series*, 624, 167-181.
- Burns, C. M., Pepin, P., Plourde, S., Veillet, G., Sirois, P., & Robert, D. (2021). Revealing the relationship between feeding and growth of larval redfish (*Sebastes* sp.) in the Gulf of St. Lawrence. *ICES Journal of Marine Science*, 78(10), 3757-3766.
- Dionne, S. 2001. (Sous la direction de). Plan de conservation des écosystèmes du parc marin du Saguenay.Saint-Laurent. Parcs Canada, parc marin du Saguenay.Saint-Laurent 538 p.
- Gauthier, J., Marquis, M.-C., Ouellette-Plante, J. et Nozères, C. (2019). Relevé de recherche aux filets maillants dans le fjord du Saguenay de 2000 à 2018. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/039. iv + 46 p.
- Gold, Z., Sprague, J., Kushner, D. J., Zerecero Marin, E., & Barber, P. H. (2021). eDNA metabarcoding as a biomonitoring tool for marine protected areas. *PLoS One*, 16(2), e0238557.
- Lazartigues, A. V., Plourde, S., Dodson, J. J., Morissette, O., Ouellet, P., & Sirois, P. (2016). Determining natal sources of capelin in a boreal marine park using otolith microchemistry. *ICES journal of marine science*, 73(10), 2644-2652.
- Levangie, P. E., Blanchfield, P. J., & Hutchings, J. A. (2022). The influence of ocean warming on the natural mortality of marine fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 105(10), 1447-1461.
- Lewis, K. P., Buren, A. D., Regular, P. M., Mowbray, F. K., & Murphy, H. M. (2019). Forecasting capelin *Mallotus villosus* biomass on the Newfoundland shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 616, 171-183.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parc (MELCCFP) (2020) Approbation de la désignation de dix-sept nouvelles réserves de territoire aux fins d'aires protégées, situées dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Mémoire au Conseil des ministres, Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/gouvernement/MCE/dossiers-soumis-conseilministres/nouvelles_reserves_territoire_aires_protegees_stlaurent_memoire.pdf?1610634766 (Page consultée le 8 mars 2023).

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parc (MELCCFP) (2019) Planification Canada-Québec pour l'établissement d'aires marines Projets à l'étude dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent d'ici 2020. *Présentation Powerpoint*. Gouvernement du Québec. https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/aire-marine/documents/seance-information-AMP-2019.pdf (Page consultée le 8 mars 2023).

Paradis, Y., M. Mingelbier, P. Brodeur, N. Vachon, C. Côté, D. Hatin, M. A. Couillard, G. Verreault, L. L'Italien, R. Pouliot, A. Foubert, F. Lecomte, É. Valiquette et D. Côté-Vaillancourt. (2020). État des communautés de poissons des eaux douces et saumâtres du Saint-Laurent. Plan Saint-Laurent, 3e édition, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 14 p.

Pêches et Océans Canada (MPO) (2021) Sciences halieutiques : Évaluation des stocks. In Gouvernement du Canada, Pêche et Océans Canada. <https://www.dfo-mpo.gc.ca/science/species-especes/fisheries-halieutiques/stockassessment-evaluationstock/index-fra.html> (Page consultée le 5 mars 2023).

Pêches et Océans Canada (MPO) (2021). Mise à jour des indicateurs de la pêche récréative hivernale au poisson de fond dans le fjord du Saguenay, 2019-2020. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2021/003.

Pepin, P., King, J., Holt, C., Gurney-Smith, H., Shackell, N., Hedges, K., & Bundy, A. (2022). Incorporating knowledge of changes in climatic, oceanographic and ecological conditions in Canadian stock assessments. *Fish and Fisheries*, 23(6), 1332-1346.

Savenkoff, C., Castonguay, M., Chabot, D., Hammill, M. O., Bourdages, H., & Morissette, L. (2007). Changes in the northern Gulf of St. Lawrence ecosystem estimated by inverse modelling: evidence of a fishery-induced regime shift?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(3-4), 711-724.

Savenkoff, C., Gagné, J. A., Gilbert, M., Castonguay, M., Chabot, D., Chassé, J., ... & Starr, M. (2017). Le concept d'approche écosystémique appliqué à l'estuaire maritime du Saint-Laurent (Canada). *Environmental Reviews*, 25(1), 26-96.

Sévigny, J. M., Valentin, A., Talbot, A., & Ménard, N. (2009). Connectivité entre les populations du fjord du Saguenay et celles du golfe du Saint-Laurent. *Revue des sciences de l'eau*, 22(2), 315-339.

Shackell, N. L., Ricard, D., & Stortini, C. (2014). Thermal habitat index of many Northwest Atlantic temperate species stays neutral under warming projected for 2030 but changes radically by 2060. *PLoS One*, 9(3), e90662.

Sirois, P., Diab, G., Fortin, A. L., Plourde, S., Gagné, J. A., & Ménard, N. (2009). Recrutement des poissons dans le fjord du Saguenay. *Revue des Sciences de l'Eau*, 22(2), 341-352.

Stortini, C. H., Chabot, D., & Shackell, N. L. (2017). Marine species in ambient low-oxygen regions subject to double jeopardy impacts of climate change. *Global change biology*, 23(6), 2284-2296.

3.5. Mammifères marins

Tableau 13 Aperçu du risque climatique pour les mammifères marins

Éléments exposés	Évolution des risques anticipée d'ici 2100	Maturité des connaissances	Pistes d'adaptation
Mammifères marins	<p>Élevé</p> <p>Grande sensibilité des espèces à la disponibilité des proies</p> <p>Changement de répartitions, engendrant de nouveaux risques anthropiques</p> <p>Hausse</p>	<p>Forte, mais besoin pressant d'une connaissance mature (espèces en voie de disparition)</p> <p>Manque de projections des habitats essentiels dans les conditions futures. Certains ne sont pas même pas encore définis clairement pour le présent.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Lier les scénarios de conditions futures et la définition des habitats essentiels – cartographie des habitats futurs ○ Continuer de développer des mesures visant à réduire les pressions non liées directement aux changements climatiques (ex : bruit, contaminants collisions) ○ Continuer d'évaluer l'efficacité des mesures en place et répliquer les bons coups de la conservation du béluga aux autres mammifères marins. ○ Développer de la flexibilité dans la gestion pour élargir les mesures réglementaires aux répartitions changeantes des habitats essentiels

Le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent est fréquenté par de nombreux mammifères marins. Le béluga et le phoque commun sont résidents dans le parc marin tandis que le reste des cétacés et pinnipèdes visitent les eaux du parc de manière saisonnière, occasionnelle ou exceptionnelle. Le secteur du parc marin est pour plusieurs espèces une zone d'alimentation estivale à l'exception du phoque du Groenland et du phoque à capuchon qui visitent surtout l'hiver (Savenkoff et al., 2017). Comme présenté en introduction du chapitre sur les écosystèmes du PMSSL, les mammifères marins peuvent être affectés directement par les changements climatiques, mais c'est surtout à travers la modification de la distribution, de l'abondance et de la diversité des proies que le réchauffement a un impact sur les baleines, les phoques et les dauphins. La baisse de disponibilité des proies est une des trois menaces principales auxquelles font face actuellement les mammifères marins. Les deux autres sont la navigation (dérangement, bruit-sous-marin, collision) et les contaminants dans l'eau. Ces menaces interviennent à un moment où plusieurs populations sont fragilisées et comportent peu d'individus restants. En effet, la chasse pratiquée historiquement a causé le déclin de nombreuses espèces. Plusieurs d'entre elles, dont le béluga, peinent à se rétablir à cause de la faible taille de leur population et des pressions modernes. La chasse à la baleine noire a été interdite à l'échelle internationale dès 1935 (MPO, 2021) tandis que celle qui concerne le béluga a cessé en 1979 dans le Saint-Laurent (MPO, 2012). La revue de littérature se concentre sur le cas du béluga, du rorqual bleu, de la baleine noire de l'Atlantique Nord et du rorqual commun puisque ces espèces sont inscrites dans la *loi sur les espèces en péril* et qu'elles sont assez fréquentes dans le PMSSL. Par le fait même, la documentation est plus abondante pour ces espèces et permettra d'apprécier où en est la recherche sur les mammifères marins les plus vulnérables du PMSSL. Le tableau 14 présente un résumé de la situation de ces espèces. Un tableau similaire concernant les mammifères marins non inclus spécifiquement dans la revue est disponible à l'annexe F.

Tableau 14 Mammifères marins qui fréquentent le parc marin Saguenay-Saint-Laurent inclus dans la revue de littérature

Nom commun	Nom scientifique	Statut selon LEP (année d'attribution)	Statut COSEPAC (année de la dernière évaluation)	Documents de rétablissement (année de publication)	Fréquentation du PMSSL
Béluga population de l'estuaire du Saint-Laurent	<i>Delphinapterus leucas</i>	En voie de disparition (2017)	En voie de disparition (2014)	Programme de rétablissement (2012)	Résident
Rorqual bleu population Atlantique Nord	<i>Balaenoptera musculus</i>	En voie de disparition (2005)	En voie de disparition (2012)	Programme de rétablissement (2009) Plan d'action (2022)	Saisonnier
Baleine noire de l'Atlantique Nord	<i>Eubalaena glacialis</i>	En voie de disparition (2005)	En voie de disparition (2013)	Programme de rétablissement (2014) Plan d'action (2021)	Occasionnel
Rorqual commun population atlantique	<i>Balaenoptera physalus</i>	Préoccupante (2006)	Préoccupante (2019)	Plan de gestion (2017)	Saisonnier

La section vulnérabilité offre un survol de l'état des connaissances sur les relations prédateurs-proies des espèces à l'étude et sur la définition de leur habitat essentiel afin de faire ressortir comment des changements de disponibilité de proies causées par les changements climatiques pourraient les affecter. La section sur les tendances et les projections résume où en sont les recherches sur les populations elles-mêmes et aborde le niveau d'avancement dans la prédiction de leur évolution en contexte de changements climatiques.

3.5.1. Vulnérabilité des mammifères marins aux changements climatiques

Les changements climatiques affectent les mammifères marins de plusieurs manières. Par exemple, le couvert de glace est un obstacle pour certains rorquals tandis que pour des phoques, la glace est essentielle à la mise bas. Au-delà de l'effet direct, les changements climatiques causent une modification de l'habitat et influencent la disponibilité des proies. En ce sens, l'évaluation de la vulnérabilité des mammifères marins aux changements climatiques devra s'appuyer sur une solide connaissance de leur alimentation et de leur utilisation de l'habitat.

En général, les mammifères marins possèdent tout de même une bonne capacité d'adaptation intrinsèque aux changements climatiques. Par exemple, Ramp et al. (2015) ont étudié les habitudes de migrations des rorquals communs et des rorquals à bosse dans le golfe du Saint-Laurent et montrent qu'une grande plasticité phénotypique leur a permis de modifier rapidement leurs habitudes alimentaires en réponse aux changements de couverture de glace et de pics d'abondance de proies. L'équipe de recherche suggère que ce trait pourrait expliquer en partie comment les baleines sont arrivées à survivre durant des millions d'années dans un climat variable. Cela dit, Ramp et al. (2015) se questionnent à savoir si cette capacité d'adaptation sera suffisante pour faire face aux changements des conditions de vie marines prévus. Les informations récoltées au cours de cette revue de littérature suggèrent que les aléas liés aux changements

climatiques sont multiples et bousculent l'écosystème, ce qui laisse croire que le risque est grand pour les mammifères marins malgré leur capacité d'adaptation intrinsèque.

Béluga

Le plan de rétablissement de 2012 rappelle que le béluga est une espèce arctique dont une population a trouvé refuge dans les conditions semi-arctiques de l'estuaire du Saint-Laurent (MPO, 2012). Ce sont les conditions uniques de la région du PMSSL qui lui ont permis de survivre environ 8000 ans dans ce sanctuaire enclavé dans un milieu boréal. Dans ce contexte, les changements climatiques risquent de modifier l'habitat du béluga et de nuire à son rétablissement.

Plourde et al. (2014) ont étudié les changements environnementaux dans l'habitat du béluga du Saint-Laurent. Une augmentation de la mortalité des juvéniles a été observée vers la fin des années 1990, au moment où la biomasse des poissons de fond et la couverture de glace étaient les plus faibles. Williams et al. (2017) ont aussi observé une relation entre les conditions de la glace et la mortalité des veaux de béluga dans leur analyse de viabilité de la population. En effet, une couverture de glace qui dure trop longtemps ou pas assez est associée à une augmentation de la mortalité. Les causes de cette relation ne sont pas confirmées, mais une des hypothèses est qu'il existe des conditions de glace optimales qui favorisent la concentration et la synchronisation des cycles de développement des proies. L'augmentation de la température de surface aussi est corrélée avec une augmentation de la mortalité des veaux, de même que la diminution de la biomasse de proies (Williams et al., 2017). Les floraisons d'algues toxiques peuvent aussi affecter le béluga de manière directe ou à travers ses proies (Scarratt et al., 2014). En 2016, Mosnier et al. mentionnaient qu'il était difficile d'évaluer dans quelle mesure les changements d'abondance et de qualité des proies affectent la population de béluga (Mosnier et al., 2016). L'article de Lesage et al. (2020) aide à combler ce manque en proposant une mise à jour de la diète du béluga à partir de l'examen des carcasses. Cette étude a permis de mettre en lumière des différences entre la diète du béluga des années 1930 et celle des bélugas d'aujourd'hui qui vivent dans des conditions différentes. Robert Michaud, président et directeur scientifique du GREMM, a émis en entrevue l'hypothèse qu'une diminution du couvert de glace pourrait affecter les bélugas en hiver, possiblement en réduisant la protection contre les mers agitées qui entraîne un coût énergétique (Robert Michaud cité dans Shields, février 2023). Les connaissances sur le béluga en hiver sont moins avancées et les recherches se poursuivent.

L'habitat essentiel du béluga, qui s'étend des battures aux Loups-Marins dans l'estuaire moyen au large de Saint-Simon dans l'estuaire maritime incluant la portion aval de la rivière Saguenay, a été désigné en 2012 dans le programme de rétablissement (MPO, 2012). **Cette désignation officielle ne comprend que l'aire de répartition des femelles et des veaux en été.** Après, Mosnier et al. (2016) ont poursuivi la recherche avec une caractérisation de l'habitat du béluga selon une approche écosystémique qui a permis de synthétiser les connaissances disponibles et d'expliquer par la modélisation la présence du béluga dans différentes zones de concentration. L'équipe de recherche aurait voulu établir des relations plus claires entre les variables environnementales et les variations d'occurrence du béluga, mais les données sur la température, la salinité et la répartition des proies potentielles n'étaient pas disponibles avec la couverture et la résolution spatiale et temporelle requise par leurs modèles. **Une meilleure connaissance de ces aspects et une récolte de données plus systématique permettraient de mieux prévoir les changements dans les zones de concentration du béluga en fonction des changements projetés du milieu.** L'article de Ménard et al. (2018) offre une synthèse plus détaillée des connaissances sur l'habitat essentiel du béluga.

Bien qu'une projection de l'évolution de l'habitat selon des scénarios de changements climatiques serait utile à la gestion, l'habitat actuel du béluga commence à être assez bien connu, surtout pour les zones importantes comme l'embouchure du fjord du Saguenay et la baie Sainte-Marguerite (MPO, 2022b). Dans ces secteurs, l'information est précise et abondante. Par exemple, l'utilisation en fonction des marées y est documentée (Conversano et al., 2017) et a permis de mettre en place des mesures de protection ciblées. Une zone d'exclusion temporaire a été instaurée en 2018 à l'entrée de la baie Sainte-Marguerite pour interdire la navigation dans la baie en été et ainsi réduire le dérangement que subit le béluga. Un suivi de la baie Sainte-Marguerite et de l'embouchure du Saguenay est inclus dans le programme de surveillance du PMSSL. Ce suivi permet de surveiller les menaces auxquelles sont exposés les bélugas comme la navigation et d'étudier la population dans ces milieux importants. Des études sont aussi en cours pour améliorer les connaissances de l'utilisation de l'habitat en dehors de la saison estivale sur laquelle est basée la définition de l'habitat essentiel (MPO, 2022b). Un facteur qui rend le béluga vulnérable aux changements est sa grande fidélité à certains sites (Lesage, 2021). Ce comportement peut à l'inverse se révéler une opportunité pour la conservation puisqu'il facilite la mise en place de mesures spatiales. En ce sens, il sera pertinent de continuer la recherche sur les zones sensibles de l'habitat du béluga en s'appuyant sur les nombreuses avancées des dernières années. **La prise en compte des changements climatiques dans ces recherches sera importante afin d'identifier les sites qui pourraient être à risque dans les conditions futures.**

Rorqual bleu

La vulnérabilité aux changements climatiques du rorqual bleu tient en bonne partie du fait qu'il ne mange pratiquement que du krill, ce qui le rend **très sensible aux changements d'abondance et de qualité (teneur en lipides notamment) de ce zooplancton**. Le rapport sur les progrès de la mise en œuvre du programme de rétablissement publié en 2016 faisait état des avancées de la recherche pour guider la conservation du rorqual bleu. Il semblait que la connaissance de la dynamique de sa proie principale, le krill, avait atteint un niveau suffisant et qu'on aurait pu être en mesure de comprendre la répartition du rorqual bleu dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Par exemple, McQuinn et al. (2016) ont montré que le rorqual bleu était associé aux agrégations de krill près des pentes sous-marines, car la remontée du krill le long de ces pentes fait en sorte que le rorqual a moins besoin d'effectuer des plongées profondes, coûteuses en énergie, pour s'alimenter. Toutefois, les priorités de recherche présentées dans le plan d'action de 2020 laissent croire que les connaissances de base sur le rorqual bleu comme les mécanismes d'agrégations de krill et les conditions physiques qui influencent sa répartition et ses comportements ne sont pas encore consolidés (MPO, 2020a). De plus, les recherches se poursuivent pour désigner son habitat essentiel. L'habitat du rorqual bleu avait été décrit en 2018 (MPO, 2018), mais l'équipe de recherche suggérait plus de recherche pour mieux comprendre l'utilisation des zones identifiées et vérifier l'existence d'autres zones importantes (Lesage et al., 2018). Publié en 2022, un avis scientifique combinant les travaux de Parcs Canada, du GREMM (Martins et al., 2022) et du MPO (Mosnier et al., 2022) présente la répartition spatiale du rorqual bleu, du rorqual commun, du rorqual à bosse et du petit rorqual dans l'estuaire maritime et moyen (MPO, 2022a). La modélisation a permis, à partir des données des 25 dernières années, de représenter la probabilité d'occurrence des baleines dans le parc marin et constitue un exemple du résultat que peut donner une consolidation des informations existantes pour informer les décisions dans le PMSSL. Cela dit, de nombreux scientifiques soulignent que la variabilité environnementale pourrait modifier la répartition des baleines dans le futur. Cette étude montre que les modélisations sont en mesure de prédire la présence des mammifères marins à partir de paramètres

géophysiques et donne à croire qu'il serait possible éventuellement de prédire la répartition des baleines en fonction des conditions futures.

Récemment, les travaux de Guilpin (2020) ont permis de faire avancer les connaissances sur la vulnérabilité du rorqual bleu face à une éventuelle diminution de la biomasse de krill. En effet, la chercheuse a montré que les agrégations de krill de l'estuaire et du golfe sont déjà rarement assez concentrées pour permettre un stockage d'énergie. Guilpin a aussi conclu qu'une diminution du krill de 5% a un effet faible à modéré sur le gain énergétique du rorqual bleu, une diminution de 10% du krill a un effet modéré à grand et une diminution de 25% à 50% a un effet de grande ampleur. L'effet de la présence de bateaux d'excursion a été étudié au cours de la même étude. Une baisse de gain d'énergie net allant jusqu'à 25% a été observée lorsque les bateaux étaient à proximité pendant 3 heures sur les 10 heures que dure la période d'alimentation. Cet effet pouvait aller jusqu'à réduire de 47% à 85% le gain énergétique si les bateaux restent dans la zone d'alimentation pendant les 10 heures. L'effet combiné de la baisse de biomasse de krill et du dérangement provoqué par les bateaux impose une pression considérable sur la population en voie de disparition du rorqual bleu.

Une modification du ratio entre le krill arctique *Thysanoessa spp.* et le krill nordique *M. norvegica* pourrait aussi diminuer la qualité de la ressource puisqu'en général le krill nordique a une plus faible densité énergétique (voir Cabrol et al., 2019b). De plus, les agrégations de krill arctique sont généralement plus denses et moins profondes, ce qui pousserait les rorquals bleus à privilégier ces agrégations plus facilement accessibles (McQuinn et al., 2016).

Puisque les dernières années ont vu la conclusion de recherches sur la répartition du rorqual bleu et sur sa relation avec le krill, on pourrait juger que la connaissance sur sa vulnérabilité est passée de faible à moyenne. Même s'il est souvent mentionné que les recherches se poursuivent pour identifier l'habitat essentiel du rorqual bleu, celui-ci n'a pas encore été désigné officiellement par la LEP. De plus, les changements climatiques sont identifiés comme pouvant être un enjeu dans la disponibilité de sa proie, mais il persiste un écart de connaissance à combler pour être en mesure de mettre en place des mesures préventives.

Rorqual commun

Cabrol et al. (2021) décrivent comment le comportement alimentaire du rorqual commun s'est modifié au fil du temps face à une diminution d'une de ses proies principales, le krill arctique. En effet, la population s'est divisée entre des spécialistes qui ont continué de prioriser le krill et des généralistes ce qui a réduit la compétition intraspécifique. Le fait que le rorqual commun ait été en mesure de développer une flexibilité dans son alimentation lui confère une meilleure adaptativité face à la diminution de certaines proies (COSEPAC, 2019). Cela dit, le rorqual commun a besoin d'une grande concentration de proies, ce qui le rend tout de même sensible aux changements de distribution des agrégations (MPO, 2017).

L'habitat essentiel du rorqual commun n'est pas identifié officiellement à travers la LEP, puisque sa situation est *seulement* jugée préoccupante. Néanmoins, l'avis scientifique qui résume la répartition spatiale des rorquals dans l'estuaire (MPO, 2022a) constitue une bonne ressource pour la compréhension de l'utilisation de certains habitats par le rorqual commun d'autant plus que les conclusions de cet avis sont établies à partir des travaux effectués dans le parc marin (voir Martins et al., 2022).

Baleine noire de l'Atlantique Nord

La section sur les habitats pélagiques mentionnait comment les changements climatiques affectent le développement des copépodes. Comme ces organismes zooplanctoniques sont l'aliment principal de la baleine noire de l'Atlantique Nord, ce cétacé est particulièrement vulnérable aux changements climatiques. L'alimentation de la baleine noire commence à être bien documentée et Sorochan et al (2021) ont publié un article de revue sur le lien entre la baleine noire et la disponibilité des copépodes dont elle a besoin en forte concentration. Pirotta et al. (2023) ont évalué l'effet cumulatif de multiples stressseurs sur la baleine noire dont la réduction de la disponibilité de proies, les collisions avec les navires et les enchevêtrements dans les engins de pêche.

L'habitat essentiel de la baleine noire a été désigné officiellement en 2014, mais des travaux sont en cours pour le préciser et l'adapter aux changements récents qu'il a connus (MPO, 2021). En effet, la répartition des baleines noires de l'Atlantique Nord a changé drastiquement dans les dernières années. Meyer-Gutbrod et al. (2022) ont étudié ces changements d'utilisation de l'habitat en fonction des changements climatiques pour les trente dernières années. L'article conclue qu'une augmentation de l'utilisation du golfe du Saint-Laurent comme zone d'alimentation est due à un important déclin de proies dans le golfe du Maine, l'aire d'alimentation traditionnelle de la baleine noire. Gavrilchuk et al. (2021) ont étudié si les habitats du golfe étaient de qualité suffisante pour soutenir les baleines noires et concluent que ce n'est pas le cas toutes les années. Le réchauffement des eaux qui affecte les copépodes *Calanus* pourrait continuer de pousser l'aire de répartition des baleines noires vers le nord. Les modifications de l'alimentation de la baleine noire ont mené à un plus faible taux de reproduction et les ont exposées à un plus grand risque de mortalité par les collisions et l'enchevêtrement dans les engins de pêche (Meyer-Gutbrod et al., 2021). En effet, les communautés humaines des régions qui sont devenues plus fréquentées par la baleine noire n'étaient pas habituées à sa présence et leurs pratiques de navigation et de pêche n'étaient pas encore adaptées pour assurer sa protection.

Même si la baleine noire n'est qu'un visiteur occasionnel du PMSSL, **son déplacement soudain causé par un changement de disponibilité de proies est un exemple parlant des conséquences des changements climatiques sur les mammifères marins.**

Autres mammifères marins

Même si la recherche a été concentrée sur les quatre espèces plus haut, quelques publications concernant d'autres mammifères marins ont été retrouvées au cours de la revue de littérature et donnent un aperçu de la manière dont les changements climatiques affectent l'ensemble de l'écosystème.

Le phoque du Groenland, un visiteur fréquent du Parc marin, met bas sur la glace et la réduction projetée du couvert de glace pourrait avoir un impact majeur sur cette espèce (Hammil et al., 2015). Une glace moins épaisse peut mener à une plus haute mortalité des chiots et on pourrait observer un changement de la répartition du phoque du Groenland vers le nord qui offrira temporairement de meilleures conditions de glace jusqu'à atteindre de nouveau des conditions critiques. Le phoque commun est étudié dans le PMSSL par la SEPAQ et constitue un indicateur du programme de surveillance écologique du parc marin.

Kershaw et al. (2020) ont constaté un déclin dans le succès de reproduction du rorqual à bosse dans le golfe du Saint-Laurent qui pourrait résulter en partie de la diminution de disponibilité de proies qui ne permet plus aux femelles d'accumuler des réserves suffisantes. Ces résultats suggèrent une faible

résilience du rorqual à bosse face aux changements climatiques. Le rorqual à bosse est très fréquent dans le PMSSL ce pour quoi sa situation en conditions futures mériterait une recherche plus approfondie.

3.5.2. Tendances et projections de l'évolution des mammifères marins

Béluga

Taille de la population estimée	889 individus (Mosnier et al., 2014). L'aire de répartition du béluga est maintenant de 65% de la répartition historique annuelle et de 35% de la répartition historique estivale (Ménard et al. 2018)
But de rétablissement	7 070 individus (70% de la population historique) (MPO, 2012; MPO, 2022b)

L'examen de l'efficacité des mesures de protection du béluga (Lesage, 2017) résume les tendances observées des dernières années dans l'évolution de la population :

- La population historique vers 1886 comptait entre 7 800 et 10 000 individus. La chasse l'aurait fait passer à environ 1 000 individus.
- En 2012 la population était estimée à 1 100 individus dans le programme de rétablissement.
- Une forte mortalité observée a forcé un examen complet de la population qui a révélé que malgré une faible croissance de la population avant les années 2000, le béluga avait depuis décliné à un taux de 1% par an. L'examen de la population a estimé 889 individus en 2012 (Mosnier et al., 2014).
- Le COSEPAC a recommandé de faire passer le béluga au statut d'espèce en voie de disparition en 2014.
- Le béluga s'est vu attribuer officiellement en 2017 le statut « en voie de disparition » par la loi sur les espèces en péril.

En 2022, les indicateurs de rendement du programme de rétablissement de 2012 ont été évalués (MPO, 2022b). Le tableau 15, tiré de ce rapport, présente le portrait de l'échec du rétablissement du béluga.

Tableau 15 Description et détails des progrès réalisés par rapport au respect des indicateurs de rendement indiqués dans le programme de rétablissement.

Indicateur de rendement	État	Détails
Augmentation de la taille de la population	Non respecté	Un modèle bayésien structuré par âge a été utilisé pour décrire la dynamique de la population et les résultats ont suggéré que la population a diminué depuis les années 2000 pour atteindre 889 individus (95 % IC 672-1167) en 2012 (Mosnier et al., 2015).
Augmentation du nombre d'individus matures à 1000 bélugas adultes	Non respecté	Mosnier et al. (2015) ont estimé la population de bélugas à 889 individus en 2012 et dès lors, les données actuelles permettent d'affirmer que la population n'est pas formée d'au moins 1000 bélugas adultes.
Augmentation du taux d'accroissement de la population	Non respecté	Mosnier et al., (2015), qui ont examiné la tendance de la population jusqu'en 2012, rapportent un déclin de 1 % par année depuis le début des années 2000. Une mortalité annuelle anormalement élevée de veaux depuis 2008, et l'augmentation de mortalité périnatale également depuis environ ce temps suggère que la situation de la population ne s'est pas améliorée de manière substantielle depuis la dernière évaluation en 2012.
Augmentation de l'étendue de l'aire de répartition	Non respecté	Les données disponibles au moment de la rédaction de ce document ne permettent pas de confirmer une augmentation de l'aire de répartition du béluga.
Maintien du pourcentage de nouveau-nés	Non respecté	Les données les plus récentes datent de 2012, le pourcentage de nouveau-nés était de 6 % et 33 % de juvéniles (Mosnier et al., 2015). Des recensements par photo-identification effectués entre 1989 et 2012 ont permis de voir que la proportion de juvéniles augmentait avant de connaître une tendance vers la baisse entre le milieu et la fin de la première décennie des années 2000 (Michaud, 2014).
Diminution du taux de mortalité des juvéniles	Non respecté	Le nombre de nouveau-nés retrouvés morts a augmenté depuis 2008 et demeure anormalement élevé depuis (Gosselin et al., 2017).

Source : MPO (2022b)

Williams et al. (2017) ont développé un modèle pour prédire l'effet de l'évolution des contaminants, du bruit sous-marin et des changements de disponibilité de proies sur le béluga du Saint-Laurent dans un contexte de changements climatiques. **Aucun des scénarios de gestion étudiés dans cette analyse de viabilité de la population ne permettait d'atteindre l'objectif de 7 070 individus d'ici 2100.** La figure 32 montre les trajectoires de la taille de la population de bélugas du Saint-Laurent selon les différents scénarios de gestion analysés. Même s'il reste loin d'atteindre l'objectif de rétablissement, le scénario avec les mesures plus strictes laisse espérer une croissance de la population.

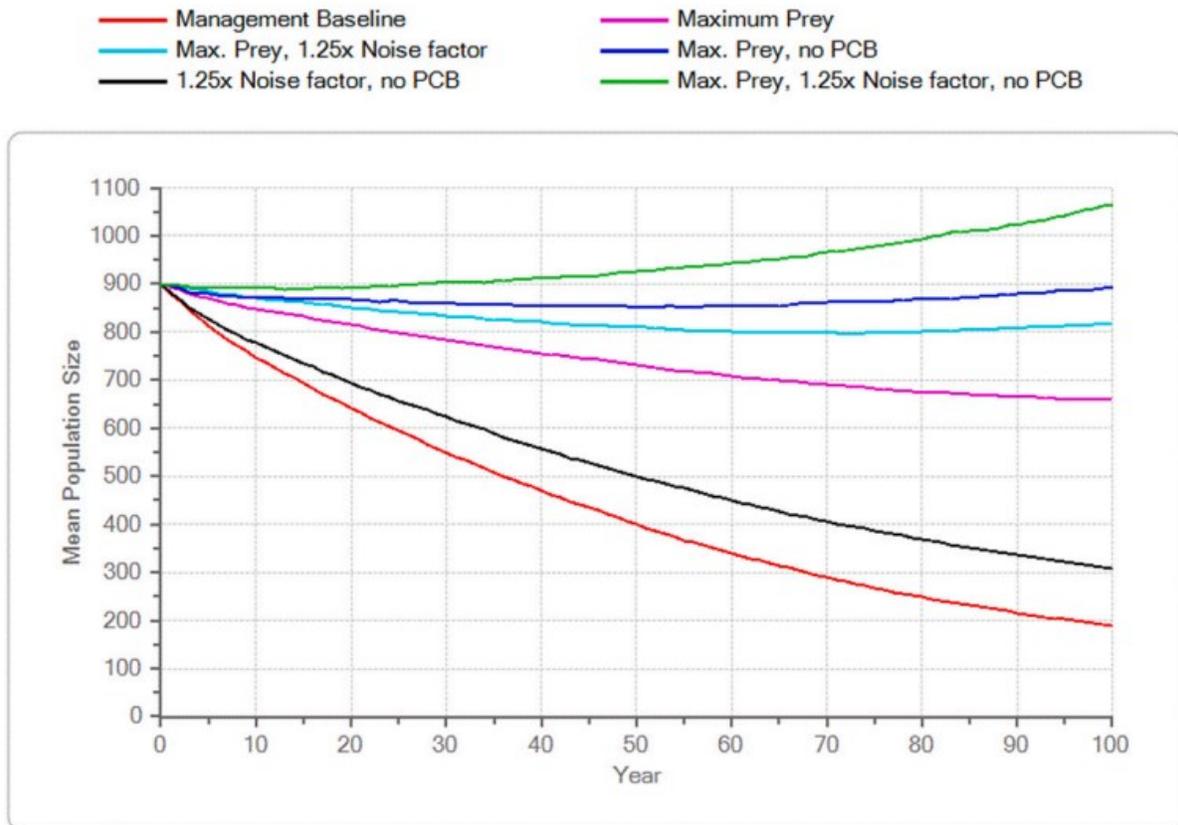


Figure 32 Taille de population moyenne du béluga selon différents scénarios de gestion. *Management baseline* est le scénario de référence si les conditions environnementales et de proies de 2008-2012 persistent (ces années présentaient des anomalies de températures chaudes qui correspondent à ce qui est prévu comme conditions moyennes dans le futur). *Maximum prey* est un scénario où le hareng et les proies démersales sont restaurés aux plus hauts niveaux observés des dernières décennies. *1.25x noise factor* est un scénario où le bruit est réduit de manière que la disponibilité des proies augmente de 1.25 X. *No PCB* est un scénario où les contaminants PCB (Polychlorobiphényle) dans le système sont éliminés. Des combinaisons de ces facteurs sont présentées.

Source : Williams et al. (2021)

Les auteurs soulignent que le modèle constitue un cadre permettant de prédire l'évolution de la population, mais qu'il doit être amélioré par une poursuite de la recherche afin de diminuer l'incertitude qui persiste sur plusieurs sujets, dont l'importance relative de chaque menace. L'étude de Williams et al. (2017) a mené à la publication d'un article scientifique qui souligne que **bien que les changements climatiques ne soient pas responsables du déclin du béluga, ils pourraient rendre son rétablissement plus difficile en réduisant leur capacité à répondre adéquatement aux multiples stressors dans leur habitat** (Williams et al., 2021). La figure 33 montre la projection de la population de béluga sous différents régimes climatiques incluant les conditions de glaces et la température de surface.

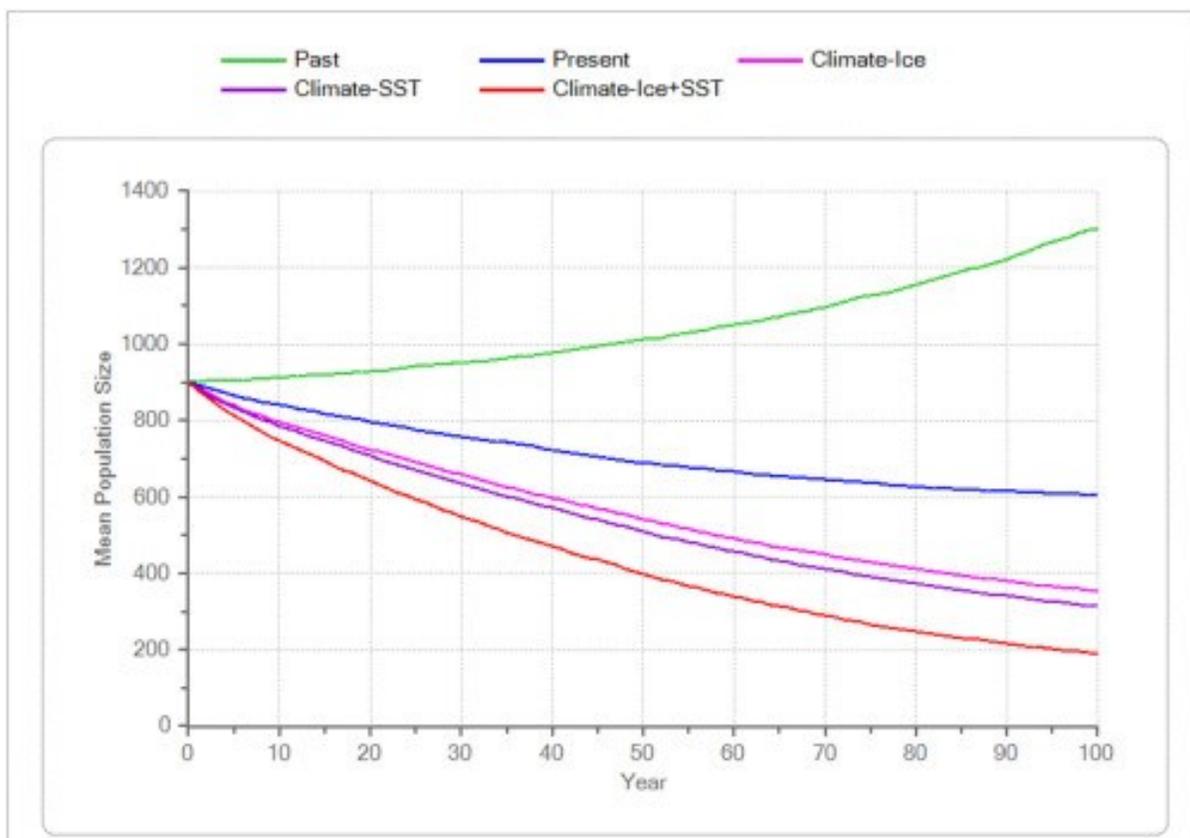


Figure 33 Taille de population projetée moyenne du béluga sous différents régimes. Le régime *Past* correspond aux conditions observées en 1990 et 1999. Le régime *Present* correspond aux conditions observées entre 2000 et 2012. Pour les régimes futurs, les conditions de la période 2008-2012 sont utilisées, car elles représentent des anomalies de températures chaudes qui correspondent aux conditions moyennes attendues pour le futur. Ainsi, *Climate-Ice* est le scénario de conditions de glace futures avec température de surface et proies présentes, *Climate-SST* est le scénario de températures de surface futures avec conditions de glace et proies présentes, *Climate-Ice+SST* est le scénario de conditions de glace et de température de surface futures avec proies présentes.

Source: Williams et al. (2021)

À la lumière de ces résultats, un nouvel objectif de taille de population devrait être fixé lors de la prochaine mise à jour du programme de rétablissement (MPO, 2022b). Un plan d'action pour réduire l'impact du bruit sur le béluga (*Delphinapterus leucas*) et les autres mammifères marins en péril de l'estuaire du Saint-Laurent a été publié en 2020 (MPO, 2020b) et un autre plan d'action sur les autres menaces du béluga est en préparation (MPO, 2022b)

Rorqual bleu

Estimation de la taille de la population	Incertain. 402 individus ont été observés dans le golfe du Saint-Laurent (MPO, 2020a)
But de rétablissement	1000 individus matures (MPO, 2020a)

Dans l'estuaire maritime, un suivi acoustique montre que la présence du rorqual bleu est restée stable de 2007 à 2017 (Simard et Roy, 2018). Les résultats montrent qu'un lien clair existe entre le départ des rorquals et l'arrivée des glaces. Cette relation laisse présager un allongement de la période de

fréquentation du parc marin causée par la réduction du couvert de glace. **En ce sens, le PMSSL pourrait être appelé à jouer un plus grand rôle dans la conservation des rorquals au fil du réchauffement climatique.** Pour l’instant, une tendance à la baisse de la fréquentation du parc marin par le rorqual bleu est rapportée pour la période 2016-2020. Ce suivi réalisé en partenariat avec le GREMM est intégré au programme de surveillance écologique du PMSSL (voir Martins et al., 2018 pour plus de détails).

L’entreprise d’une évaluation à long terme des effectifs, de la structure et des tendances de la population de rorquals bleus de l’Atlantique Nord-Ouest dans les eaux canadiennes et la détermination de l’aire de répartition ainsi que l’habitat essentiel est l’objectif 1 du plan d’action pour le rorqual bleu (MPO, 2020a). À la différence du plan d’action pour la baleine noire, **le plan d’action pour le rorqual bleu (MPO, 2020a) ne contient aucune mesure de rétablissement qui concerne la prévision des conditions futures**, ce qui souligne le manque de connaissances des effets des changements climatiques sur cette espèce.

Rorqual commun

Estimation de la taille de la population	Incertain. 1 500 individus sont estimés pour l’Atlantique canadien, mais les évaluations doivent être améliorées (COSEPAC, 2019). 328 individus sont estimés pour le golfe et l’estuaire (Ramp et al., 2014).
But de rétablissement	Aucun (statut préoccupant)

À l’échelle de l’Atlantique, le rorqual commun semble commencer à se rétablir de son déclin important causé par la pêche du 20^e siècle, mais la tendance n’est pas claire pour ceux qui visitent les eaux canadiennes (COSEPAC, 2019). Tout comme pour le rorqual bleu, le suivi acoustique suggère une présence stable du rorqual commun dans le PMSSL entre 2007 et 2017 (Simard et Roy, 2018). Une tendance à la hausse de la fréquentation du parc marin par le rorqual commun est rapportée pour la période 2016-2020 dans le programme de surveillance écologique du PMSSL. Cette tendance pourrait se poursuivre avec la réduction du couvert de glace (Simard et Roy, 2018).

Dans le nord du golfe du Saint-Laurent, l’abondance de rorquals communs a diminué. Schleimer et al. (2019) ont voulu savoir si ce déclin était corrélé aux changements des conditions environnementales et de biomasse de proies. Les relations entre ces variables dynamiques n’ont pas pu être clairement établies et la bathymétrie était le plus important prédicteur de l’habitat. L’équipe de recherche note que **de plus amples connaissances sur la relation prédateur-proie seront nécessaires**. Aussi, elle recommande plus de recherche sur les facteurs physiques et biologiques qui expliquent la distribution interannuelle des rorquals.

Le rapport du COSEPAC sur la situation du rorqual commun (2019) indique que les changements climatiques modifient l’habitat du rorqual commun, mais que ces changements sont impossibles à prévoir dans l’état actuel des connaissances.

Baleine noire de l’Atlantique Nord

Estimation de la taille de la population	366 individus (MPO, 2021)
But de rétablissement	Une tendance à la hausse de l’abondance sur trois générations, ce qui correspond à 60 ans (MPO, 2021)

La baleine noire de l'Atlantique Nord trouve dans les eaux du Canada d'importantes aires de concentration des copépodes *Calanus* dont elle se nourrit principalement. Néanmoins, on observe de la mortalité chez les baleines noires en eaux canadiennes, notamment en 2015, 2017 et 2019 (MPO, 2021). Face à ce déclin, l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a modifié le statut de la baleine noire d'espèce en danger à espèce en danger critique d'extinction en 2020. Comme décrit plus haut, la mortalité de la baleine noire résulte d'une difficulté à s'alimenter et de l'augmentation des collisions et des enchevêtrements à la suite d'un changement rapide de son aire d'alimentation. Dans un contexte d'effectif de population très bas, ces événements récents ont été catastrophiques et ont donné lieu à une réponse d'urgence des gouvernements. Pour Meyer-Gutbrod et al. (2018) il s'agit d'un exemple de ce qui peut se produire lorsque les changements climatiques ne sont pas suffisamment intégrés à la planification de la conservation et que les mesures préventives ne voient pas assez loin. Face à l'urgence, le déploiement massif d'efforts et de ressources par le gouvernement fédéral et la mise en place rapide d'une structure de coordination de nombreux acteurs et actrices montre qu'il est possible d'agir pour la conservation des espèces en voie de disparition lorsque la volonté politique la priorise. En effet, l'année suivant l'implantation des mesures, aucune mortalité de baleine noire n'a été observée en eaux canadiennes (Davies et Brillant, 2019). Toutefois, une mobilisation d'urgence de cette envergure peut affecter négativement les communautés locales, notamment les pêcheurs et pêcheuses. En ce sens, Davies et Brillant (2019) proposent que les gouvernements soient proactifs dans la planification de l'adaptation aux changements climatiques afin d'éviter d'avoir recours soudainement à l'imposition de mesures d'urgence qui peuvent provoquer des dommages pour les communautés locales qui auraient pu être évités par des mesures préventives. Dans l'exemple de la baleine noire, la cause directe de la mortalité était les activités de pêche, mais ce sont les changements climatiques qui ont bousculé le système de ressources en forçant un changement de répartition des baleines.

Le *Plan d'action pour la baleine noire de l'Atlantique Nord (Eubalaena glacialis) au Canada* (MPO, 2021) reconnaît qu'il est nécessaire de disposer de modèles qui s'appuient sur des données abondantes et fiables pour assurer le rétablissement de la baleine noire de l'Atlantique Nord. 4 des 54 mesures de rétablissement décrites dans le plan d'action touchent à la prévision des conditions futures :

- Étudier, surveiller et prévoir la distribution des zones de fortes concentrations de *Calanus* – priorité élevée
- Élaborer et peaufiner des modèles d'habitats propices pour la baleine noire afin de prédire les zones potentielles d'occurrence – priorité moyenne
- Planifier des scénarios pour se préparer à des conditions environnementales et à des vulnérabilités futures incertaines - priorité moyenne
- Effectuer une analyse de viabilité de la population – priorité faible

Les travaux récents sur les mécanismes de concentration du copépode, et sur les besoins alimentaires de la baleine devront paver la voie à la création d'outils opérationnels de prévision de l'habitat qui permettront la mise en place de mesures préventives (MPO, 2021). Même si cette intention de recherche s'applique particulièrement bien au cas de la baleine noire pour laquelle le manque de prévision a été catastrophique, la recommandation fait aussi écho à une des conclusions principales qui revient à chaque thème de la revue de littérature, c'est-à-dire qu'une planification qui tient compte des conditions projetées sera cruciale pour remplir la mission de conservation des écosystèmes du PMSSL.

3.5.3. Maturité des connaissances et pistes d'adaptation

Les connaissances concernant chaque espèce de mammifère marin dépendent beaucoup de l'intérêt de conservation qui leur a été porté dans les dernières années. Le béluga du Saint-Laurent a été beaucoup étudié et on pourrait juger la maturité de la connaissance à son sujet comme étant forte. Le PMSSL a contribué depuis plus de 20 ans au développement de ces connaissances et aux efforts de conservation en offrant une structure pour la coordination de multiples acteurs et en favorisant le développement d'une expertise locale. Il semble que la prévision des changements climatiques soit abordée dans la recherche sur le béluga du Saint-Laurent, mais il reste encore un manque à combler dans la prédiction des effets à une échelle assez fine pour permettre de soutenir les mesures de conservation spatiales. Cela dit, en l'absence de certitudes et de pouvoir d'agir sur les effets des changements climatiques, de nombreuses mesures ont été mises en place afin de réduire l'impact des autres menaces auxquelles sont exposés les bélugas (ex. : réduction du bruit et des contaminants). Ces mesures contribuent au rétablissement du béluga même en l'absence d'un effet fort des changements climatiques. La poursuite de ces mesures dans le PMSSL et leur amélioration continue est donc recommandée. Bien que les connaissances sur le béluga avancent, la gravité de sa situation suggère que la recherche devra aller encore plus loin et qu'elle devra mener à une opérationnalisation efficace de ses résultats. L'agrandissement du parc marin dans le but de mieux couvrir l'habitat essentiel du béluga a été annoncé en mars 2023. Cette modification devrait offrir des outils supplémentaires pour étendre la protection du béluga.

Les statuts de protection conférés par la loi sur les espèces en péril ont fait avancer la recherche sur le rorqual bleu (maturité moyenne), et dans une moindre mesure le rorqual commun (maturité faible). À cause de leurs grandes distances de déplacement, des mesures concrètes et précises spatialement sont plus difficiles à appliquer que celles qui visent le béluga. Les études de Ménard et al. (2022) et Mosnier et al. (2022) montrent les avantages de disposer d'un suivi qui inclut plusieurs rorquals.

Pour la baleine noire, il a fallu attendre une situation catastrophique pour que d'importantes ressources soient déployées à sa conservation. Les connaissances sur cette espèce commencent à s'approcher de la maturité et les changements climatiques font maintenant partie intégrante des évaluations. La situation de la baleine noire de l'Atlantique Nord constitue un argument pour une plus large application du principe de précaution et d'une vision préventive.

Peu de documents concernant les autres mammifères marins dans le Saint-Laurent ont été retrouvés dans la revue de littérature à partir des mots-clés généraux, ce qui est cohérent avec le faible niveau de préoccupation pour leurs populations. Néanmoins, toujours suivant le principe de précaution, il vaudrait mieux disposer d'avance d'un niveau de recherche suffisant sur l'ensemble des mammifères marins afin d'éviter d'avoir à réagir dans l'urgence si l'un d'entre eux devait subitement faire face à une situation préoccupante.

Pour ces raisons, la maturité des connaissances sur les mammifères marins est jugée forte, mais il persiste un écart entre la capacité actuelle et le besoin urgent d'une vision qui permet des mesures préventives. Dans cet ordre d'idée, il est recommandé de :

- ❖ Poursuivre les recherches sur les habitats essentiels des mammifères marins en situation précaire et développer des outils de prévision des changements anticipés.
 - Le recours à la modélisation, à des scénarios de changements de conditions et à des scénarios de gestion, permet de prendre des décisions plus éclairées dans un contexte

d'incertitude et de variabilité. L'exemple de la baleine noire qui a donné lieu à d'importants exercices de scénarisation des conditions futures réalisés en collaboration avec l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA) illustre les possibilités d'une mobilisation des ressources scientifiques pour appuyer la gestion (voir MPO, 2021).

- Ménard et al. rapportaient en 2018 que la gestion du hareng ne prenait pas en compte les besoins alimentaires du béluga. La portée restreinte de la revue de littérature n'a pas permis d'identifier si la gestion des pêches commerciales de chaque proie des mammifères marins incluait des considérations pour les besoins des espèces en voie de disparition, mais il serait nécessaire qu'il en soit ainsi. Aussi, en l'absence de certitudes sur la prévision des changements climatiques, le maintien du moratoire sur la pêche des espèces fourragères comme le krill et le lançon est reconnu comme une activité qui appuie le rétablissement du béluga (MPO, 2022b).
 - Une vue d'ensemble multiespèces pourrait aider à mettre en place des mesures qui maximisent les avantages pour la biodiversité marine. Lacroix-Lepage (2018) offre un exemple intéressant de modélisation qui tente de prévoir la distribution des communautés selon des changements climatiques dans son *Analyse spatiale des assemblages de mammifères marins de l'estuaire du Saint-Laurent*.
- ❖ Poursuivre et améliorer les mesures visant la réduction des pressions anthropiques sur l'ensemble des mammifères marins. Le béluga du Saint-Laurent est souvent considéré comme une espèce parapluie du fait que les mesures de conservation qui le ciblent apportent des avantages pour le reste de l'écosystème. Ménard et al. (2018) offrent un bilan de la protection des habitats du béluga jusqu'à 2018 et on peut facilement imaginer comment cette protection s'étend aux autres mammifères marins. Les mesures de protection dans le PMSSL visent les menaces principales des mammifères marins soit :
- Le bruit sous-marin. Le *Plan d'action pour réduire l'impact du bruit sur le béluga (Delphinapterus leucas) et les autres mammifères marins en péril de l'estuaire du Saint-Laurent* (MPO, 2022b) identifie les mesures à prendre concernant la menace du bruit. Le Parc marin contribue fortement à cet effort et l'application de l'approche spatiale pour restaurer l'habitat acoustique du béluga dans le PMSSL est décrite dans Ménard et al. (2022).
 - Le dérangement. Par exemple, *Le Règlement sur les activités en mer dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent* permet l'encadrement des activités d'observation.
 - Les contaminants. Par exemple l'interdiction de l'utilisation des chaluts à panneaux dans le fjord permet d'éviter la remise en suspension de contaminants (Ménard et al., 2018)
 - Les collisions. Par exemple des mesures volontaires offrant des voies de navigation où les risques de collisions sont moindres et des zones de vitesse réduite ont été mises en place (voir Chion et al., 2018).

La caractérisation de ces pressions constitue aussi un important volet de recherche pour guider l'élaboration et la planification des mesures de conservation (voir le portrait de la navigation dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent par Turgeon, 2019). Pour finir, dans l'esprit d'une gestion adaptative, il sera pertinent de :

- ❖ Continuer d'évaluer l'efficacité des mesures de conservation.
 - Les navires commerciaux sont maintenant équipés de systèmes d'identification automatiques. Ces dispositifs permettent entre autres de surveiller la conformité aux mesures spatiales de conservation et d'encourager les parties prenantes à les appuyer en en démontrant les avantages. (Turgeon et al., 2018)
 - Le haut niveau d'adhésion aux mesures volontaires (Ménard et al., 2022) montre les avantages d'une inclusion des acteurs et actrices du territoire dans la planification, pratique pour laquelle le PMSSL est reconnu.
 - La surveillance des bateaux de plaisance est identifiée comme un défi par Ménard et al. (2022) qui suggèrent que des conditions plus chaudes pourraient en attirer davantage dans le PMSSL.
 - Malgré les avantages qu'amènent les mesures ciblant spécifiquement le béluga, une plus grande inclusion des autres mammifères marins dans l'approche spatiale pourrait étendre son succès et aider à **réduire le nombre de collisions qui est en hausse pour le rorqual commun et le rorqual à bosse selon le rapport d'état du Parc.**

En résumé, les mammifères marins font face à de multiples pressions d'origine anthropique qui risquent de provoquer la disparition de certains d'entre eux. En ce sens, les mammifères marins sont déjà fortement vulnérables à toute pression supplémentaire. Les changements climatiques pourraient modifier la disponibilité de leurs proies et constituent une menace identifiée comme prioritaire. Malgré cela, il persiste une absence de prévisions concrètes pour la majorité des proies des espèces en voie de disparition. Afin d'assurer la viabilité des populations de mammifères marins dans le Saint-Laurent face aux changements climatiques, l'écart de connaissance sur la menace de la baisse de disponibilité de proies doit être comblé rapidement. Ces efforts doivent être réalisés en parallèle et en synergie avec le développement des mesures de conservation qui réduisent l'effet des autres pressions d'origine anthropique.

Références Mammifères marins

Cabrol, J., Trombetta, T., Amaudrut, S., Aulancier, F., Sage, R., Tremblay, R., ... & Winkler, G. (2019). Trophic niche partitioning of dominant North-Atlantic krill species, *Meganyctiphanes norvegica*, *Thysanoessa inermis*, and *T. raschii*. *Limnology and Oceanography*, *64*(1), 165-181.

Chion, C., Turgeon, S., Cantin, G., Michaud, R., Ménard, N., Lesage, V., ... & Gravel, C. (2018). A voluntary conservation agreement reduces the risks of lethal collisions between ships and whales in the St. Lawrence Estuary (Québec, Canada): from co-construction to monitoring compliance and assessing effectiveness. *PLoS One*, *13*(9), e0202560.

Conversano, M., S. Turgeon et N. Ménard. (2017). Caractérisation de l'utilisation de l'embouchure du Saguenay et de la baie Sainte-Marguerite par le béluga du Saint-Laurent et par le trafic maritime entre 2003 et 2016. Analyse des données d'observation terrestre et recommandations sur des mesures de gestion visant à réduire le dérangement dans les aires de haute résidence du béluga dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent. Parcs Canada, Tadoussac, Québec. 122 p.

COSEPAC. (2019). Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), population de l'Atlantique et population du Pacifique, au Canada. Comité sur la situation des

espèces en péril au Canada. Ottawa. xvi + 80 p. (<https://www.canada.ca/fr/environnement-changementclimatique/services/registre-public-especes-peril.html>).

Davies, K. T., & Brillant, S. W. (2019). Mass human-caused mortality spurs federal action to protect endangered North Atlantic right whales in Canada. *Marine Policy*, 104, 157-162.

Gavrilchuk, K., Lesage, V., Fortune, S. M., Trites, A. W., & Plourde, S. (2021). Foraging habitat of North Atlantic right whales has declined in the Gulf of St. Lawrence, Canada, and may be insufficient for successful reproduction. *Endangered Species Research*, 44, 113-136.

Guilpin, Marie (2020). *Étude des interactions bioénergétiques entre le rorqual bleu *Balaenoptera musculus* et le krill dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent = Bioenergetic interactions between the blue whale *Balaenoptera musculus* and krill in the Estuary and Gulf of St Lawrence*. Thèse. Rimouski, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER), 288 p.

Hammill, M. O., Stenson, G. B., Doniol-Valcroze, T., & Mosnier, A. (2015). Conservation of northwest Atlantic harp seals: Past success, future uncertainty?. *Biological Conservation*, 192, 181-191.

Jory, C., Lesage, V., Leclerc, A., Giard, J., Iverson, S., Bérubé, M., ... & Nozais, C. (2021). Individual and population dietary specialization decline in fin whales during a period of ecosystem shift. *Scientific Reports*, 11(1), 17181.

Kershaw, J. L., Ramp, C. A., Sears, R., Plourde, S., Brosset, P., Miller, P. J., & Hall, A. J. (2021). Declining reproductive success in the Gulf of St. Lawrence's humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) reflects ecosystem shifts on their feeding grounds. *Global Change Biology*, 27(5), 1027-1041.

Lacroix-Lepage, Claudie (2018). *Analyse spatiale des assemblages de mammifères marins de l'estuaire du Saint-Laurent*. Mémoire. Rimouski, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER), 116 p.

Lesage, V. 2017. Examen de l'efficacité des mesures de rétablissement concernant le béluga de l'estuaire du Saint-Laurent. Rapport préparé pour Pêches et Océans Canada, Ottawa, 74 p.

Lesage, V. (2021). The challenges of a small population exposed to multiple anthropogenic stressors and a changing climate: The St. Lawrence Estuary beluga. *Polar Research*, 40.

Lesage, V., Gosselin, J. F., Lawson, J. W., McQuinn, I., Moors-Murphy, H., Plourde, S., ... & Simard, Y. (2018). *Habitats important to blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the western North Atlantic*. Canadian Science Advisory Secretariat (CSAS).

Lesage, V., Lair, S., Turgeon, S., & Béland, P. (2020). Diet of St. Lawrence Estuary Beluga (*Delphinapterus leucas*) in a changing ecosystem. *The Canadian Field-Naturalist*, 134(1), 21-35.

Martins, C. C., Turgeon, S., Michaud, R., & Ménard, N. (2018). Suivi des espèces ciblées par les activités d'observation en mer dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent de 1994 à 2017. *Le Naturaliste canadien*, 142(2), 65-79.

Martins, C.C.A., Turgeon, S., Michaud, R., and Ménard, N. (2022). Seasonal occurrence and spatial distribution of four species of baleen whales vulnerable to ship strikes in the Saguenay–St. Lawrence Marine Park (Quebec, Canada). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/012. v + 62 p.

McQuinn, I. H., Gosselin, J. F., Bourassa, M. N., Mosnier, A., St-Pierre, J. F., Plourde, S., ... & Raymond, A. (2016). *The spatial association of blue whales (*Balaenoptera musculus*) with krill patches (*Thysanoessa**

spp. and Meganyctiphanes norvegica) in the estuary and northwestern Gulf of St. Lawrence. Fisheries and Oceans Canada, Canadian Science Advisory Secretariat.

Ménard, N., Conversano, M., & Turgeon, S. (2018). La protection des habitats de la population de bélugas (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent: bilan et considérations sur les besoins de conservation. *Le Naturaliste canadien*, 142(2), 80-105.

Ménard, N., Turgeon, S., Conversano, M., & Martins, C. C. (2022). Sharing the waters: Application of a marine spatial planning approach to conserve and restore the acoustic habitat of endangered beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in and around the Saguenay–St. Lawrence Marine Park. *Marine Pollution Bulletin*, 175, 113325.

Meyer-Gutbrod, E. L., Davies, K. T., Johnson, C. L., Plourde, S., Sorochan, K. A., Kenney, R. D., ... & Greene, C. H. (2022). Redefining North Atlantic right whale habitat-use patterns under climate change. *Limnology and Oceanography*.

Meyer-Gutbrod, E. L., Greene, C. H., Davies, K. T., & Johns, D. G. (2021). Ocean regime shift is driving collapse of the North Atlantic right whale population. *Oceanography*, 34(3), 22-31.

Meyer-Gutbrod, E. L., Greene, C. H., & Davies, K. T. (2018). Marine species range shifts necessitate advanced policy planning: The case of the North Atlantic right whale. *Oceanography*, 31(2), 19-23.

Mosnier, A., Doniol-Valcroze, T., Gosselin, J.-F., Lesage, V., Measures, L., and Hammill, M.O. 2014. An age structured Bayesian population model for St. Lawrence Estuary beluga (*Delphinapterus leucas*). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/127. v + 39 p.

Mosnier A., Gosselin J.-F. et Lesage, V. (2022). Distribution saisonnière et concentration de quatre espèces de baleine à fanons dans l'estuaire du Saint-Laurent, basé sur 22 ans de données d'observations de Pêches et Océans Canada. Secr. can. des avis du MPO. Doc. de rech. 2020/053. iv + 121 p.

Mosnier, A., Larocque, R., Lebeuf, M., Gosselin, J.-F., Dubé, S., Lapointe, V., Lesage, V., Lefavre, D., Senneville, S., Chion, C. (2016). Définition et caractérisation de l'habitat du béluga (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent selon une approche écosystémique. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2016/052. vi + 93 p.

Pêches et océans Canada (MPO) (2012). Programme de rétablissement du béluga (*Delphinapterus leucas*), population de l'estuaire du Saint-Laurent au Canada, Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril, Pêches et Océans Canada, Ottawa, 93 + XI p.

Pêches et Océans Canada (MPO) (2016). Rapport sur les progrès de la mise en œuvre du programme de rétablissement du rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*), population de l'Atlantique NordOuest au Canada pour la période 2009-2014. Loi sur les espèces en péril, série de rapports sur les programmes de rétablissement. Pêches et Océans Canada, Ottawa. ii + 14 p.

Pêches et Océans Canada (MPO) (2017). Plan de gestion du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), population de l'Atlantique au Canada, Série de Plans de gestion de la Loi sur les espèces en péril, MPO, Ottawa, v + 41 p.

Pêches et Océans Canada (MPO) (2020a). Plan d'action pour le rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*), population de l'Atlantique nord-ouest, au Canada. Série de Plans d'action de la Loi sur les espèces en péril, Pêches et Océans Canada, Ottawa, iv + 27 pp.

Pêches et Océans Canada (MPO) (2020b). Plan d'action pour réduire l'impact du bruit sur le béluga et les autres mammifères marins en péril de l'estuaire du Saint-Laurent. Série de Plans d'action de la Loi sur les espèces en péril, Pêches et Océans Canada, Ottawa, iv + 34 p.

Pêches et Océans Canada (MPO) (2021). Plan d'action pour la baleine noire de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) au Canada. Série de plans d'action de la Loi sur les espèces en péril. Pêches et Océans Canada, Ottawa. vi + 50 p.

Pêches et Océans Canada (MPO) (2022a) Répartition spatiale et présence saisonnière du petit rorqual, rorqual à bosse, rorqual commun et rorqual bleu dans l'estuaire du Saint-Laurent. Secrétariat canadien des avis scientifiques, Pêches et Océans Canada, Ottawa, 12 p.

Pêches et Océans Canada (MPO) (2022b). Rapport sur les progrès de la mise en œuvre du programme de rétablissement du béluga (*Delphinapterus leucas*), population de l'estuaire du Saint-Laurent au Canada, pour la période 2012 à 2019. Série de rapports sur les programmes de rétablissement prévue dans la Loi sur les espèces en péril. Pêches et Océans Canada, Ottawa. iv + 77 p.

Pirotta, E., Schick, R. S., Hamilton, P. K., Harris, C. M., Hewitt, J., Knowlton, A. R., ... & Thomas, L. (2023). Estimating the effects of stressors on the health, survival and reproduction of a critically endangered, long-lived species. *Oikos*, e09801.

Plourde, S., Galbraith, P., Lesage, V., Grégoire, F., Bourdages, H., Gosselin, J.-F., McQuinn, I., and Scarratt, M. (2014). Ecosystem perspective on changes and anomalies in the Gulf of St. Lawrence: a context in support of the management of the St. Lawrence beluga whale population. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/129. v + 29 p.

Ramp, C., Delarue, J., Bérubé, M., Hammond, P. S., & Sears, R. (2014). Fin whale survival and abundance in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Endangered Species Research*, 23(2), 125-132.

Ramp, C., Delarue, J., Palsbøll, P. J., Sears, R., & Hammond, P. S. (2015). Adapting to a warmer ocean—seasonal shift of baleen whale movements over three decades. *PLoS One*, 10(3).

Scarratt, M., Michaud, S., Measures, L., Starr, M. (2014). Phycotoxin analyses in St. Lawrence Estuary beluga. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/124. v + 16 p.

Schleimer, A., Ramp, C., Plourde, S., Lehoux, C., Sears, R., & Hammond, P. S. (2019). Spatio-temporal patterns in fin whale *Balaenoptera physalus* habitat use in the northern Gulf of St. Lawrence. *Marine Ecology Progress Series*, 623, 221-234.

Shields, A. (2023, 22 février). Vers un Saint-Laurent sans glace?, *Le Devoir*. <https://www.ledevoir.com/environnement/782704/vers-un-saint-laurent-sans-glace> (Page consulté le 31 mars 2023).

Simard, Y., & Roy, N. (2018). Une décennie de suivis acoustiques continus des rorquals bleus, des rorquals communs et du krill dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent de 2007 à 2017. *Le Naturaliste Canadien*, 142(2), 106-114.

Sorochan, K. A., Plourde, S., Baumgartner, M. F., & Johnson, C. L. (2021). Availability, supply, and aggregation of prey (*Calanus* spp.) in foraging areas of the North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*). *ICES Journal of Marine Science*, 78(10), 3498-3520.

Turgeon, S., Martins, C. C., Chion, C., & Ménard, N. (2018). Le système d'identification automatique (AIS), un outil pour la gestion d'aires marines protégées: revue des applications au parc marin du Saguenay–Saint-Laurent. *Le Naturaliste canadien*, 142(2), 127-139.

Turgeon, S., 2019. Portrait de la navigation dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent - 2017. Parcs Canada, 59 pages + annexes.

Williams, R., Lacy, R. C., Ashe, E., Hall, A., Plourde, S., McQuinn, I. H., & Lesage, V. (2021). Climate change complicates efforts to ensure survival and recovery of St. Lawrence Estuary beluga. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113096.

Williams, R., Lacy, R.C., Ashe, E., Hall, A., Lehoux, C., Lesage, V., McQuinn, I., Plourde, S. (2017). Predicting responses of St. Lawrence beluga to environmental change and anthropogenic threats to orient effective management actions. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/027. v + 44 p.

3.6. Oiseaux

Sujet à approfondir

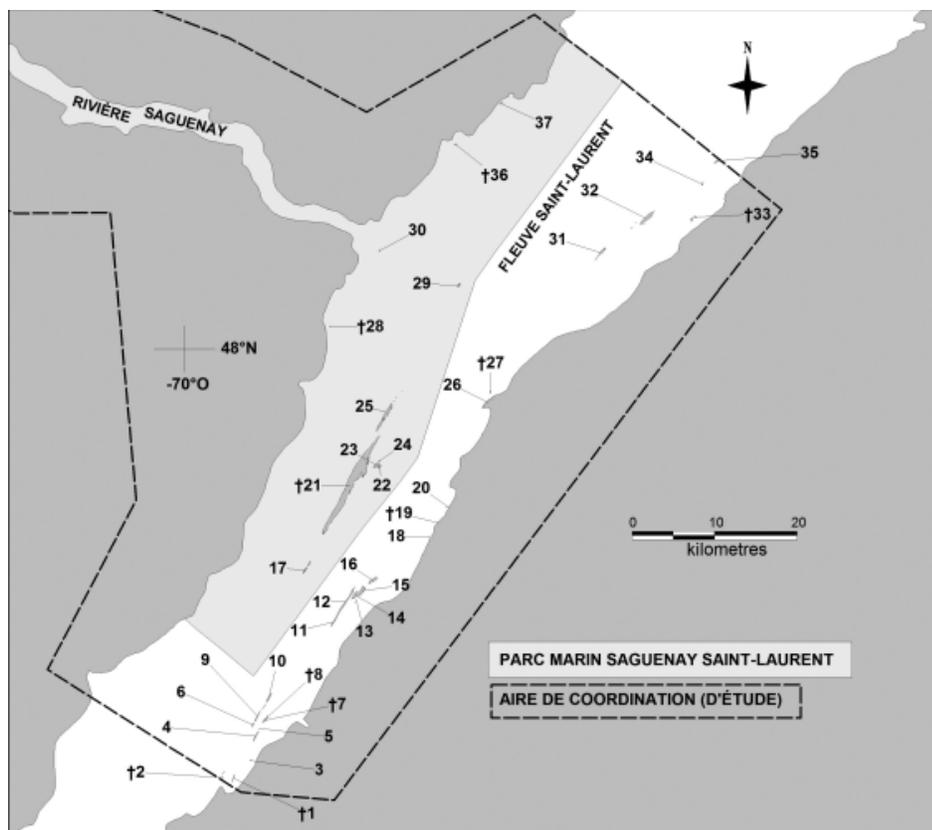
Les contraintes de temps pour réaliser la revue de littérature n'ont pas permis une recherche aussi exhaustive pour la section sur l'avifaune que pour les autres composantes des écosystèmes du PMSSL identifiés comme étant prioritaires. Quelques sources ont été retrouvées au cours de la revue de littérature et à la suite d'une brève recherche avec le mot-clé *Oiseau*. Ces articles sont présentés dans la présente section pour amorcer une réflexion sur la manière dont les changements climatiques affectent les oiseaux du parc marin. Malgré l'effort de recherche plus restreint, il semble tout de même exister une moins grande quantité d'information facilement accessible sur les oiseaux dans le PMSSL que pour les autres composantes.

Tableau 16 Résumé des pistes d'adaptation suggérées pour les oiseaux

Éléments exposés	Risque climatique	Maturité des connaissances	Pistes d'adaptation
Oiseaux	<p>À documenter</p> <p>Sensibilité à la réduction des habitats côtiers</p> <p>Saison de la mue particulièrement sensible</p> <p>Changements dans les répartitions</p> <p>Hausse</p>	Faible	<ul style="list-style-type: none"> ○ Collaboration avec ECCC ○ Meilleure intégration de la composante oiseaux dans le programme de surveillance du PMSSL ○ Réduction des pressions anthropiques ○ Mesures de conservation qui visent les proies des mammifères marins, et la protection des habitats côtiers ○ Permettre au PMSSL de tenir son rôle de pôle d'échange sur le territoire

Les oiseaux qui fréquentent le parc marin sont décrits dans le plan de conservation des écosystèmes du parc (Dionne, 2001). On y lit que le parc marin accueille environ 75 000 oies et canards durant leur migration printanière, que de nombreux oiseaux hivernent aussi dans le parc, dont 36 000 canards qui se rassemblent à l'embouchure des rivières et dans les baies et que plusieurs colonies se concentrent sur les îles de l'estuaire maritime.

À l'occasion des 20 ans du PMSSL, Lepage (2018) du Service canadien de la faune a résumé les informations disponibles sur la sauvagine dans le parc marin. Elle note l'importance de l'estuaire moyen et maritime comme aires de repos et d'alimentation de la sauvagine, autant pour les espèces qui passent par la région lors de leur migration que celles qui y hivernent comme les garrots. Pour plus de détails sur les oiseaux qui hivernent dans le parc marin, voir Savard (2009). La partie du PMSSL dans le Saguenay ne semble pas un lieu important pour la sauvagine, surtout en comparaison avec l'estuaire (Lepage, 2018). De son côté, Rail (2018) a décrit les colonies d'oiseaux marins nicheurs dans l'aire de coordination du PMSSL. Il note que les oiseaux marins partagent une bonne partie des habitudes alimentaires des mammifères marins, ce qui laisse présager que les enjeux de disponibilité de proies au fil des changements climatiques les concernent aussi. Les oiseaux nichent surtout sur les îles puisque la plupart ont leur nid au sol et doivent être protégés des prédateurs. Entre autres pour cette raison, il n'y a pas de colonies dans le secteur fjord du parc marin. L'article de Rail (2018) fait le point sur les inventaires du Service canadien de la faune et évalue à 27 le nombre de sites actifs abritant des colonies d'oiseaux marins (Rail, 2018).



- 1) île aux Harengs; 2) îles Bare; 3) îlot Julien; 4) île aux Corneilles; 5) La Caye; 6) Les Rochers; 7) île de la Providence; 8) île aux Patins; 9) île Brûlée; 10) La Grande île; 11) Le Petit Pèlerin; 12) Le Long Pèlerin; 13) rochers du Pèlerin du Milieu; 14) Le Pèlerin du Jardin; 15) Le Pèlerin du Milieu; 16) Le Gros Pèlerin; 17) île aux Fraises; 18) île au Rat; 19) île Lemoyne; 20) cayes à Carrier; 21) île aux Lièvres; 22) Le Pot du Phare; 23) Le Gros Pot; 24) Le Petit Pot; 25) île Blanche; 26) cap à Le Gros Cacouna; 27) rocher de Cacouna; 28) île du Chafaud aux Basques; 29) île Rouge; 30) îlet aux Alouettes; 31) île aux Pommes; 32) île aux Basques; 33) îlets D'Amours; 34) La Razade d'en Haut; 35) La Razade d'en Bas; 36) îlot à Les Bergeronnes; 37) cayes de Bon-Désir.

Figure 34 Emplacement des sites ayant été historiquement colonisés par les oiseaux marins pour la nidification, dans l'aire de coordination du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent.

Source : Rail (2018)

À part pour le garrot d'Islande, le Service canadien de la faune n'effectue pas de relevé spécifiquement dans le parc marin, mais ses données de suivi à échelle plus large peuvent être utilisées. Un suivi du garrot d'Islande par hélicoptère est réalisé tous les trois ans puisqu'il s'agit d'une espèce possédant le statut préoccupant selon la Loi sur les espèces en péril (Lepage, 2018). Le suivi du garrot d'Islande est intégré au programme de surveillance écologique du PMSSL. Il s'agit du seul indicateur concernant les oiseaux pour l'instant.

3.6.1. Vulnérabilité des oiseaux aux changements climatiques

Comme pour les autres prédateurs, les changements climatiques devraient affecter la disponibilité de proies. Le coincement des écosystèmes côtiers lié à la hausse du niveau de la mer pourrait diminuer la superficie des habitats importants pour les oiseaux marins. Dionne (2001) souligne que plusieurs oiseaux fréquentent le parc marin durant leur mue, ce qui constitue un facteur de vulnérabilité puisque la demande énergétique est grande pendant cette période.

3.6.2. Tendances et projections de l'évolution des habitats côtiers

La tendance des populations des 8 espèces d'oiseaux marins nicheurs dans le PMSSL est disponible dans Rail (2018).

Gahbauer et al. (2022) ont utilisé des modèles de distribution des espèces pour prédire le changement des assemblages d'oiseaux dans les parcs nationaux du Canada en été et en hiver selon un scénario de réchauffement de 2°C. Il est anticipé d'atteindre cette valeur de réchauffement entre 2040 et 2070.

Les résultats de cette étude prévoient un haut potentiel d'extinction locale d'oiseaux dans le parc marin en été. Selon les projections avec réchauffement de 2 °C, la richesse spécifique pourrait passer de 155 espèces à 117 en été. Le nombre total d'espèces devrait rester assez stable en hiver avec 82 espèces actuellement et 84 espèces potentiellement en conditions futures. Le matériel supplémentaire de l'article présente la tendance projetée pour chaque espèce du PMSSL. Dans un contexte de pression des changements climatiques, Gahbauer et al. (2022) soulignent que les aires protégées sont des solutions basées sur la nature efficace pour réduire les autres pressions qui menacent les oiseaux et pour favoriser la résilience de ces derniers.

3.6.3. Maturité des connaissances et pistes d'adaptation

Du peu d'information qui ressort de cette brève recherche sur les oiseaux du parc marin, il semblerait que le Service canadien de la faune soit le mieux renseigné et équipé pour suivre les populations d'oiseaux dans le PMSSL. La poursuite du travail en collaboration avec Environnement et Changements climatiques Canada sera donc profitable à la conservation des oiseaux dans le parc marin.

En contexte d'incertitude sur la manière dont les changements climatiques affecteront les oiseaux, il est possible de **réduire les pressions directes** apportées par les humains, notamment dans les zones où il y a de fortes concentrations d'oiseaux comme sur les îles. En effet, ces colonies peuvent être dérangées par l'humain. Les îles font déjà l'objet de protections et Bolduc et al. (2018) du Service canadien de la faune notent que selon la tendance générale des populations, le dérangement humain ne semble pas avoir d'effet négatif pour l'instant. Une **meilleure intégration de la composante oiseaux dans le programme de surveillance du PMSSL** permettrait d'assurer que cette tendance soit maintenue et d'identifier si le parc marin peut contribuer davantage à la conservation de l'avifaune avec les outils dont il dispose. De plus, les **mesures de conservation qui visent les proies des mammifères marins, et la protection des habitats côtiers** devraient favoriser aussi les oiseaux.

Lepage (2018) suggère que si le parc devait être agrandi dans la section de l'estuaire moyen, les oiseaux devraient être pris en compte davantage dans les mesures de protection, surtout si le littoral est inclus à l'intérieur des limites puisqu'il s'y trouve des secteurs clés pour l'avifaune. Cette recommandation est d'actualité puisque l'agrandissement du PMSSL a été annoncé en mars 2023. Lepage (2018) discute de la vulnérabilité des eiders dans l'estuaire moyen et d'éventuels conflits d'usage. Elle note aussi la pertinence de protéger l'ensemble de l'habitat du garrot d'Islande qui utilise les deux rives tout comme de nombreuses espèces qui se déplacent entre les deux secteurs. Elle termine en soulignant que, déjà dans ses limites actuelles, la protection qu'apporte le PMSSL aux aires d'alimentation sur la rive nord de l'estuaire est essentielle.

Les documents retrouvés pour la section oiseaux témoignent de la pertinence des articles de synthèse de l'information. Celles produites dans le cadre de la célébration des 20 ans du parc marin en 2018, pour laquelle un colloque scientifique avait été organisé, apportent des renseignements pertinents sur de nombreuses composantes (voir Bolduc et al., 2018). Il est raisonnable de penser que le PMSSL a déjà accès à de nombreuses informations de ses partenaires qui ne sont pas nécessairement publiés et qui ne ressortent donc pas dans une revue de littérature limitée aux publications. Cela dit, il semble que les 20 ans du parc marin aient donné lieu à une importante mise en commun de l'expertise. En ce sens, il sera

pertinent que le PMSSL continue **d'allouer les ressources nécessaires qui lui permettent de tenir son rôle de pôle d'échange sur le territoire** dont il a la responsabilité. Il pourrait être intéressant d'étendre ce rôle en augmentant la fréquence des rassemblements avec les acteurs et actrices du milieu (ex. : colloques), en encourageant le partage de données et les données ouvertes et en continuant de créer des postes de liaison avec les communautés (ex. : embauche en 2021 d'un agent dédié aux relations autochtones). La composante oiseaux est un exemple qui montre que le PMSSL ne peut pas couvrir tous les enjeux de ses écosystèmes seulement avec sa capacité interne. Il doit donc continuer de miser sur sa force qui est la collaboration pour continuer de développer son programme de surveillance écologique et arriver à prendre en compte concrètement les changements climatiques dans son prochain plan de gestion.

Références Oiseaux

- Gahbauer, M. A., Parker, S. R., Wu, J. X., Harpur, C., Bateman, B. L., Whitaker, D. M., ... & Lepage, D. (2022). Projected changes in bird assemblages due to climate change in a Canadian system of protected areas. *Plos one*, 17(1), e0262116.
- Rail, J.-F. (2018). Les oiseaux marins nicheurs dans l'aire de coordination du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent. *Le Naturaliste canadien*, 142(2), 47–54. <https://doi.org/10.7202/1047148a>.
- Lepage, C. (2018). Présence annuelle de la sauvagine dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent. *Le Naturaliste canadien*, 142(2), 55-64.
- Savard, J. P. L. (2009). Diversité, abondance et répartition des oiseaux aquatiques hivernant dans les eaux côtières et pélagiques du Parc marin Saguenay–Saint-Laurent. *Revue des sciences de l'eau*, 22(2), 353-371.
- Bolduc, F., Lepage, C., Rail, J.-F. (2018) Le suivi des oiseaux marins et de la sauvagine à l'intérieur du parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada. https://parcmarin.qc.ca/wp-content/uploads/2019/08/Fran%C3%A7ois_Bolduc_Colloque20ans_parc_marin.pdf.

Données utiles

[Banque informatisée des oiseaux marins du Québec \(BIOMQ\)](#)

4. Risque climatique pour le système social du PMSSL

Sujet à approfondir

La portée de la revue de littérature n'a pas permis d'effectuer une recherche approfondie du risque climatique sur les communautés et les activités humaines. Cependant, il sera important de couvrir ce volet dans le futur pour prendre en compte de manière intégrée les changements climatiques dans la gestion du PMSSL. L'inclusion des composantes humaines dans l'analyse des changements climatiques sera aussi en phase avec les indicateurs de suivi du parc qui incluent déjà des variables socio-économiques. Idéalement, dans une perspective de solutions basées sur la nature, les mesures de conservations entreprises dans le PMSSL apporteront des retombées qui favorisent l'adaptation des communautés qui vivent à proximité ou qui y pratiquent des activités. L'étude de ces relations pourrait permettre d'identifier les forces, faiblesses, opportunités et menaces des stratégies d'adaptation déjà en place et faire ressortir des possibilités d'amélioration.

La présente section oriente vers des ressources qui pourraient éventuellement aider à évaluer la vulnérabilité des communautés humaines et de leurs activités face aux changements climatiques et à élaborer des mesures qui renforcent leur résilience.

Tableau 17 Résumé des pistes d'adaptation suggérées pour les communautés humaines

Éléments exposés	Risque climatique	Maturité des connaissances	Pistes d'adaptation
Communautés humaines	n/d	n/d	<ul style="list-style-type: none"> ○ Besoin de poursuivre la revue de la littérature à ce sujet ○ Collaboration avec les autorités provinciales et les communautés ○ Déterminer comment le parc peut contribuer au maintien et l'amélioration de la santé, la sécurité et la qualité de vie des communautés
Activités	n/d	n/d	<ul style="list-style-type: none"> ○ Besoin de poursuivre la revue de la littérature à ce sujet : tourisme, transport maritime, activités récréatives, moteurs de développement économique régional

4.1. Communautés humaines

Il serait intéressant de rassembler les informations existantes sur la vulnérabilité face aux changements climatiques des communautés humaines de l'aire de coordination du PMSSL en termes de risques sur la santé et le bien-être. Notamment, l'INSPQ pilote actuellement le [programme VRAC-PARC](#) qui a pour but d'évaluer la vulnérabilité à l'échelle régionale face aux changements climatiques.

Il serait alors plus facile d'identifier comment le parc marin peut contribuer à la réduction de ces risques (par exemple la construction d'un capital social à travers ses plateformes de concertation, la création d'un sentiment d'appartenance qui améliore la situation psychosociale, etc.). Voici des sources pour alimenter ce travail :

- [Demers-Bouffard, D. \(2021\). Les aléas affectés par les changements climatiques: effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation. Institut national de santé publique du Québec, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, 368 p.](#)

Synthèse des connaissances sur la manière dont les changements climatiques affectent la santé (Québec)

- [Berry, P., et Schnitter, R. \(éd.\). \(2022\). La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir. Ottawa \(Ontario\) : gouvernement du Canada.](#)

Synthèse des connaissances sur la manière dont les changements climatiques affectent la santé (Canada)

- [Kenny, T. A., Archambault, P., Ayotte, P., Batal, M., Chan, H. M., Cheung, W., ... & Lemire, M. \(2020\). Oceans and human health—navigating changes on Canada’s coasts. *Facets*, 5\(1\), 1037-1070.](#)

Synthèse des liens entre l’océan et la santé dans un contexte de changements.

- [Alberti-Dufort, A., Bourduas Crouhen, V., Demers-Bouffard, D., Hennigs, R., Legault, S., Cunningham, J., Larrivée, C. et Ouranos \(2022\). Québec; Chapitre 2 dans *Le Canada dans un climat en changement : Le rapport sur les Perspectives régionales*, \(éd.\) F.J. Warren, N. Lulham, D.L. Dupuis et D.S. Lemmen; Gouvernement du Canada, Ottawa \(Ontario\).](#)

Cette synthèse provinciale présente entre autres des facteurs de vulnérabilité de la population du Québec face aux changements climatiques comme l’âge, la santé et la défavorisation

- [Bleau Nathalie, Bisailon Alexandrine, Duval Valérie. \(2018\). Inventaire et suivi de l’utilisation des ressources en adaptation des milieux urbains aux changements climatiques. Rapport présenté à Ouranos. Montréal : 38 p. + annexes.](#)

Recensement dans une base de données accessible des ressources existantes pour l’adaptation municipale.

- [Publications de l’Observatoire québécois de l’adaptation aux changements climatiques](#)

Plusieurs publications qui traitent des comportements d’adaptation aux changements climatiques et des déterminants de leur adoption sur les plans individuels et organisationnels

- [L’atlas interactif de la vulnérabilité de la population québécoise aux aléas climatiques](#)

Cartes interactives de la vulnérabilité aux vagues de chaleur et aux aléas hydrométéorologiques.

- [Climat changeant, collectivités changeantes : guide et cahier d’exercices pour l’adaptation municipale aux changements climatiques du Conseil international pour les initiatives écologiques locales \(ICLEI\) \(2020\).](#)

Guide pour élaborer des plans d’adaptation municipaux

- [Noblet, M., & Brisson, G. \(2017\). Adaptation to climate change in Quebec’s coastal zone: a difficult transformation of public action. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 9\(03\), 282-298.](#)

Montre comment la transformation de l'action publique nécessaire à l'adaptation reste difficile à travers l'exemple des zones côtières au Québec. L'approche technico-scientifique est toujours dominante et limite une approche plus transversale.

4.2. Activités

Les changements climatiques auront un effet sur la pratique des activités dans le parc marin, dont le tourisme, le transport maritime et la pêche récréative. D'importantes questions au sujet de l'évolution de ces activités devraient être étudiées pour assurer l'adaptation du PMSSL :

- Est-ce que des températures de l'air plus chaudes vont faire augmenter l'achalandage dans la région du parc marin et se traduire en une plus grande pression du secteur récréotouristique, entre autres, des activités d'observation en mer plus fréquentes?
- Est-ce que la réduction du couvert de glace va mener à une augmentation du trafic maritime en hiver?
- Est-ce que la diminution de l'épaisseur de glace pourrait compromettre la pratique de la pêche blanche?

Voici quelques sources pour alimenter une éventuelle recherche sur l'effet des changements climatiques sur les activités pratiquées dans le PMSSL :

- [Lefebvre, M-C., Archambault, P et Lemire, M. \(2021\). État des connaissances sur les nutriments et les contaminants biologiques et chimiques pouvant être présents dans les moules bleues de l'estuaire du Saint-Laurent ainsi que leurs effets potentiels sur la santé humaine. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 3232: vi + 52 p.](#)

Les floraisons d'algues toxiques sont abordées et mises en relation avec la consommation des moules bleues par les humains

- [Wade, Fatou \(2020\). Pêches commerciales et changement climatique dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent : impacts économiques et mesures d'adaptations. Mémoire. Rimouski, Université du Québec à Rimouski, Unités départementales des sciences de la gestion, 125 p.](#)

État de la situation et de l'évolution potentielle des impacts du changement climatique et de ses liens avec les composantes bioéconomiques dans l'écosystème marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

- [Lapointe, D., Lebon, C., & Guillemard, A. \(2016\). Adaptation processes of peripheral coastal tourism communities in Québec, Canada. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 201, 79-90.](#)

Étude de cas à Tadoussac et à Notre-Dame-du-Portage sur la manière dont les changements climatiques et le discours qui s'y rattache modifient l'espace touristique

- [Krieger, Sarah-Jane \(2016\). Écologisation d'un « centaure » ? : analyse d'une appropriation différenciée des enjeux environnementaux par les usagers récréatifs de nature. Thèse. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Département sociétés, territoires et développement, 352 p.](#)

Étude comparative entre le PMSSL et un parc marin en France afin de comprendre comment « les usagers des espaces de nature, à travers leurs pratiques récréatives territorialisées, s'approprient les enjeux environnementaux »

- [Lebon, Marie Coralie Lauriane \(2018\). « De l'espace touristique à l'espace risque : adaptation et changements climatiques, le cas de Tadoussac au Québec » Mémoire. Montréal \(Québec, Canada\), Université du Québec à Montréal, Maîtrise en développement du tourisme.](#)

Étude sur le processus socio-environnemental de transformation d'un espace touristique en espace à risque à travers le cas de Tadoussac.

- [Gagnon-Lewis, C. \(2022\). Plongée aux frontières du capitalisme: la valeur de la pêche wolastoqiyik à l'oursin vert dans l'estuaire du Saint-Laurent \(Doctoral dissertation, Université d'Ottawa/University of Ottawa\).](#)

Signification de l'oursin vert pour la première nation Wolastoqiyik Wahsipekuk dans un contexte de précarité climatique.

- [Tessier-Moreau, Ariane \(2022\). Évolution des profils, attentes et de la satisfaction des participants aux croisières d'observation des mammifères marins dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent, étude comparative de 1999 et 2021. Mémoire. Rimouski, Université du Québec à Rimouski, Unités départementales des sciences de la gestion, 165 p.](#)

Description des changements dans les profils, les attentes et la satisfaction des clients des croisières aux baleines dans le PMSSL. Le nombre de bateaux rencontré lors des croisières a diminué, les attentes quant à la proximité avec les baleines a diminué et la satisfaction s'est améliorée sur plusieurs aspects de l'expérience.

5. Discussion et conclusions

Tableau 18 Aperçu préliminaire du risque climatique sur les écosystèmes du PMSSL

	Stress graduel					Chocs			Effets indirects		Synthèse		
	Augmentation de la température de l' eau	Variation de la salinité et de la stratification	Diminution de la couverture de glace	Acidification	Hypoxie	Augmentation du niveau de la mer	Tempêtes, vents et vagues	Érosion et submersion	Vagues de chaleur marines	Floraison algues toxiques	Baisse disponibilité de proies	Risque climatique	Maturité des connaissances
Habitats pélagiques	↑↑	↑	↑	↑	↑	-	↑	-	↑	↑	↑	Élevé (Sensibilité à plusieurs aléas) En hausse	Forte
Habitats benthiques	↑↑	↑	-	↑↑↑	↑↑↑	-	-	-	↑	↑	?	Élevé (Conditions extrêmes des profondeurs) En hausse	Moyenne
Habitats côtiers	↑	↑	↑	-	-	↑	↑	↑	↑	↑	-	Moyen (Érosion localisée) En hausse	Moyenne (Forte pour l'estuaire, mais difficulté d'accès aux données et faible pour le fjord)
Poissons	↑	↑	-	↑↑	↑↑	-	-	-	↑	↑	?	Moyen (Vulnérabilité dépend de l'espèce) En hausse	Moyenne
Mammifères marins	↑	↑	↑	-	-	-	-	-	↑	↑	↑***	Élevé (une baisse des proies serait critique) En hausse	Forte, mais besoin pressant d'une connaissance mature

Maturité des connaissances Sur l'effet de l'exposition prévue à l'aléa		Exposition et intensité de l'aléa		Vulnérabilité	
	Faible	?	Les projections ne sont pas claires à savoir si l'exposition à cet aléa va augmenter ou diminuer	Jaune	La composante est sensible à cet aléa, mais a une assez bonne capacité d'adaptation intrinsèque
	Moyenne	↑	L'exposition à cet aléa et son intensité devraient augmenter	Orange	La composante est sensible à l'aléa et il n'est pas certain que sa capacité d'adaptation intrinsèque soit suffisante
	Forte	↑↑	L'exposition à cet aléa et sa force sont élevées et devraient continuer d'augmenter	Rouge	La composante est hautement sensible à cet aléa et pourrait dépasser sa capacité intrinsèque à s'adapter
	Mature	↑↑↑	L'exposition à cet aléa et sa force augmentent et s'approchent de valeurs extrêmes	Rouge***	La composante est extrêmement sensible à cet aléa
-	Pas de ressource retrouvée pendant la revue de littérature qui traite de cette interaction	↓	L'exposition à cet aléa devrait diminuer		

Pour résumer les multiples sources analysées, nous suggérons ci-haut un tableau préliminaire d'appréciation globale des risques climatiques sur les différents écosystèmes du PMSSL (tableau 18). Il présente l'exposition et l'intensité de l'aléa, une appréciation qualitative du degré de vulnérabilité et la maturité des connaissances sur ces sujets. Les oiseaux et le système humain n'ont pu être inclus en raison du manque de ressources et des contraintes. Cette version est issue de l'accumulation des connaissances lors de ce mandat et des avis d'experts de l'équipe d'encadrement, mais gagnerait certainement à faire l'objet d'ateliers de discussion avec les intervenants et intervenantes du PMSSL et des experts et expertes académiques.

5.1. Messages clés

5.1.1. Risques climatiques

- La température de l'eau dans les écosystèmes du parc marin augmente à cause du réchauffement de l'air, mais aussi à travers une augmentation de la contribution des eaux chaudes et salées du Gulf Stream qui entrent dans le chenal laurentien et traversent le golfe du Saint-Laurent jusqu'à la tête du chenal où se trouve le PMSSL. Le zooplancton est directement sensible à cette hausse de la température et malgré une bonne capacité d'adaptation intrinsèque de certaines espèces, il n'est pas certain si elle est suffisante face à l'ampleur des changements attendus. L'abondance, la distribution et la composition du zooplancton sont dépendantes de phénomènes physiques et biogéochimiques à l'échelle de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent qui pourraient être modifiés au fil des changements climatiques. Les organismes étudiés dans la composante habitats pélagiques sont la base du réseau trophique. **Sensibles aux conditions de leur environnement, les changements qu'ils risquent fortement de subir vont se propager dans les écosystèmes du PMSSL à travers la modification de la disponibilité des proies pour les prédateurs.** Par exemple, les copépodes ont besoin d'eau froide dans leur cycle de vie et une diminution généralisée de leur biomasse est projetée pour un scénario de fortes émissions. Cette diminution affectera leurs consommateurs, dont le krill qui lui est consommé par de nombreux rorquals. Pour le parc marin, cela peut représenter une modification des aires d'alimentation et donc des zones et des périodes de fréquentation par les mammifères marins.
- La concentration en oxygène dissous dans les profondeurs du chenal laurentien continue de chuter et l'acidification, menace directe pour les organismes avec des coquilles ou des squelettes en carbonates, s'y poursuit aussi. **Les conditions en eaux profondes de l'estuaire maritime sont maintenant dans des conditions extrêmes.** La zone hypoxique et acide devrait continuer de s'agrandir au fil des changements climatiques. De plus, les habitats benthiques, où vivent de nombreux mollusques, cnidaires, échinodermes et crustacés, font directement face à l'augmentation drastique de la température dans les profondeurs du chenal laurentien.
- Les habitats côtiers subissent la plupart des aléas abordés pour les autres composantes du parc. Le cas de l'érosion et de la submersion a été discuté plus particulièrement. Les falaises meubles de l'estuaire à la hauteur du PMSSL sont sensibles à l'érosion. Certains sites précis subissent une forte érosion par exemple dans les secteurs de Pointe-au-Bouleau et de Pointe aux Vaches. La diminution du couvert de glace devrait réduire la protection contre l'érosion durant l'hiver. Aussi, les falaises empêchent les écosystèmes côtiers de migrer vers les terres à mesure qu'ils disparaissent sous la montée du niveau de la mer. **L'évaluation de la vulnérabilité des milieux côtiers mériterait d'être priorisée par le parc marin d'autant plus qu'un agrandissement éventuel vers la rive sud de l'estuaire ajouterait de nombreux marais maritimes à l'intérieur de ses limites.**
- Les poissons et les mammifères marins ont des fenêtres de préférences de température. Certaines espèces pourraient être favorisées par exemple le sébaste qui a connu une hausse de biomasse dans les dernières années, potentiellement grâce à l'augmentation de la température de l'eau qui a augmenté la synchronisation de son développement avec celui de ses proies. D'autres espèces sont défavorisées par l'augmentation de la température du fond et l'agrandissement de la zone

hypoxique comme le flétan du Groenland qui pourrait connaître un important déclin même avec un scénario de réchauffement futur modéré.

- Le béluga du Saint-Laurent, le rorqual bleu et la baleine noire de l'Atlantique Nord sont en voie de disparition. Plusieurs facteurs d'origine anthropique constituent des menaces à leur rétablissement. **Si les changements climatiques mènent à une baisse de la disponibilité de leurs proies (dont leur qualité), la situation des mammifères marins en danger pourrait fortement s'aggraver.** Par exemple, le rorqual bleu dont la population de l'Atlantique nord-ouest ne comporte qu'environ 400 individus ne se nourrit que de krill et une baisse de biomasse et de qualité de cette proie entraîne directement une diminution de sa capacité à stocker de l'énergie.
- La baisse de disponibilité de proies pourrait aussi mener à un changement de répartition des mammifères marins, ce qui pourrait rendre les mesures de conservation spatiales actuelles inefficaces (voir le cas de la baleine noire dans la section sur les mammifères marins).
- Une augmentation de la stratification est prévue dans l'estuaire maritime. La revue de littérature **n'a pas permis d'éclaircir si le processus de remontée des eaux à la tête du chenal pourrait subir des modifications au fil des changements climatiques.** Puisqu'il s'agit d'un mécanisme essentiel, responsable de la grande biodiversité du PMSSL, cette question est primordiale.
- **Tous les organismes vivants sont vulnérables face à une éventuelle augmentation des floraisons d'algues toxiques.**
- **Les vagues de chaleur marines pourraient devenir un phénomène préoccupant** pour les écosystèmes du PMSSL, mais la maturité des connaissances est faible par rapport à cet aléa.

5.1.2. Maturité des connaissances

- Le fjord est nettement moins bien couvert par la recherche que l'estuaire du Saint-Laurent. On observe cette situation autant dans les publications scientifiques que dans les rapports d'organisations gouvernementales, comme le MPO qui étudie beaucoup l'estuaire maritime. D'importantes lacunes sont à combler dans les connaissances sur l'effet des changements climatiques sur l'écosystème du fjord du Saguenay.
- En général, la description des écosystèmes est très avancée dans le parc marin et des suivis permettent de surveiller l'évolution de plusieurs composantes. Afin de mieux tenir compte des changements climatiques, il reste cependant à développer des capacités de projection de l'évolution des écosystèmes dans les conditions futures. D'importantes avancées dans ce domaine ont été réalisées dans les dernières années par des équipes de recherche au Québec et au Canada. Ces progrès suggèrent qu'un plus grand recours à la modélisation serait possible pour le PMSSL à travers des partenariats scientifiques et apporterait de nombreuses applications pour la gestion de l'aire protégée et la prise en charge de l'adaptation aux changements climatiques.
- La connaissance des phénomènes qui imposent un stress graduel est beaucoup plus avancée que celle liée à la prévision des événements extrêmes. Il faudrait développer ces connaissances ainsi que la capacité à répondre en cas d'urgence. Cette recommandation s'applique aussi à la prévision des floraisons d'algues toxiques. Les effets dévastateurs de cet aléa commencent à être bien connus et on commence à modéliser leur répartition et leur fréquence dans un climat futur. Cela

dit, il n'y a pas encore de système de prévision à court terme et les mesures en place ne permettent que de limiter le risque pour les populations humaines.

- Les phénomènes de l'hypoxie et de l'acidification sont bien étudiés, mais il persiste un écart dans la capacité à prévoir ses répercussions sur les communautés benthiques. Le PMSSL pourrait contribuer à combler cet écart, car sa vision écosystémique lui permet d'aller plus loin que l'étude des espèces d'intérêt commercial.
- La situation de plusieurs poissons est bien connue et les facteurs qui les influencent aussi. Cela dit, ces connaissances se concentrent sur les espèces ayant un intérêt commercial et les études concernent souvent des zones hors du PMSSL. De plus, les conditions changeantes de l'écosystème et les relations au sein du réseau trophique ne sont pas encore bien prises en compte dans l'évaluation des stocks de pêche.
- L'étude de l'érosion à l'échelle du Saint-Laurent est avancée, mais cette information n'est pas encore intégrée à la gestion du PMSSL (ce volet est en développement). Cet écart pourrait être comblé assez rapidement si la conservation des milieux côtiers est identifiée comme une priorité dans le futur, puisque les données de base déjà disponibles et les capacités scientifiques actuelles permettent la production de nombreuses informations utiles à la prise de décision. Cela dit, l'évaluation des enjeux d'érosion et de submersion pour la section du fjord du Saguenay aurait un plus long chemin à parcourir, car elle n'est pas appuyée par les données sur les côtes maritimes.
- Même si les mécanismes de la remontée des eaux à la tête du chenal laurentien sont bien connus, aucune mention des changements qu'elle pourrait subir n'a été retrouvée au cours de la revue de littérature.
- Les mammifères marins, surtout le béluga, font l'objet de nombreuses recherches dans le PMSSL. Malgré toutes les avancées des dernières années dans la connaissance, les espèces en voie de disparition peinent à se rétablir. Dans le but d'être assurés de mettre en place les mesures de rétablissement et de protection les plus efficaces qui soient, la science doit aller encore plus loin dans sa connaissance des mammifères marins et dans sa prédiction de ce qu'impliquent les conditions futures. Notamment, il manque de précision sur la manière dont la disponibilité de proies évoluera dans les années à venir face aux changements climatiques. On craint une baisse de disponibilité de proies de qualité, mais des conclusions plus claires spatialement et temporellement aideraient à la mise en place de mesures ciblées et à justifier l'importance de la réduction des menaces sur lesquelles il est plus facile d'agir comme le bruit sous-marin, le dérangement par les bateaux et les contaminants.

5.2. Recommandations

Des pistes de recherche et des idées de mesures à mettre en place pour favoriser la résilience des écosystèmes du PMSSL ont émergé au fil de la littérature, soit en tant que solutions évidentes pour combler les lacunes des connaissances, soit en tant que suggestions directes émises par les expertes et experts dans leurs publications. Ces recommandations peuvent être regroupées en orientations générales qui sont présentées ici :

Recommandation 1 : Continuer à miser sur les partenariats et la collaboration pour répondre aux questions scientifiques

Le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent offre une structure unique pour les échanges entre parties prenantes qui vivent dans son territoire ou s’y intéressent. Il s’agit aussi d’un lieu où la recherche peut donner lieu à des actions concrètes de conservation. La revue de littérature a rendu compte de l’abondance de recherches dans le Saint-Laurent, mais il semble persister un écart dans la capacité à intégrer efficacement la science à la gestion. Le PMSSL se démarque déjà dans la résolution de cet enjeu, mais il y a aussi place à l’amélioration et au déploiement d’une plus grande concertation des milieux de la recherche. Dans un contexte où les ressources dédiées à la recherche sont limitées, la création d’espaces qui favorisent la collaboration scientifique sera cruciale. Au sein de ces espaces, le PMSSL pourra agir comme porte-étendard d’une approche écosystémique. Le colloque scientifique organisé en 2018 à l’occasion des 20 ans du parc marin donne un bon exemple des possibilités d’un rassemblement de l’expertise. Dans ce sens, l’option de rendre permanente une plateforme d’échange similaire semble avantageuse.

Aussi, une recommandation d’ordre général pour tout le milieu de la recherche et à laquelle le PMSSL pourrait participer est l’amélioration de l’accessibilité et du partage de données. L’Observatoire global du Saint-Laurent est un bon exemple de plateforme qui peut favoriser l’accessibilité des données. Pour l’instant, ce répertoire n’est pas complet et on y trouve surtout les résultats de recherches ponctuelles. En général, une bonne pratique serait l’adoption des principes des données FAIR (Faciles à trouver, Accessibles, Interopérables, Réutilisables).

En plus de continuer à alimenter ses propres espaces de collaboration, le parc marin gagnera à s’impliquer davantage dans les regroupements déjà existants, par exemple Québec Océan (le PMSSL en est un allié) qui rassemble les équipes de recherche québécoises en océanographie.

Dans le même ordre d’idée, la mise en place de mesures qui favorisent l’adaptation devra impliquer les acteurs et actrices du territoire concerné. L’inclusion des communautés humaines dans la démarche d’adaptation des écosystèmes du PMSSL pourrait apporter d’importantes retombées pour l’adaptation du système social.

Recommandation 2 Adopter une vision préventive à travers la projection de conditions futures

Les connaissances sur les écosystèmes du PMSSL s’arrêtent souvent à la description ou au suivi des tendances. La modélisation et la projection des écosystèmes en conditions futures seront essentielles devant l’ampleur des changements attendus. La revue de littérature a permis d’avoir un aperçu des capacités actuelles dans ce domaine. Des exemples inspirants montrent comment le PMSSL pourrait trouver dans les dernières avancées scientifiques des applications concrètes et utiles à la gestion. Entre autres, une évaluation plus détaillée de la vulnérabilité des écosystèmes du parc marin pourrait être avantageuse.

Recommandation 3 Comblent l’écart des connaissances dans le fjord du Saguenay

Le manque de connaissances dans le fjord du Saguenay a été soulevé à plusieurs reprises dans cette revue de littérature. Le fjord est un milieu riche exposé à de nombreuses pressions qui mérite une plus

grande attention, surtout dans le contexte où on en sait peu sur la manière dont il évoluera au fil des changements climatiques.

Recommandation 4 Bonifier le programme de surveillance écologique : Habitats benthiques, Habitats côtiers, Copépodes, Suivi des pêches récréatives

Développer un indicateur pour les habitats benthiques permettrait de suivre l'évolution de la zone hypoxique et de s'assurer de la santé des populations. Une approche basée sur des espèces indicatrices ainsi qu'une évaluation à l'échelle des communautés pourraient être privilégiées.

Le développement d'un indicateur sur les habitats côtiers permettra d'assurer que les milieux côtiers ont l'espace nécessaire pour s'adapter face aux enjeux de submersion et d'érosion. Ce suivi éventuel permettra aussi d'identifier d'autres menaces sur les habitats côtiers. Le littoral étant un lieu d'interaction entre les communautés côtières et le milieu aquatique, le développement de l'indicateur sur les habitats côtiers est une opportunité de rapprochement entre le parc marin et les utilisateurs du territoire.

Malgré la réduction du couvert de glace, la pratique de la pêche blanche semble en augmentation. De plus, il n'y a pas encore de suivi des pêches récréatives l'été. Des évaluations des populations de poissons indépendantes des données de récoltes permettraient de s'assurer de la viabilité de communautés de poissons dans le PMSSL.

Au-delà de l'inclusion de nouveaux indicateurs au programme de surveillance écologique, la poursuite du développement des indicateurs actuels sera essentielle. Par exemple, pour les poissons-proies et le zooplancton, le développement du suivi hydroacoustique sera indispensable pour clarifier l'évolution des habitats pélagiques dans le parc marin.

Recommandation 5 En l'absence de certitude, continuer à travailler sur la réduction des pressions pour lesquelles l'impact est clair et sur lesquelles il est possible d'agir :

La revue de littérature oriente vers des pistes de recherche pour être mieux apte à adopter des mesures préventives. Toutefois, dans un contexte de ressources pour la recherche limitées, les mesures qui favorisent la santé des écosystèmes même en l'absence d'un effet fort des changements climatiques sont à prioriser. Ces mesures incluent toutes celles qui visent la réduction du dérangement et du bruit par les bateaux, la réduction des contaminants et la fermeture d'accès aux milieux sensibles. Dans ce même ordre d'idée, le principe de précaution dans la gestion des activités qui pourraient comporter un risque pour la vie marine devrait être appliqué, tant que l'absence d'impact n'a pas été démontrée. Ainsi, le moratoire sur la pêche au krill devrait être maintenu et la pêche au chalut dans les limites du parc marin devrait être interdite.

5.3. Pistes pour donner suite à la revue de littérature et dépasser ses limites

D'abord, tout le volet qui concerne l'adaptation des communautés humaines et l'impact des changements climatiques sur les activités pratiquées dans le PMSSL gagnerait à être étudié plus en profondeur. Une évaluation de la vulnérabilité des services écosystémiques permettrait une priorisation des éléments qui ont une haute valeur pour les communautés et permettrait de mettre en lumière les bénéfices de la conservation des écosystèmes pour le système social. De plus, cette analyse pourrait souligner la contribution importante du PMSSL comme solution fondée sur la nature pour faire face aux changements

climatiques. Ensuite, une meilleure connaissance des enjeux de l'avifaune dans le PMSSL viendrait compléter la vision écosystémique du parc. En outre, la gouvernance tient une place importante dans le cadre conceptuel qui permet de comprendre les socioécosystèmes. Une évaluation de l'efficacité du système de gouvernance du parc marin à répondre aux changements climatiques pourrait être une piste de recherche intéressante. L'outil [R-SAT \(Resilience Self-Assessment Tool\)](#) permet de produire un aperçu rapide des points forts et faibles de la résilience d'une aire protégée marine à partir d'un atelier collaboratif d'une à deux heures.

Une retombée possible de la revue de littérature est la mise en place de ses recommandations. L'équipe du PMSSL sera libre d'évaluer la faisabilité et la pertinence des suggestions présentées dans ce document qui se veulent des sources d'inspiration. Aussi, Scott Parker de Parcs Canada a assemblé une base de données qui rassemble de nombreuses mesures d'adaptation (disponible [ici](#)).

La revue de littérature est un survol préliminaire des publications qui aideront à évaluer la vulnérabilité des écosystèmes du PMSSL aux changements climatiques. Cela dit, la prochaine étape devrait faire intervenir les scientifiques qui disposent d'une large expertise à ce sujet et impliquer les parties prenantes du territoire dans la démarche d'adaptation. Après cette étape, il serait pertinent que le PMSSL partage les résultats de sa prise en compte des changements climatiques avec le grand public. Heath et al. (2021) offrent un exemple inspirant de document complet, rédigé par de nombreux spécialistes, qui vulgarise les effets des changements climatiques sur la vie marine de l'Arctique en faisant appel à des illustrations.

Référence Discussion et conclusions

Heath, M. R., Benkort, D., Brierley, A. S., Daewel, U., Hofmeister, R., Laverick, J. H., ... & Speirs, D. C. (2021). How is climate change affecting marine life in the Arctic?. *Changing Arctic Ocean*, 78.

Annexe A Présentation du tableau des ressources pour l'adaptation du PMSSL

ID	Numéro d'identification selon l'ordre de saisi dans le tableau
Ressource	La citation complète de la ressource en style APA
Année	L'année de publication de la ressource
Organisation	L'organisation qui publie la ressource s'il y a lieu.
Type ressource	La forme que prend la ressource -Rapports d'organisation non gouvernementale -Rapports d'organisation gouvernementale -Article scientifique -Thèse - Mémoire -Jeux de données -Plateforme de données -Livre -Outil
Type information	Le type de contenu de la ressource : -Cadre -Programme -Méthodologie -Information -Données non spatialisées -Données spatialisées -Recommandations
Proposition	Ce dont traite la ressource en quelques mots
Éléments du socioécosystème	Composantes du socioécosystème auxquelles la ressource fait référence. Plusieurs composantes peuvent être cochées pour une même ressource: -Habitats côtier -Habitats pélagiques -Habitats benthiques -Poissons -Mammifères marins -Oiseaux -Services écosystémiques -Systèmes humains
Aléas liés aux changements climatiques	-Température de l'eau -Température de l'air -Salinité et stratification -Conditions de la glace -Acidification -Hypoxie -Augmentation du niveau de la mer -Tempêtes, vents, vagues

	<ul style="list-style-type: none"> -Submersion -Érosion -Vagues de chaleur marine
Territoire cible	<ul style="list-style-type: none"> Estuaire maritime Estuaire moyen Fjord du Saguenay Golfe du Saint-Laurent PMSSL International Canada Québec MRC ou communauté autochtone
Mesures d'adaptation	Cocher X si la ressource propose des exemples de mesures d'adaptation pouvant être mises en place
Lien avec aires protégées	<ul style="list-style-type: none"> -AMP si la ressource est en lien direct avec les aires marines protégées -AP si la ressource est en lien direct avec les aires protégées -NA si la ressource n'est pas en lien direct avec les aires protégées
Public cible	<p>Le groupe auquel semble s'adresser la ressource :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Décideurs -Scientifiques -Général -Autre
Information pertinente adaptation PMSSL	Résumé des points saillants de la ressource et de l'information pertinente à l'adaptation du PMSSL
Commentaires	Information additionnelle variée
Lien	Le lien vers la ressource lorsque possible
Disponibilité des données	Commentaire sur la manière d'accéder aux données (ex. : sur demande) et si elles sont sous licence.

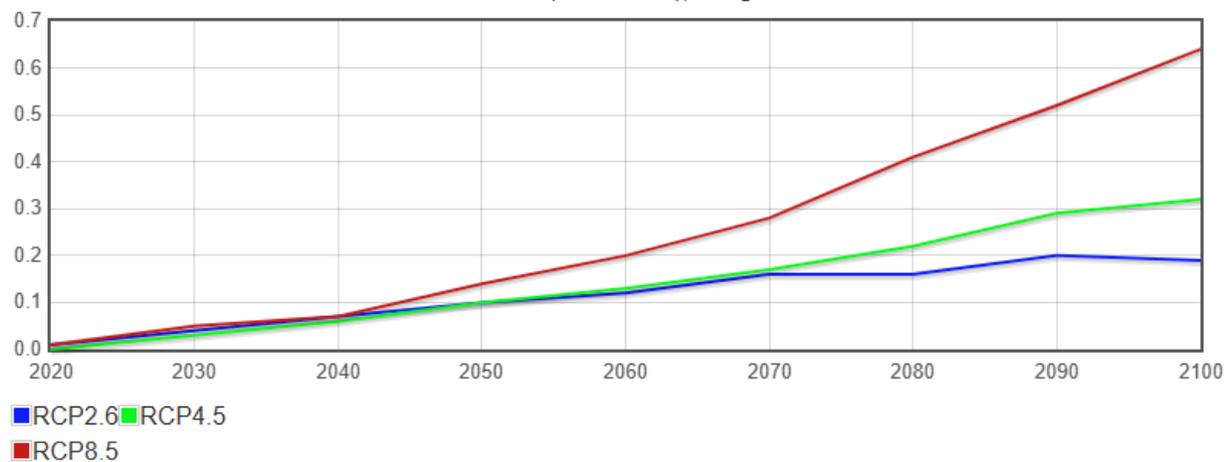
Annexe B Capture d'écran d'une partie du tableau de caractérisation des ressources

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE			
1	ID	Ressource	Année	Organisation	Type ressource	Type information	Proposition	Composantes du socioécosystème							Aléas liés au climat										Territoire									
2								Habitats côtiers	Habitats pélagiques	Habitats benthiques	Poissons	Mammifères marins	Oiseaux	Service écosystémiques	Systèmes humains	Température de l'eau	Température de l'air	Sécheresse et stratification	Conditions de la glace	Acidification	Hypoxie	Niveau de la mer	Tempêtes, vents, vagues	Submersion	Erosion	Vagues de chaleur marine	International	Canada	Québec	MRC, municipalité ou communauté autochtone	PMSL			
3	1	Ollier, Angélique (2017). Effet de la température sur les taux métaboliques et l'activité de nage spontanée de deux espèces de krill de l'estuaire du Saint-Laurent, <i>Meganyctiphanes norvegica</i> et <i>Thysanoessa raschii</i> . Mémoire. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski, 124 p.	2017	ISMER	Mémoire	Information	Expérience en laboratoire afin d'étudier l'impact de la température sur les 2 principales spp. De krill		x							x																		
4	2	Leclerc, Alexandra (2015). <i>Écologie alimentaire du rorqual commun (Eubalaena physalus) dans l'Estuaire et le Golfe du Saint-Laurent</i> . Mémoire. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Département de biologie, chimie et géographie, 120 p.	2015	LIQAR	Mémoire	Information	Écologie alimentaire du rorqual commun (Eubalaena physalus) dans l'Estuaire du Saint-Laurent pour la période 1996-2006		x			x																						
5	3	Genevieve (2012). <i>Utilisation des isotopes stables dans l'évaluation de l'origine des populations zooplanktoniques d'une aire marine protégée: le cas des Calanus spp. dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent</i> . Québec, Canada. Mémoire. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER), 123 p.	2012	ISMER	Mémoire	Information	Évaluer l'origine de populations zooplanktoniques du PMSL		x																								x	
6	5	Gulpin, Marie (2020). <i>Étude des interactions bioénergétiques entre le</i>																																

Figure 35 Capture d'écran d'une partie du tableau de caractérisation des ressources

Annexe C Allocation verticale calculée avec l’outil OCANEE du MPO à la station Les Escoumins

Allocation verticale en mètres LES ESCOUMINS (BASQUES), QC gare 4035



	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
RCP2.6	0.01	0.04	0.07	0.1	0.12	0.16	0.16	0.2	0.19
RCP4.5	0	0.03	0.06	0.1	0.13	0.17	0.22	0.29	0.32
RCP8.5	0.01	0.05	0.07	0.14	0.2	0.28	0.41	0.52	0.64

Figure 36 Allocation verticale calculée avec l’outil OCANEE du MPO à la station Les Escoumins.

Source: MPO (2016)

Annexe D Figure complète des 193 taxons étudiés dans Beaulieu 2020

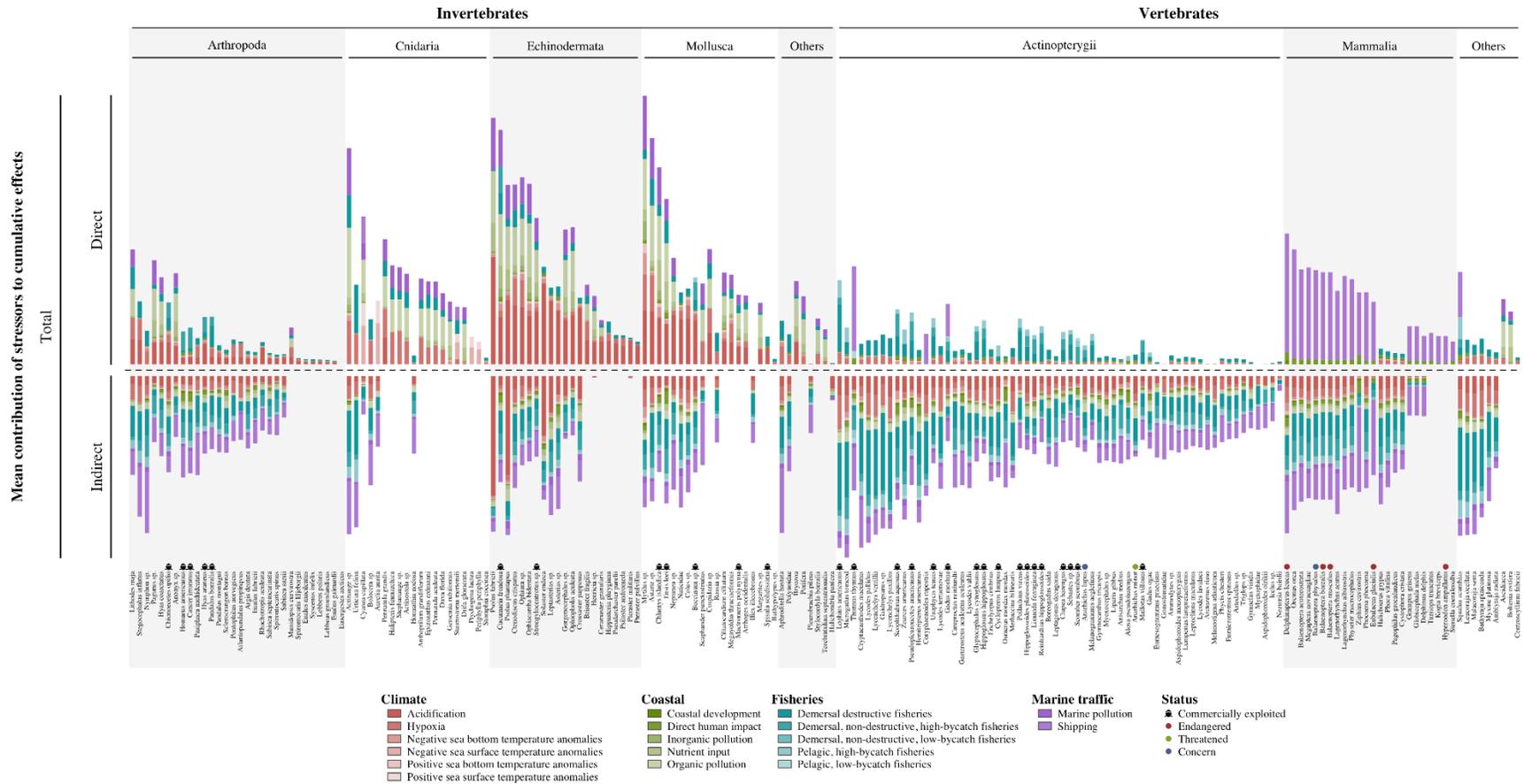


Figure 37 Contribution moyenne de 18 stressors aux effets cumulatifs régionaux sur 193 taxons du système Saint-Laurent.

Source : Beaulieu (2020)

Annexe E Plages et seuils de température et d'oxygène dissous de 54 espèces importantes pour la pêche ou la conservation

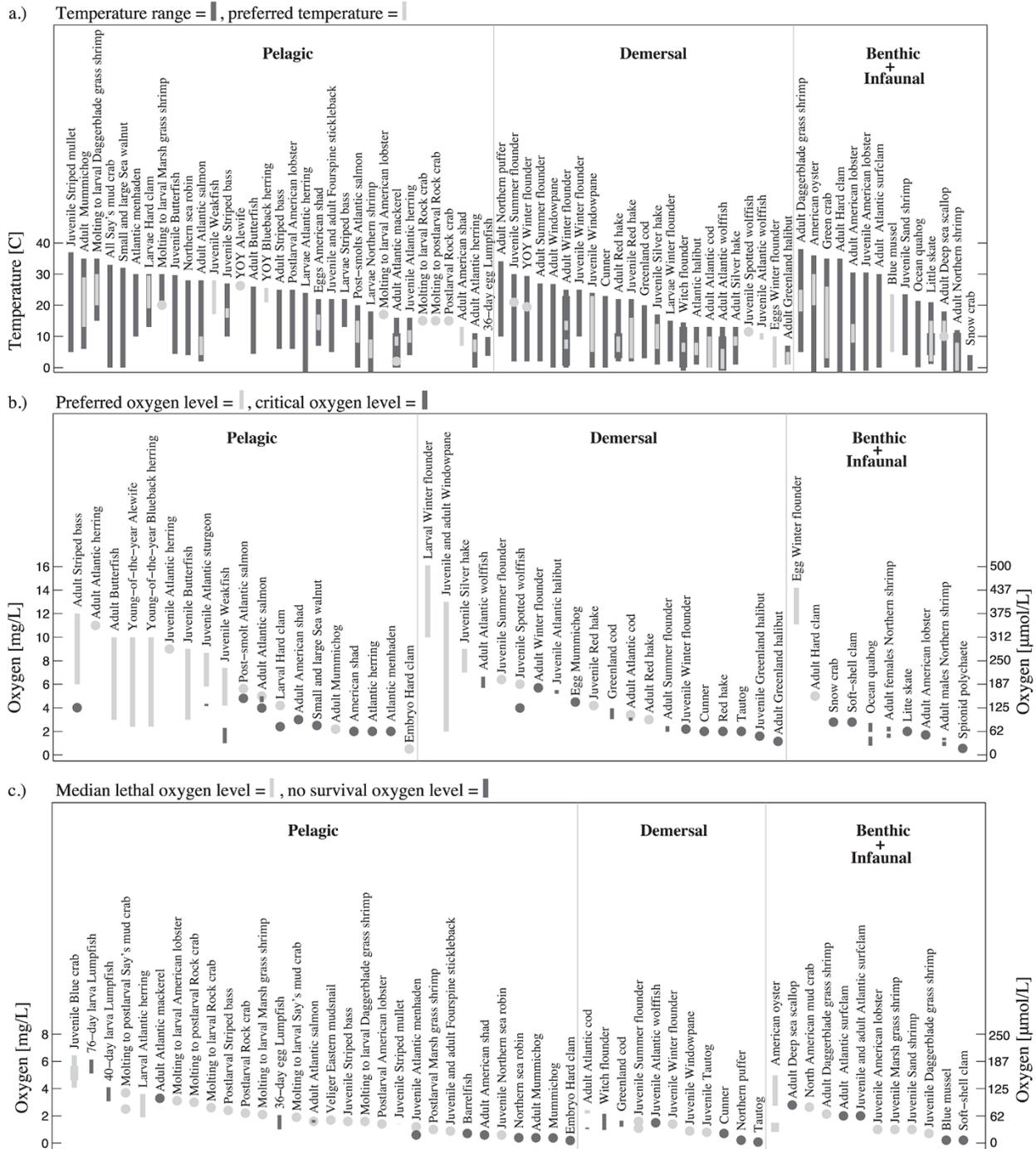


Figure 38 Plages et seuils de température et d'oxygène dissous de 54 espèces importantes pour la pêche ou la conservation.

Source : Brennan et al. (2016)

Annexe F Mammifères marins qui fréquentent le Parc marin Saguenay-Saint-Laurent non inclus dans la revue de littérature

Tableau 19 Mammifères marins qui fréquentent le Parc marin Saguenay-Saint-Laurent non inclus dans la revue de littérature

Nom commun	Nom scientifique	Statut selon LEP (année d'attribution)	Statut COSEPAC (année de la dernière évaluation)	Fréquentation du PMSSL
Baleine à bec commune (EVD)	<i>Hyperoodon ampullatus</i>	En voie de disparition (2006)	En voie de disparition (2011)	Exceptionnel
Marsouin commun	<i>Phocoena phocoena</i>	En attente	Préoccupante (2022)	Saisonnier
Phoque commun	<i>Phoca vitulina concolor</i>	Non inscrite	Non en péril (2007)	Résident
Petit rorqual	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Non inscrite	Non en péril (2006)	Saisonnier
Phoque du Groenland	<i>Pagophilus groenlandica</i>	-	-	Saisonnier
Phoque gris	<i>Halichoerus grypus</i>	Non inscrite	Non en péril (1999)	Saisonnier
Rorqual à bosse population Atlantique Nord	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Non inscrite	Non en péril (2003)	Occasionnel
Dauphin à nez blanc	<i>Lagenorhynchus acutus</i>	Non inscrite	Non en péril (1998)	Exceptionnel
Dauphin à flancs blancs	<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	Non inscrite	Non en péril (1991)	Exceptionnel
Globicéphale noir	<i>Globicephala melaena</i>	Non inscrite	Non en péril (1994)	Exceptionnel
Épaulard	<i>Orcinus orca</i>	En attente	Préoccupante (2008)	Exceptionnel
Cachalot macrocéphale	<i>Physeter macrocephalus</i>	Non inscrite	Non en péril (1996)	Occasionnel
Phoque à capuchon	<i>Cystophora cristata</i>	Non inscrite	Non en péril (1986)	Exceptionnel
Narval	<i>Monodon monoceros</i>	En attente	Préoccupante (2004)	Exceptionnel