

» ÉTAT DES LIEUX

DES PÊCHES ET DE L'AQUACULTURE AU QUÉBEC EN LIEN
AVEC LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES



CRÉDITS ET REMERCIEMENTS

Auteurs : Valérie Bourduas Crouhen, Robert Siron et Anne Blondlot (Ouranos)

Réviseurs/Collaborateurs :

Chapitre 1 : Julie Boyer (MAPAQ), Olivier Paquet (MAPAQ), Julie Roy (Table filière de l'aquaculture en eau douce du Québec), Evelyne Dufault (MPO), Martial Ménard (MPO), Laurent DaSilva (Ouranos), Denis Lacerte (MAPAQ).

Chapitre 2 : Hélène Côté (Ouranos), Travis Logan (Ouranos), Blaise Gauvin St-Denis (Ouranos), Michel Gilbert (MPO), Peter Galbraith (MPO), Michael Scarratt (MPO), Richard Turcotte (DRH-MDDELCC), Jean-François Cyr (DRH-MDDELCC).

Chapitre 3: Julie Boyer (MAPAQ), Madeleine Nadeau (Merinov), Céline Audet (RAQ), Réjean Tremblay (RAQ), Yvan Lambert (MPO), Nathalie Simard (MPO), Claude Savenkoff (MPO), Chris McKindsey (MPO).

Infographisme : Émélie Charette-Paquette

Crédits Photos : Mathieu B. Morin p. 38, 57, 60.

Citation suggérée : Bourduas Crouhen V., Siron, R. & Blondlot, A. (2017). État des lieux des pêches et de l'aquaculture au Québec en lien avec les changements climatiques. Montréal, Québec. Ouranos, 84 p.

Juin 2017



550 Sherbrooke Ouest, 19^e étage
Montréal (Québec)
H3A 1B9

TABLE DES MATIÈRES

» CHAPITRE 1

» 1. Introduction	1
» 2. Pêche commerciale marine	2
2.1 Situation actuelle	2
2.2 Importance régionale	4
» 3. Transformation des produits de la mer	5
3.1 Situation actuelle	5
3.2 Importance régionale	6
» 4. Pêche commerciale en eau douce	7
4.1 Situation actuelle	7
4.2 Importance régionale	9
» 5. Aquaculture marine	10
5.1 Situation actuelle	10
5.2 Importance régionale	11
» 6. Aquaculture en eau douce	12
6.1 Situation actuelle	12
6.2 Importance régionale	12
» 7. Pêche récréative	13
7.1 Situation actuelle	13
7.2 Importance régionale	14
» 8. Pêche autochtone de subsistance	15
8.1 Situation actuelle	15
8.2 Importance régionale	15
» Références	17

» CHAPITRE 2

» 1. Évolution des principales variables climatiques	19
1.1 Température de l'air	19
1.2 Précipitations	20
» 2. Évolution des variables caractérisant le milieu aquatique	21
2.1 Température de l'eau de surface	21
2.1.1 Eau salée	21
2.1.1 Eau douce	22
2.2 Niveaux d'eau	23
2.3 Régime hydrique	27
2.4 Glaces marines	28
2.5 Salinité	29
2.6 Oxygène dissous	31
2.7 Potentiel Hydrogène (pH)	33
2.8 Événements météorologiques extrêmes	33
2.8.1 Ouragan	33
2.8.2 Cyclone	33
2.8.3 Orages et tempêtes	33

2.9 Vagues	34
2.10 Courants marins	34
» 3. Conclusion	34
» Références	35

» CHAPITRE 3

» 1. Introduction	39
» 2. Pêches commerciales marines	39
2.1 Principaux impacts	39
2.2 État des connaissances	42
» 3. Transformation des produits de la mer	45
3.1 Principaux impacts	45
» 4. Aquaculture marine	46
4.1 Principaux impacts	46
4.2 État des connaissances	47
» 5. Aquaculture en eau douce	48
5.1 Principaux impacts	48
5.2 État des connaissances	49
» 6. Pêche commerciale en eau douce	50
6.1 Principaux impacts	50
6.2 État des connaissances	51
» 7. Pêche récréative	53
7.1 Principaux impacts	53
7.2 État des connaissances	54
» 8. Pêche de subsistance	58
8.1 Principaux impacts	58
8.2 État des connaissances	59
» Références	61

» CHAPITRE 4

» 1. Introduction	70
» 2. Mesures d'adaptation générale	72
» 3. Mesures d'adaptation en milieu marin	73
» 4. Mesures d'adaptation en eau douce	74
» Références	75

» CHAPITRE 5

» 1. Caractéristiques recommandées pour une étude sur les pêches ou l'aquaculture en lien avec les changements climatiques	78
» 2. Efforts de recherche identifiés en milieu marin	79
» 3. Efforts de recherche identifiés en eau douce	80
» Références	81

» ANNEXE 1 - Tableau des principaux ministères, organisations, instituts et centres de recherche au Québec actifs en recherche sur les pêches et l'aquaculture	82
--	----

LISTE DES TABLEAUX

» CHAPITRE 1

TABLEAU 1	Nombre d'entreprises de l'industrie des pêches et de l'aquaculture commerciales au Québec pour 2014 (MAPAQ, 2015).	1
TABLEAU 2	Principales espèces pêchées commercialement en milieu marin en fonction de la valeur des débarquements en milliers de dollars (K\$) (MAPAQ, 2016).	3
TABLEAU 3	Principales espèces pêchées commercialement en milieu marin en fonction de la quantité des débarquements en tonnes (t) (MAPAQ, 2016).	3
TABLEAU 4	Répartitions des entreprises de pêches commerciales marines entre 2010 et 2014 au Québec (MAPAQ, 2015).	4
TABLEAU 5	Les régions les plus importantes pour la pêche commerciale marine au Québec en fonction de leur débarquement en tonnes (t) et leur valeur en milliers de dollar (k\$) pour 2015 (MAPAQ, 2015).	4
TABLEAU 6	Importance de la transformation des produits marins pour le Québec maritime en 2013 (MAPAQ, 2015, 2016).	6
TABLEAU 7	Principales espèces pêchées commercialement en eau douce en fonction de la valeur des débarquements en milliers de dollars (k\$) (MAPAQ, 2013b, 2016).	8
TABLEAU 8	Principales espèces pêchées commercialement en eau douce en fonction de la quantité de débarquement en tonnes (t) (MAPAQ, 2013b, 2016).	8
TABLEAU 9	Évolution du nombre de pêcheurs et aide-pêcheurs commerciaux en eau douce au Québec (MAPAQ, 2013b, 2016).	9
TABLEAU 10	Principales espèces de l'aquaculture marine au Québec en fonction de la valeur de production en milliers de dollars (k\$) (MAPAQ, 2015, 2016).	10
TABLEAU 11	Principales espèces de l'aquaculture marine au Québec en fonction de la quantité de production en tonnes (t) (MAPAQ, 2015, 2016).	10
TABLEAU 12	Répartitions des entreprises maricoles entre 2010 et 2014 au Québec (MAPAQ, 2015).	11
TABLEAU 13	Principales espèces cultivées en mariculture au Québec en fonction des régions de production (MPO, 2009).	11
TABLEAU 14	Principales espèces produites en aquaculture en eau douce au Québec en fonction de la valeur des débarquements en milliers de dollars (K\$) (MPO, 2014).	12
TABLEAU 15	Principales espèces produites en aquaculture d'eau douce au Québec en fonction du volume de production en tonnes (t) (MAPAQ, 2015).	12
TABLEAU 16	Nombre de jours-pêche et dépenses annuelles selon l'espèce pêchée pour 2012 (Éco Ressources, 2014).	13
TABLEAU 17	Dépenses effectuées en activités de pêche récréative en 2012 par région, en M\$ (Éco Ressources, 2014).	14
TABLEAU 18	Estimation des débarquements en nombre de poissons prélevés par la pêche de subsistance autochtone au Québec pour le saumon de l'Atlantique entre 2009-2014 (Cauchon, 2015).	15
TABLEAU 20	Principaux types de pêches en association avec les ministères responsables de faire respecter les lois et règlements les concernant au Québec.	16

» CHAPITRE 2

TABLEAU 1	Synthèse des impacts des changements climatiques sur le régime hydrique du Québec méridional à l'horizon 2050 (extrait de CEHQ, 2015).	27
------------------	--	----

LISTE DES FIGURES

» CHAPITRE 1

- FIGURE 1** | Répartition des valeurs de transformation en millions de dollar (M\$) des principaux produits pour 2014 (données préliminaires) (MAPAQ, 2016). 5
- FIGURE 2** | Principales destinations des exportations en pêche et aquaculture au Québec pour 2015 en millions de dollars (M\$) (MAPAQ, 2016). 5
- FIGURE 3** | Carte représentant l'interdiction de pêcher la perchaude dans le secteur du fleuve indiqué en orange (MFFP, 2014). 7

» CHAPITRE 2

- FIGURE 1** | Précipitations totales annuelles observées pour la période 1971-2000 (panneau gauche) et projetées (panneaux droits) pour l'horizon 2050 (2041-2070). La moyenne observée est calculée à partir des données CRU TS 3.21. Les cartes futures présentent la médiane de l'ensemble ainsi que les 10^e et 90^e percentiles de 29 scénarios climatiques futurs. Les scénarios climatiques futurs ont été produits selon la méthode « delta » appliquée aux observations (Charron, 2014), utilisant des simulations CMIP5 (RCP 8.5) (Ouranos, 2015). 20
- FIGURE 2** | Températures de l'eau dans le golfe du Saint-Laurent. La moyenne de la température de la mer en surface (SST) entre mai et novembre dans le golfe excluant l'estuaire (ligne rouge, 1986-2015), complété par un proxy basé sur les températures de l'air entre avril et novembre (ligne pointillée rouge, 1873-1984). Les températures des couches à 200 et 300 m pour le golfe du Saint-Laurent (lignes vertes). L'index de température minimum de la couche intermédiaire froide dans le golfe du Saint-Laurent (ligne bleue). Les moyennes climatiques basées sur la période 1981-2010 sont indiquées par de minces lignes sur le côté droit de la figure. Inspiré de (Benoît, Gagné, Savenkoff, Ouellet, & Bourassa, 2012) (Galbraith *et al.*, 2016). 21
- FIGURE 3** | Différence de température de surface de l'eau (°C) entre 2040-2069 (horizon 2050) et 1980-2009 (climat de référence) pour (a) janvier et (b) juillet (Long *et al.*, 2016). 22
- FIGURE 4** | Déplacement vertical actuel de la croûte terrestre (en millimètres par an) extrapolé à partir du modèle ICE-5G d'ajustement isostatique glacial. Le niveau relatif de la mer est en train de chuter dans les régions où la terre s'élève rapidement, comme dans la baie d'Hudson. Les régions qui s'affaissent, comme la majeure partie des Maritimes, subissent une hausse du niveau relatif de la mer supérieure à celle enregistrée à l'échelle du globe (Warren & Lemmen, 2014). 23
- FIGURE 5** | Distribution spatiale des tendances à long terme des changements de la moyenne annuelle du niveau relatif de la mer. Les tendances à la hausse et à la baisse coexistent dans cette région puisque ce territoire se trouve dans une zone de transition entre le rebond postglaciaire et l'affaissement. La hausse du niveau global de la mer est compensée / augmentée par le rebond territorial / affaissement régional. En comparaison, le graphique en haut à gauche représentant Churchill montre l'intensité du rebond territorial au nord-ouest du Canada (Xu *et al.*, 2013). 24
- FIGURE 6** | Hausse du niveau relatif de la mer obtenue par la différence entre les moyennes des périodes 2081-2100 et 1985-2006. Les cartes représentent la valeur médiane de l'ensemble des projections du GIEC basées sur le scénario de GES RCP 8.5 (a) et RCP 4.5 (b). Le calcul du niveau relatif de la mer inclut les contributions des glaciers, des calottes glaciaires, du stockage terrestre, de l'expansion thermique, de l'effet de baromètre inverse et de l'ajustement isostatique (Ouranos, 2015). 25
- FIGURE 7** | Prévisions de l'élévation du niveau relatif de la mer d'ici 2100 pour la valeur médiane du scénario à émissions élevées (RCP 8.5; selon James *et al.*, 2014) (Savard, Van Proosdij, & O'Carroll, 2016). 26
- FIGURE 8** | Le volume de glace saisonnier maximal et l'aire incluant la portion du plateau néo-écossais (excluant la glace de moins de 15 cm d'épaisseur), la durée de la saison des glaces et l'anomalie de la température de l'air de décembre à mars. La relation linéaire indique des pertes de 17 km³, 30 000 km² et 14 jours de saison des glaces en mer pour chaque augmentation de 1 °C de la température de l'air en hiver (Galbraith *et al.*, 2016). 28
- FIGURE 9** | Série temporelle du volume de glace (km³) en mars dans le golfe du Saint-Laurent (1970-2060) (Galbraith *et al.*, 2016). 28

FIGURE 10 Salinité pour 1951-2009 et 1979-2009 (a) à la surface et (b) à 50 m de profondeur. La taille des barres est proportionnelle à la tendance. L'intensité de la couleur de la barre (rouge pour une hausse, bleu pour une diminution) indique le seuil observé (p-valeur) (Hebert, 2013).	29
FIGURE 11 Différence de salinité annuelle entre 2040-2069 (horizon 2070) et 1980-2009 (climat de référence) à (a) la surface, (b) 52 m et (c) 112 m (Long <i>et al.</i> , 2016).	30
FIGURE 12 Séries temporelles moyennes de l'oxygène dissous entre 295 m et le fond du bassin central de l'estuaire du Saint-Laurent. La ligne horizontale correspond environ à 30 % de saturation et marque le seuil des conditions hypoxiques. En plus de la série temporelle d'oxygène dissous (bleu clair), le panneau indique également la température (bleu foncé) à 300 m dans l'estuaire (Galbraith <i>et al.</i> , 2016).	31
FIGURE 13 Les bas niveaux d'O ₂ dissous dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2012. Les données d'O ₂ sont issues de capteurs calibrés déployés durant plusieurs séances d'échantillonnage du MPO en 2012 (Shackell <i>et al.</i> , 2013).	32

» CHAPITRE 3

FIGURE 1 Distribution de l'omble de fontaine <i>Salvelinus fontinalis</i> (a) Distributions courante et potentielles sous le scénario de changement climatique GCM2(IS92a) en 2020 (b), et 2050 (c) (projection géographique). (Chu, Mandrak, & Minns, 2005).	54
FIGURE 2 Distribution de l'achigan à petite bouche <i>Micropterus dolomieu</i> . (a) Distributions courante et potentielles sous le scénario de changement climatique CGCM2(IS92a) en (b) 2020, et (c) 2050 (projection géographique). (Chu, Mandrak, & Minns, 2005).	56
FIGURE 3 Distribution de l'omble de l'Arctique, <i>Salvelinus alpinus</i> (a) Distributions courante et potentielles sous le scénario de changement climatique CGCM2(IS92a) en (b) 2020, et (c) 2050 (projection géographique). (Chu, Mandrak, & Minns, 2005).	59

» CHAPITRE 4

FIGURE 1 Étapes d'un cadre d'adaptation aux changements climatiques (Charron, 2014). Adapté de (Eyzaguirre & Warren, 2014).	71
--	----

SIGLES ET ACRONYMES

°C	Degré Celsius
cm	Centimètre
CMI	Commission mixte internationale
CO ₂	Gaz carbonique
CSMOPM	Comité sectoriel de main d'œuvre des pêches maritimes
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
G\$	Milliard de dollars
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
k\$	Milier de dollars
M\$	Million de dollars
m	Mètre
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
MPO	Ministère des Pêches et des Océans du Canada
O ₂	Oxygène
PIB	Produit intérieur brut
RCP	<i>Representative Concentration Pathway</i> -- Trajectoire de concentration représentative

GLOSSAIRE

Anadrome	Poisson vivant en eau salée, mais se reproduisant en eau douce
Catadrome	Poisson vivant en eau douce, mais se reproduisant en eau salée
Mariculture	Aquaculture ou élevage dans le milieu naturel marin
Modèle climatique	Représentation numérique du système climatique basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composantes, leurs interactions et leurs processus de rétroaction, et qui représentent certaines ou toutes ses propriétés connues.
Période de retour ou récurrence	Moyenne à long terme du temps de retour statistique d'un événement hydrologique donné (CEHQ, 2015).
Pisciculture	Élevage de poissons peu importe le milieu (eau douce, saumâtre ou salée)
Projection climatique	La partie future des simulations de modèles climatiques. Elle est basée sur des hypothèses portant notamment sur les développements socioéconomiques et technologiques futurs qui peuvent ou non se produire et est donc soumise à l'incertitude.
Representative Concentration Pathway (RCP)	Scénarios qui comprennent des séries temporelles d'émissions et de concentrations de la gamme complète de gaz à effet de serre et d'aérosols de même que des gaz chimiquement actifs et de l'utilisation des terres. Le mot « <i>Representative</i> » signifie que chaque RCP fournit seulement un des nombreux scénarios possibles qui mèneraient aux caractéristiques particulières de forçage radioactif. Quatre RCP ont été sélectionnés comme bases des projections climatiques utilisés dans le cinquième rapport du GIEC (GIEC, 2014).
RCP4.5 et RCP6.0	Profils de stabilisation intermédiaires, où le forçage radiatif se stabilise à environ 4,5 W/m ² et 6,0 W/m ² après 2100 (GIEC, 2014).
RCP8,5	Profil haut dans lequel le forçage radiatif excède 8,5 W/m ² en 2100 et continue de croître pendant un certain temps encore (GIEC, 2014).



» CHAPITRE 1

—
PORTRAIT SOCIOÉCONOMIQUE

» 1. INTRODUCTION

Les pêches et l'aquaculture sont des secteurs au cœur de l'économie du pays. En 2015, le Canada a exporté pour 5,9 G\$ en poissons et crustacés (621 453 tonnes) soit environ 85 % des débarquements du pays (Gouvernement du Canada, 2015; Statistiques Canada, Division du commerce international, 2015a). Les espèces principalement exportées sont le homard, le crabe des neiges, la crevette nordique ainsi que le saumon de l'Atlantique d'élevage et le pétoncle. Ces secteurs sont d'une importance notable puisqu'en 2014, ils ont généré près de 76 044 emplois au Canada (MPO, 2015a). D'ailleurs, l'aquaculture est actuellement l'industrie de production alimentaire qui évolue le plus rapidement dans le monde (Gouvernement du Canada, 2015).

Au Québec, l'importance socio-économique des pêches et de l'aquaculture commerciales est non négligeable. Le Québec est le 5^e plus grand exportateur au Canada avec une valeur estimée à 285 M\$ et des quantités évaluées à 19 925 tonnes en poissons, fruits de mer et mollusques pour 2015 (Statistiques Canada, Division du commerce international, 2015b). Plus spécifiquement, ce secteur est primordial à la survie économique du Québec maritime, soit la Gaspésie, les Îles-de-la-Madeleine, la Côte-Nord et le Bas-Saint-Laurent.

Ce chapitre met de l'avant tous les types d'activités rattachés à ce secteur incluant la pêche commerciale des espèces marines, la pêche commerciale des espèces d'eau douce et des espèces migratrices, l'aquaculture en eau salée (mariculture) ainsi que l'aquaculture en milieu terrestre (pisciculture) en plus de l'industrie de transformation (**Tableau 1**).

Une section traite également de la pêche récréative qui est comptabilisée différemment puisqu'elle est plutôt rattachée à l'industrie touristique. Ce type de pêche est une source de revenus importante pour l'État québécois représentant des retombées économiques de plus de 1 G\$ par année (Gouvernement du Québec, 2013). Une section est également dédiée à la pêche de subsistance, surtout autochtone, qui est d'une importance cruciale pour les premières nations.

TABLEAU 1 | Nombre d'entreprises de l'industrie des pêches et de l'aquaculture commerciales au Québec pour 2014 (MAPAQ, 2015)

SECTEURS	NB D'ÉTABLISSEMENTS AU QUÉBEC	NB D'EMPLOIS AU QUÉBEC ¹	VALEUR (k\$)
Pêche commerciale en eau marine	1 043	2 762	202 891
Pêche commerciale en eau douce	84	281	1 215
Pisciculture	91	150	9 472
Mariculture	31	81	1 168
Transformation en régions maritimes	67	3 890	401 769
Transformation en régions urbaines	76	n.d.	n.d.
TOTAL	1 308	7 164	616 515

¹ Incluant les pêcheurs, aide-pêcheurs ainsi que les cueilleurs actifs

» 2. PÊCHE COMMERCIALE MARINE

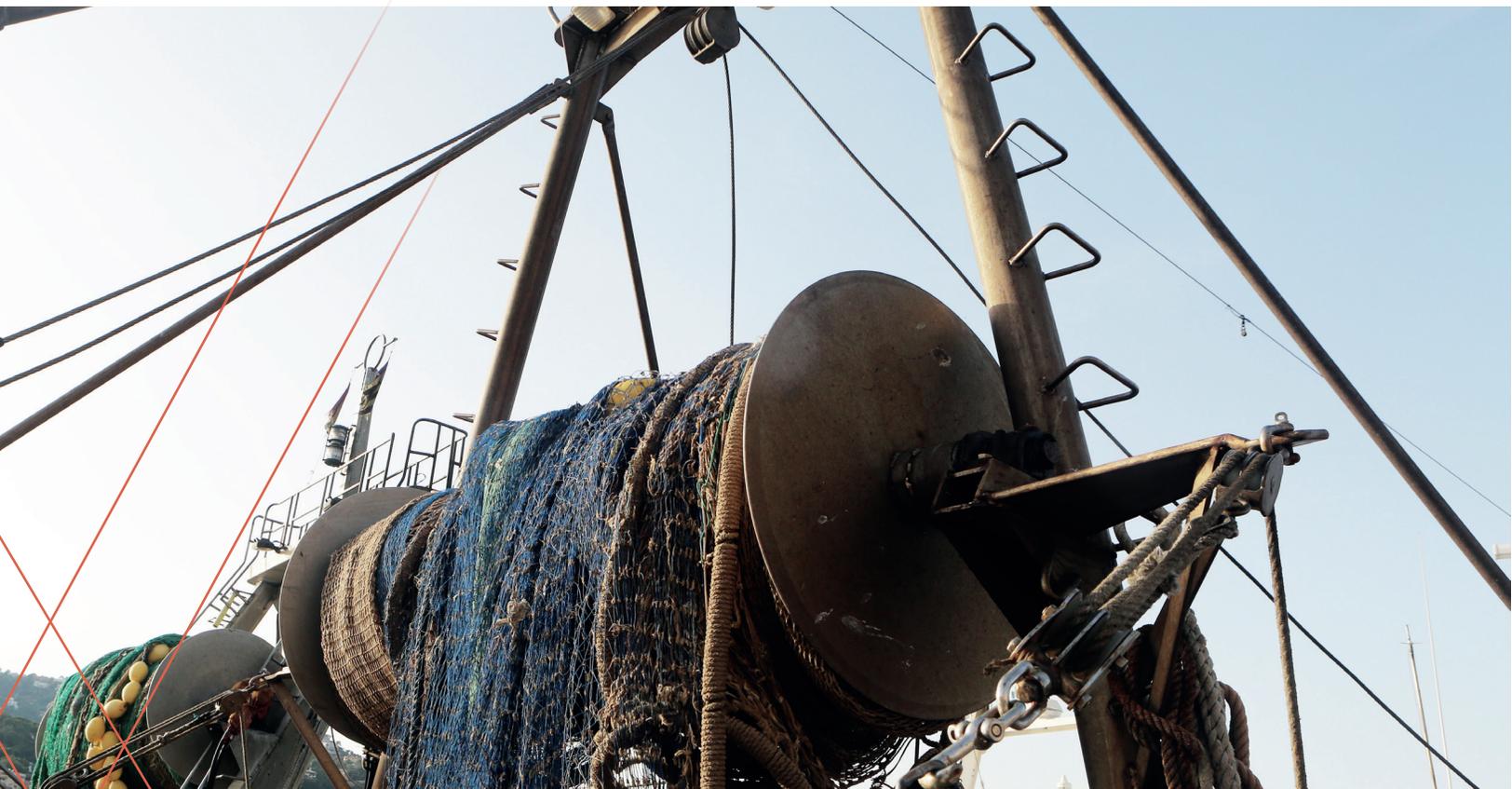
2.1 SITUATION ACTUELLE

La pêche commerciale marine a beaucoup évolué au Québec surtout sur le plan des types de captures en raison du moratoire sur les poissons de fond instauré au début des années 1990. En effet, initialement, la pêche commerciale était surtout basée sur les poissons de fond comme la morue et le sébaste (MPO, 2001). La plupart de ces espèces sont cependant maintenant assujetties au moratoire ou à des quotas stricts suite à un déclin des stocks de poissons. Cette situation a conduit à la mise en œuvre de mesures de gestion afin de conserver les biomasses, de limiter les prises accidentelles et de protéger les petits poissons en vue de faciliter le rétablissement des stocks (MPO, 2001).

Par conséquent, la valeur annuelle des débarquements a presque triplé depuis 1990 puisque l'industrie s'est réorientée pour se concentrer sur les crustacés (crabe des neiges, crevette nordique, homard, crabe commun, etc.). En effet, les valeurs totales des débarquements sont passées de 75 M\$ à 202 M\$ entre 1990 et 2014 (**Tableau 2**) (MAPAQ, 2015). Cela dit, cette dernière année représente une tendance à la hausse de 21 % par rapport aux valeurs de 2012 et 2013 qui étaient de 161 et 166,4 M\$ respectivement. Cette augmentation est principalement due à une hausse de la valeur des débarquements de homard de 30 % ainsi que de 24 % pour le crabe des neiges (Gouvernement du Québec, 2014). À eux seuls, le crabe des neiges (44 %), le homard (25 %), et la crevette nordique (16 %) représentent maintenant 85 % de la valeur de la pêche commerciale marine au Québec ainsi que la majorité des quantités débarquées (**Tableau 3**) (Gouvernement du Québec, 2014).

Au Québec, la pêche commerciale en milieu marin est également pratiquée par onze communautés autochtones : trois communautés micmaques, une communauté malécite et sept communautés innues. Les autochtones du secteur Gaspésie / Bas- Saint-Laurent (Micmacs et Malécites) ont accédé à la pêche commerciale en 2000, à la suite du jugement Marshall, tandis que les communautés de la Côte-Nord (Innus) ont débuté en 1996, lors de la mise en œuvre de la Stratégie relative aux pêches autochtones (SRAPA), qui découle du jugement Sparrow (MPO, 2009).

La pêche commerciale autochtone est comptabilisée dans les données provinciales, présentées dans cette section, et représente principalement la pêche au crabe des neiges et à la crevette nordique, suivis en moins grandes quantités par le flétan du Groenland, le homard et le pétoncle (MAPAQ, 2013b).



TABEAU 2 | Principales espèces pêchées commercialement en milieu marin en fonction de la valeur des débarquements en milliers de dollars (k\$) (MAPAQ, 2016).

ESPÈCES	VALEUR (k\$)					
	MOYENNE 2006-2010	2011	2012	2013	2014	2015P ²
Crabe des neiges	47 588	59 809	61 160	72 596	91 135	85 181
Homard d'Amérique	40 968	40 669	42 178	39 281	50 872	72 975
Crevette nordique	22 093	29 947	34 063	31 039	33 191	42 624
Flétan du Groenland	5 897	6 843	7 759	5 844	9 367	9 499
Flétan de l'Atlantique	1 566	3 416	3 084	3 169	3 718	4 550
Hareng	1 174	2 275	3 237	2 842	2 128	2 320
Morue	2 235	819	634	590	620	685
Buccin	1 462	1 603	1 780	1 801	1 277	1 412
Pétoncle	1 662	1 470	1 568	1 617	1 698	1 610
Oursin	837	1 280	1 636	1 774	2 268	2 694
Crabe commun	1 625	1 624	1 610	1 375	1 240	1 213
Autres	4 933	5 143	4 288	4 508	5 377	4 543
TOTAL	132 040	154 898	162 997	166 436	202 891	229 306

TABEAU 3 | Principales espèces pêchées commercialement en milieu marin en fonction de la quantité des débarquements en tonnes (t) (MAPAQ, 2016).

ESPÈCES	QUANTITÉ (t)					
	MOYENNE 2006-2010	2011	2012	2013	2014	2015P
Crabe des neiges	14 135	10 137	13 528	15 889	15 824	14 766
Homard d'Amérique	3 737	3 988	4 043	4 285	5 329	5 871
Crevette nordique	20 641	20 348	18 817	20 661	18 067	18 368
Flétan du Groenland	3 027	2 853	2 865	1 945	2 977	2 969
Flétan de l'Atlantique	257	451	378	402	453	475
Hareng	3 898	6 265	8 026	8 240	6 331	7 343
Morue	1 897	686	491	429	438	475
Buccin	1 392	1 405	1 435	1 442	952	924
Pétoncle	960	671	681	584	557	510
Oursin	572	670	687	570	495	589
Crabe commun	1 857	1 666	1 642	1 266	1 079	952
Autres	6299	6 691	5 261	4 719	4 956	3 664
TOTAL	58 672	55 380	57 849	60 432	57 458	56 906

² Données préliminaires de la compilation du MAPAQ

2.2 IMPORTANCE RÉGIONALE

Le secteur de la pêche commerciale en milieu marin est essentiel pour l'économie du Québec maritime (Gaspésie, Bas-Saint-Laurent, Île-de-la-Madeleine et Côte-Nord) (**Tableau 4 et 5**). Dans cette région, certaines communautés sont presque entièrement dépendantes de cette industrie (CSMOPM, 2014).

Il y avait près de 10 000 personnes employées dans le secteur de la pêche commerciale marine et de la transformation des produits de la mer avant le moratoire de 1990 alors que ces deux secteurs combinés comptaient environ 6 652 employés en 2014 (CSMOPM, 2014; MAPAQ, 2015). Cette baisse du nombre d'emplois est principalement due au vieillissement des pêcheurs et au nombre d'embarcations qui ont diminué de moitié depuis 1990 (MPO, 2001).

TABLEAU 4 | Répartitions des entreprises de pêches commerciales marines entre 2010 et 2014 au Québec (MAPAQ, 2015).

RÉGION	2010	2011	2012	2013	2014
Gaspésie	397	374	366	354	343
Îles-de-la-Madeleine	419	392	404	412	403
Côte-Nord	261	249	261	252	249
Bas-Saint-Laurent	39	35	31	27	28
TOTAL	3 126	3 061	3 074	3 058	1 023

TABLEAU 5 | Les régions les plus importantes pour la pêche commerciale marine au Québec en fonction de leur débarquement en tonnes (t) et leur valeur en millier de dollars (k\$) pour 2015 (MAPAQ, 2015).

RÉGION	NB PÊCHEURS	QUANTITÉ (t)	VALEUR (k\$)
Gaspésie	337	29 379	107 946
Îles-de-la-Madeleine	390	7 139	59 153
Côte-Nord	254	15 537	52 299
Bas-Saint-Laurent	8	1 360	3 845
TOTAL	989	53 415	223 243

» 3. TRANSFORMATION DES PRODUITS DE LA MER

3.1 SITUATION ACTUELLE

La transformation des produits de la mer est une industrie prospère au Québec puisqu'elle dépend grandement des débarquements qui sont constants dans le temps, notamment pour les trois espèces les plus importantes ; le crabe des neiges, le homard et la crevette nordique. La répartition des valeurs de transformation des principaux produits marins est représentée par la **Figure 1** pour 2014 pour une valeur totale de 401,8 M\$.

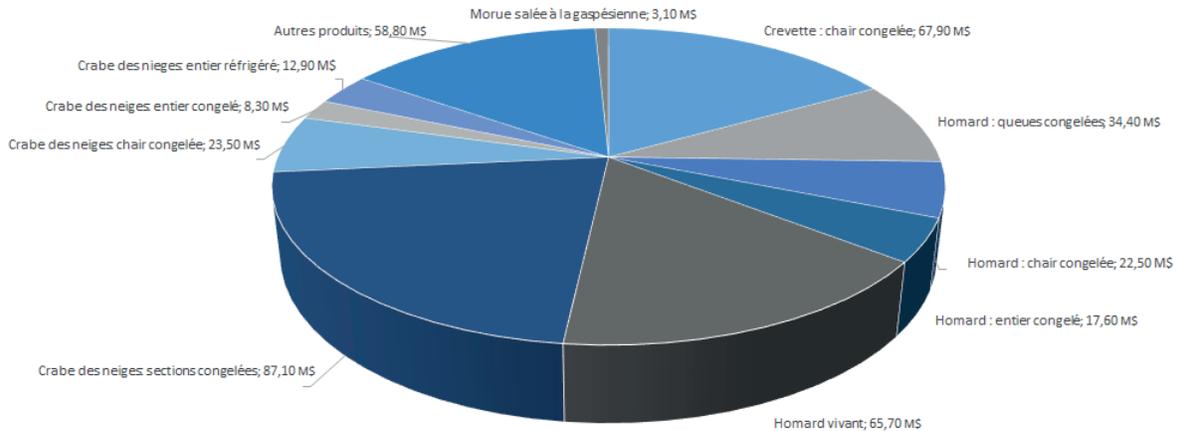


FIGURE 1 | Répartition des valeurs de transformation en millions de dollars (M\$) des principaux produits pour 2014 (données préliminaires) (MAPAQ, 2016).

Ces produits de transformation sont majoritairement exportés aux États-Unis (**Figure 2**) avec le crabe des neiges, la crevette nordique et le homard toujours en tête de liste, pour une valeur totale de 285,5 M\$ en 2015 (MAPAQ, 2016). Cela dit, l'évolution des ventes demeure très dépendante des cycles de débarquements et du prix du crabe des neiges, l'espèce la plus importante dans le domaine des ventes pour le secteur de la transformation. En effet, seulement pour les États-Unis, 42 % des exportations proviennent du crabe des neiges (MAPAQ, 2016).

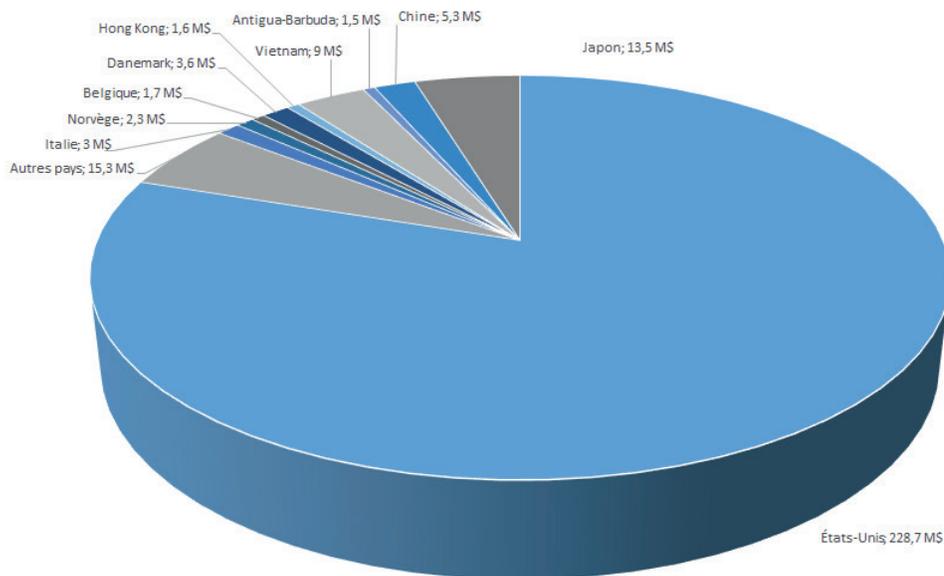


FIGURE 2 | Principales destinations des exportations en pêche et aquaculture au Québec pour 2015 en millions de dollars (M\$) (MAPAQ, 2016).

3.2 IMPORTANCE RÉGIONALE

La transformation des produits marins soutient une grande partie (58 % en 2012) des emplois du secteur des pêches et de l'aquaculture commerciales pour le Québec maritime (CSMOPM, 2014). En plus, ce secteur représentait 67 entreprises pour le Québec maritime, mais également 76 établissements dans le reste de la province pour un total de plus de 4 500 emplois pour l'ensemble du Québec en 2013 (MAPAQ, 2015, 2016). La transformation à l'extérieur du Québec maritime était principalement localisée dans les régions de Montréal (28 %), de Québec (18 %) et de la Montérégie (13 %) en 2012 (CSMOPM, 2014).

En 2013, les expéditions provenant de la Gaspésie / Bas-Saint-Laurent représentaient une valeur de 221,5 M\$ sur une valeur totale de 351 M\$ pour l'ensemble des régions maritimes du Québec (**Tableau 6**) (MAPAQ, 2016). La valeur de production des usines de transformation des produits marins est à la hausse au Québec maritime puisqu'elle est passée de 304 M\$ à 351 M\$ entre 2010 et 2013, soit une augmentation de 15 % (CSMOPM, 2014 ; MAPAQ, 2016).

TABLEAU 6 | Importance de la transformation des produits marins pour le Québec maritime en 2013 (MAPAQ, 2015, 2016).

RÉGION	VALEUR DES EXPÉDITIONS (M\$)	NOMBRE D'EMPLOYÉS	NOMBRE D'ÉTABLISSEMENTS
Gaspésie	221,5	2 935	38
Bas-Saint-Laurent			3
Îles-de-la-Madeleine	55,7	753	9
Côte-Nord	74,2	943	17
TOTAL	351,4	4 631	67



» 4. PÊCHE COMMERCIALE EN EAU DOUCE

4.1 SITUATION ACTUELLE

La pêche commerciale en eau douce regroupe plusieurs espèces de poissons (ex : doré, barbotte brune, esturgeon jaune, etc.) ainsi que des espèces migratrices anadromes et catadromes (ex : anguille d'Amérique, esturgeon noir, etc.) (Mingelbier *et al.*, 2016).

Elle était autrefois pratiquée par des milliers d'exploitants pour des fins alimentaires, mais dorénavant, elle est pratiquée par beaucoup moins de pêcheurs qui en font un revenu d'appoint ou une profession (Mingelbier *et al.*, 2016). En effet, la valeur de cette pêche est passée d'environ 3,5 millions en valeur de débarquement en 2000 à 1,2 million en 2014 (MAPAQ, 2013b, 2016). Ce type de pêche cible environ 25 espèces, mais principalement les suivantes (en ordre de valeur de débarquement) : l'anguille d'Amérique, l'esturgeon jaune, l'esturgeon noir ainsi que la barbotte brune (**Tableau 7 et 8**) (MAPAQ, 2016; Mingelbier *et al.*, 2016).

Cependant, certaines espèces ont cessé d'être pêchées en raison de la diminution de leurs stocks comme c'est le cas pour la perchaude qui est dorénavant protégée par un moratoire (**Figure 3**). En raison de la détérioration de son habitat, de la prolifération des cyanobactéries, de la diminution des niveaux d'eau du fleuve et de l'arrivée de nouveaux prédateurs et compétiteurs, tels que le cormoran à aigrettes et le gobie à tâches noires, un moratoire a été imposé afin d'assurer le retour des stocks vers des populations qui pourraient soutenir la pêche récréative ou commerciale (MFFP, 2013). Ce moratoire a été imposé au lac St-Pierre en 2012 et ensuite étendu du pont Laviolette à Saint-Pierre-les-Becquets en 2013 et ce pour une période de 5 ans (MFFP, 2014).

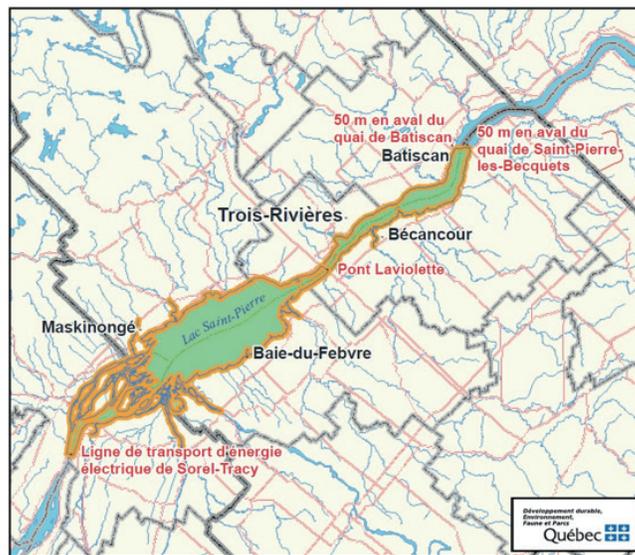


FIGURE 3 | Carte représentant l'interdiction de pêcher la perchaude dans le secteur du fleuve indiqué en orange (MFFP, 2014).

De nombreux autres règlements sont applicables, comme l'interdiction d'être en possession de certaines espèces de poissons de taille minimale. Par exemple, il est interdit de pêcher une anguille d'Amérique de moins de 20 cm ou encore un esturgeon jaune de moins de 45 cm et de plus de 80 cm (MFFP, 2015b).

TABLEAU 7 | Principales espèces pêchées commercialement en eau douce en fonction de la valeur des débarquements en milliers de dollars (k\$) (MAPAQ, 2013b, 2016).

ESPÈCE	VALEUR (k\$)					
	MOYENNE 2006-2010	2011	2012	2013	2014	
Anguille	652	575	481	484	495	
Esturgeon jaune	211	229	220	206	215	
Esturgeon noir	190	147	261	254	206	
Barbotte brune	137	157	81	137	128	
Perchaude	133	127	59	11	n/a	
Lotte	261	3	16	22	13	
Carpe		132	97	113	87	
Brochet		11	7	6	6	
Doré noir		18	14	17	14	
Doré jaune		42	36	41	37	
Alose		17	8	8	7	
Éperlan		2	1	29	41	
Autres		142	117	112	139	
TOTAL		1584	1602	1398	1438	1388

TABLEAU 8 | Principales espèces pêchées commercialement en eau douce en fonction de la quantité de débarquement en tonnes (t) (MAPAQ, 2013b, 2016).

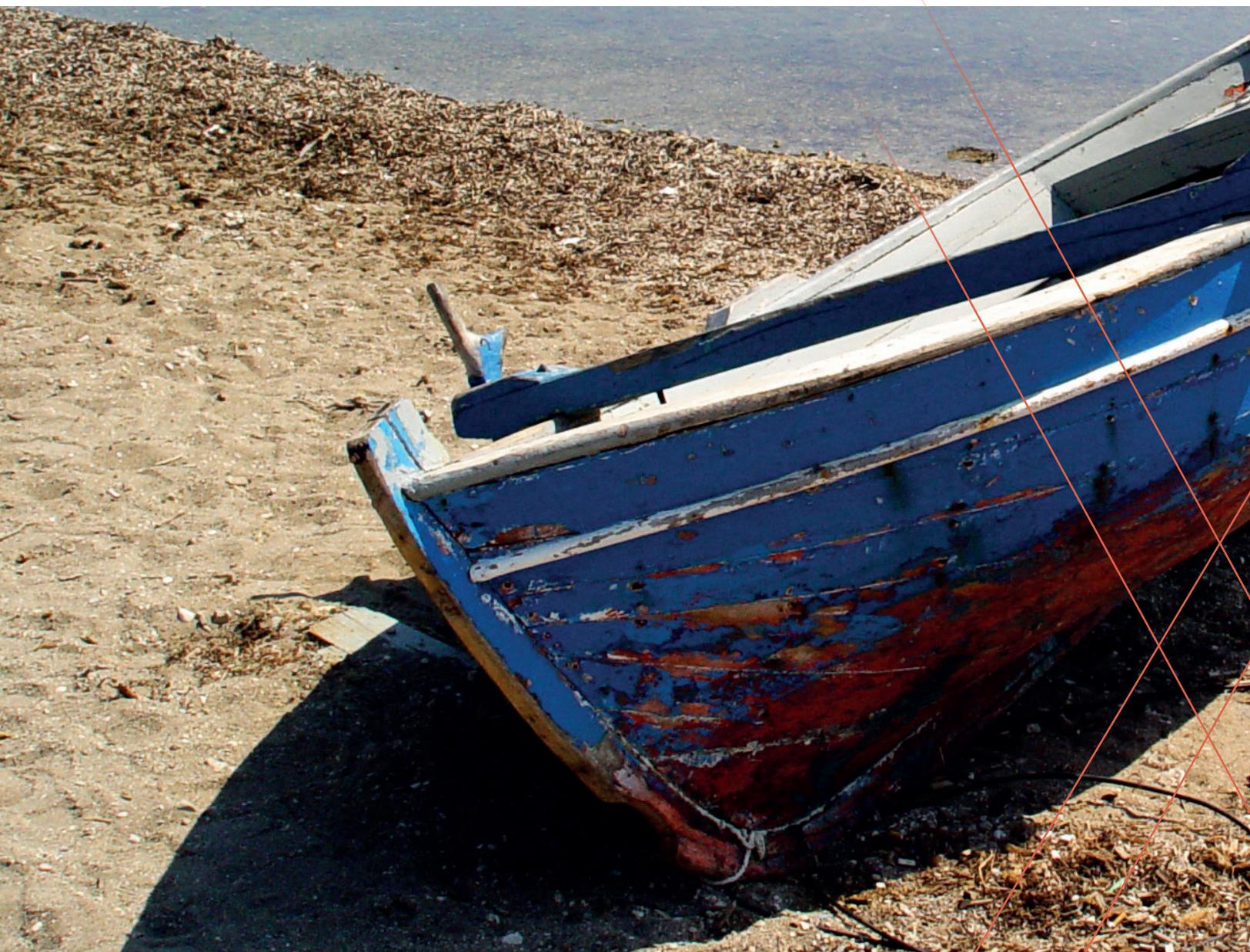
ESPÈCE	QUANTITÉ (t)					
	MOYENNE 2006-2010	2011	2012	2013	2014	
Anguille	76	56	47	46	49	
Esturgeon jaune	72	86	75	71	75	
Esturgeon noir	43	41	44	43	71	
Barbotte brune	223	209	154	137	128	
Perchaude	29	15	11	2	0	
Lotte	211	4	10	14	9	
Carpe		139	127	146	120	
Brochet		8	6	4	5	
Doré noir		4	3	4	3	
Doré jaune		10	8	9	8	
Alose		13	8	10	8	
Éperlan		1	1	24	33	
Autres		93	101	71	72	
TOTAL		654	679	595	581	581

4.2 IMPORTANCE RÉGIONALE

Actuellement, ce type de pêche est exclusivement concentrée dans le fleuve St-Laurent, la portion inférieure de ses tributaires, son estuaire et son golfe (Mingelbier *et al.*, 2016). Les espèces pêchées dans l'estuaire et le golfe sont les espèces migratrices anadromes et catadromes, soient l'éperlan arc-en-ciel, l'anguille d'Amérique et l'omble de fontaine, et ce par des pêcheurs détenant des autorisations pour les régions de la Côte-Nord, de la Gaspésie et des Îles-de-la-Madeleine (Mingelbier *et al.*, 2016). En 2014, la pêche commerciale en eau douce représentait près de 280 emplois (**Tableau 9**). Ce type de pêche est une petite industrie dont les retombées économiques sont d'ordre régional et dont l'avenir n'est pas en expansion (Mingelbier *et al.*, 2016). Ce type de pêche est principalement limité par les stocks des poissons exploités mais également par le marché limité et sa faible rentabilité (Mingelbier *et al.*, 2016).

TABLEAU 9 | Évolution du nombre de pêcheurs et aide-pêcheurs commerciaux en eau douce au Québec (MAPAQ, 2013b, 2016).

	2011	2012	2013	2014
Nb de pêcheurs actifs	98	96	88	84
Nb d'aides-pêcheurs	227	222	203	197
TOTAL	325	318	291	281



» 5. AQUACULTURE MARINE

5.1 SITUATION ACTUELLE

La production aquacole nationale est répartie presque également entre les côtes du Pacifique et de l'Atlantique. En 2013, la Colombie-Britannique représentait près de 49 % du volume total de production, suivie par Terre-Neuve-et-Labrador et l'Île-du-Prince-Édouard avec chacune 15 %, le Nouveau-Brunswick avec 11 %, et la Nouvelle-Écosse avec 5 % (MPO, 2015b). Le Québec représente seulement 2 % de la production canadienne totale de l'aquaculture marine.

Aussi appelée mariculture, l'aquaculture en eau salée au Québec est surtout axée sur la moule et le pétoncle, mais aussi l'huître depuis 2013 (**Tableau 10 et 11**). Les premières productions commerciales débutent au milieu des années 1980 aux Îles-de-la-Madeleine et ensuite en Gaspésie et sur la Côte-Nord. Initialement, la production de moule bleue a été développée, puis, suite au moratoire sur les poissons de fond de 1990 lors de la diversification des pêches, la production de pétoncle a débuté (MAPAQ, 2012).

TABLEAU 10 | Principales espèces de l'aquaculture marine au Québec en fonction de la valeur de production en milliers de dollars (k\$) (MAPAQ, 2015, 2016).

ESPÈCE	VALEUR (k\$)					
	MOYENNE 2006-2010	2011	2012	2013	2014	2015
Moule	365	411	353	584	739	707
Huître		n.d.		170	275	685
Pétoncle	n.d.	179	209	141	154	74
Autres	133	74	70	29	95	223
TOTAL	498	664	631	925	1263	1689

TABLEAU 11 | Principales espèces de l'aquaculture marine au Québec en fonction de la quantité de production en tonnes (t) (MAPAQ, 2015, 2016).

ESPÈCE	QUANTITÉ (t)					
	MOYENNE 2006-2010	2011	2012	2013	2014	2015
Moule	488,6	317	271	448	358	379
Huître		n.d.		10	8	35
Pétoncle	n.d.	28	15	11	9	8
Autres	30,2	50	46	22	20	32
TOTAL	518,2	394	333	491	395	454

³ Données estimées

5.2 IMPORTANCE RÉGIONALE

Au Québec, on comptait 30 entreprises et une centaine d'emplois liés à la mariculture en 2014 (**Tableau 12**). La région de la Gaspésie, en plus d'être la plus importante au regard du nombre d'entreprises maricoles sur son territoire est aussi celle où l'on trouve le plus grand nombre d'emplois pour ce secteur (MAPAQ, 2015).

TABLEAU 12 | Répartitions des entreprises maricoles entre 2010 et 2014 au Québec (MAPAQ, 2015).

RÉGION	2010	2011	2012	2013	2014P
Gaspésie	16	17	16	16	20
Îles-de-la-Madeleine	5	5	5	5	5
Côte-Nord	6	6	6	6	6
Bas-Saint-Laurent	0	0	0	0	0
TOTAL	27	28	27	27	31

En fonction des régions, différentes espèces sont cultivées (**Tableau 13**). Les principales espèces sont la moule et le pétoncle et ils sont cultivés en Gaspésie, aux Îles-de-la-Madeleine et sur la Côte-Nord. L'oursin et les algues, telles que les laminaires, sont également cultivés en Gaspésie / Bas-Saint-Laurent (MPO, 2009).

TABLEAU 13 | Principales espèces cultivées en mariculture au Québec en fonction des régions de production (MPO, 2009).

RÉGION	ESPÈCES EN ORDRE D'IMPORTANCE
Gaspésie – Bas-Saint-Laurent	Moule, pétoncle, oursin, algues
Îles-de-la-Madeleine	Moule, pétoncle
Côte-Nord	Moule, pétoncle

» 6. AQUACULTURE EN EAU DOUCE

6.1 SITUATION ACTUELLE

L'aquaculture en eau douce au Québec se spécialise dans l'élevage de salmonidés comme l'omble de fontaine, la truite arc-en-ciel et l'omble chevalier (**Tableau 14 et 15**) (MAPAQ, 2013a). L'aquaculture en eau douce est seulement réalisée en milieu terrestre (bassin, étang, etc.) au Québec. Il n'y a donc pas d'élevage en milieu naturel comme c'est le cas pour l'aquaculture en eau salée.

Ce secteur s'est développé au Québec dès 1857, mais il est devenu plus important dans les années 1950 où des entreprises privées répondaient à la demande grandissante de la pêche récréative pour l'ensemencement des plans d'eau et des rivières (MAPAQ, 2012). Sa production est essentiellement destinée au Québec et vise principalement trois marchés soit : l'ensemencement des lacs et rivières, la consommation (le marché de la table), et les étangs de pêche récréative du Québec (MAPAQ, 2012).

TABLEAU 14 | Principales espèces produites en aquaculture en eau douce au Québec en fonction de la valeur des débarquements en milliers de dollars (k\$) (MPO, 2014).

ESPÈCE	VALEUR (k\$)				
	MOYENNE 2006-2010	2011	2012	2013	2014
Omble de fontaine	7 155	6 632	6 575	6 582	5 300
Truite arc-en-ciel	3 482	3 495	3 547	3 534	3 300
Omble chevalier	335	509	357	629	700
Autres	227	180	134	181	172
TOTAL	11 199	10 815	10 614	10 926	9 472

TABLEAU 15 | Principales espèces produites en aquaculture d'eau douce au Québec en fonction du volume de production en tonnes (t) (MAPAQ, 2015).

ESPÈCE	QUANTITÉ (t)				
	MOYENNE 2006-2010	2011	2012	2013	2014
Omble de fontaine	644	584	579	586	475
Truite arc-en-ciel	572	577	586	578	555
Omble chevalier	45	74	55	99	110
Autres	16	10	6	7	8
TOTAL	1 277	1 245	1 226	1 270	1 148

6.2 IMPORTANCE RÉGIONALE

En 2014, l'aquaculture en eau douce représentait environ 150 entreprises sous permis au Québec et elles sont situées partout à travers la province, mais plus particulièrement dans les régions de l'Estrie, de la Mauricie, de Chaudières-Appalaches et des Laurentides (MAPAQ, 2015).

» 7. PÊCHE RÉCRÉATIVE

7.1 SITUATION ACTUELLE

En 2012, la pêche récréative représentait 572,5 M\$ en PIB, 9035 emplois, 160,2 M\$ en revenus fiscaux et 1 102,4 M\$ en dépenses annuelles chez les pêcheurs (Éco Ressources, 2014). Les espèces responsables en grande partie de ces revenus sont le doré, l'omble de fontaine et le groupe brochet-perchaude-achigan soit 470 M\$ du PIB, 7460 emplois et 10 millions de jours-pêche soit 85 % des jours-pêche réalisés au Québec en 2012 (**Tableau 16**) (Éco Ressources, 2014). Ceci inclut la pêche sur glace pour 380,3 emplois représentant un secteur économique d'environ 24 M\$ pour 2012 (Gouvernement du Québec, 2013).

TABLEAU 16 | Nombre de jours-pêche et dépenses annuelles selon l'espèce pêchée pour 2012 (Éco Ressources, 2014).

ESPÈCE	NOMBRE DE JOURS-PÊCHE	DÉPENSES ANNUELLES (M\$)*
Truite mouchetée	3 492 720	338,8
Autres truites	568 394	55,2
Truite grise (touladi)	538 509	62,3
Saumon atlantique	49 659	25,8
Ouananiche	112 676	13,0
Doré	3 106 921	359,1
Brochet-Perchaude-Achigan	3 420 836	241,0
Autres espèces pêchées	579 836	7,3
TOTAL	11 870 091	1 102,4

* Les dépenses représentent de l'achat d'équipement relié à la pêche, aux bateaux, aux véhicules spéciaux, aux terrains utilisés, aux services de guide, à l'hébergement, à l'alimentation, etc.

Les pêches récréatives et de subsistance au saumon de l'Atlantique sont réglementées sur la base de suivis de populations rigoureux, incluant le décompte des reproducteurs dans plusieurs rivières à saumons du Québec. Ainsi, sur la base de ces données, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs peut réajuster la réglementation, et ce en cours de saison ainsi que d'une année à l'autre (MFFP, 2015a). On compte près de 109 rivières et cinq tributaires au Québec où l'on trouve des populations de saumons, mais la pêche est autorisée seulement dans environ la moitié de ces cours d'eau, qui sont divisés en 11 zones salmonicoles (MFFP, 2015a).

En 2014, le nombre de jours-pêche au saumon était de 58 271 au Québec, pour un total de 11 525 poissons pêchés. De ceux-ci, seulement 5 013 n'ont pas été remis à l'eau (MFFP, 2015a). Entre 2009-2014, le nombre de jours-pêche est resté assez stable, avec une diminution de 7 %, et la capture a diminué de 36 %, notamment en raison de l'application d'une réglementation plus restrictive (MFFP, 2015a).

7.2 IMPORTANCE RÉGIONALE

La pêche récréative impliquait 711 610 pêcheurs et 204 976 adeptes de pêche sur glace résidents au Québec en 2010 (Gouvernement du Québec, 2013; MPO, 2012). En fait, 60 % des pêcheurs canadiens sont répartis entre l'Ontario (924 549 pêcheurs) et le Québec (MPO, 2012). Sur les 711 610 pêcheurs québécois, 466 068 étaient des hommes et 245 542 des femmes (MPO, 2012). La région des Laurentides est celle où les retombées sont les plus importantes en PIB et en emplois, suivie par l'Outaouais et la Mauricie (**Tableau 17**) (Éco Ressources, 2014).

TABLEAU 17 | Dépenses effectuées en activités de pêche récréative en 2012 par région, en M\$ (Éco Ressources, 2014).

Région	Dépenses effectuées au Québec en M\$ par les pêcheurs résidents et non résidents
Bas-Saint-Laurent	38,6
Saguenay-Lac-Saint-Jean	81,9
Capitale-Nationale	48,5
Mauricie	111,7
Estrie	45,9
Montréal	40,4
Outaouais	120,7
Abitibi-Témiscamingue	84,5
Côte-Nord	61,9
Nord-du-Québec	75,3
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	15,7
Chaudière-Appalaches	39,1
Laval	9,5
Lanaudière	76,7
Laurentides	151,3
Montérégie	68,3
Centre-du-Québec	32,4
TOTAL	1102,4

» 8. PÊCHE AUTOCHTONE DE SUBSISTANCE

8.1 SITUATION ACTUELLE

Certaines activités, telles que la chasse, la pêche, le piégeage et la cueillette, pratiqués à des fins alimentaires, rituelles ou sociales, constituent un élément intimement lié au maintien et au développement de la culture des autochtones du Québec. Pour faciliter la conciliation de ces activités avec les objectifs de conservation et de gestion de la faune, la législation du Québec prévoit des dispositions permettant des ententes avec les communautés autochtones comme le *Règlement sur les permis de pêche communautaires des Autochtones* (Gouvernement du Québec, 2011).

8.2 IMPORTANCE RÉGIONALE

En Gaspésie, on compte 20 000 Micmacs pour qui la pêche au saumon de l'Atlantique représente une importante activité rituelle, sociale et alimentaire (MPO, 2009). Sur la Côte-Nord, plusieurs communautés innues pratiquent également cette pêche traditionnelle (MPO, 2009). Le **Tableau 18** présente une estimation de l'ordre de grandeur de ce type de pêche.

Dans le Nord québécois, 5 communautés cries et 14 communautés inuites pratiquent la pêche de subsistance principalement de l'omble chevalier et du doré. Pour ce type de pêche, aucune donnée concernant les prélèvements autochtones n'est compilée.

TABLEAU 18 | Estimation des débarquements en nombre de poissons prélevés par la pêche de subsistance autochtone au Québec pour le saumon de l'Atlantique entre 2009-2014 (Cauchon, 2015).

RÉGION	NOMBRE DE SAUMONS DE L'ATLANTIQUE
Bas Saint-Laurent et Gaspésie	1058
Rive nord du Saint-Laurent	3319



TABLEAU 20 | Principaux types de pêches en association avec les ministères responsables de faire respecter les lois et règlements les concernant au Québec.

TYPE DE PÊCHE	MPO	ECCC	MAPAQ	MDDELCC	MFFP
Pêche commerciale marine	Loi sur les pêches	Loi sur les pêches: section sur la pollution de l'eau			
Pêche commerciale en eau douce			Délivrance des permis de pêche, suivi des débarquements, soutien aux pêcheurs pour le développement et la mise en marché des produits		Législation des eaux douces, des espèces anadromes et catadromes
					Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune
					Plan de gestion de la pêche (législation)
					Contrôle et surveillance
Transformation des produits de la mer	Loi et règlement sur l'inspection du poisson		Loi sur la transformation des produits marins		
			Règlement sur les normes minimales de transformation des produits marins		
			Loi sur les produits alimentaires et le règlement sur les aliments		
Aquaculture en eau salée	Règlement sur les activités d'aquaculture		Loi et Règlement sur l'aquaculture commerciale (supervision des activités)	Loi sur la qualité de l'environnement	
				Loi sur le régime des eaux Règlement sur le domaine hydrique public (certificat d'autorisation et baux aquacoles)	
Aquaculture en eau douce			Loi et Règlement sur l'aquaculture commerciale	Loi et Règlement sur la qualité de l'environnement	Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune
			Loi sur les produits alimentaires	Loi sur le régime des eaux	Règlement sur les habitats fauniques
			Règlement sur les aliments	Règlement sur le domaine hydrique public	Règlement sur l'aquaculture et la vente des poissons locales)
				Règlement sur le captage des eaux souterraines	
Pêche récréative	Règlement de pêche de l'Atlantique de 1985			Élaboration du guide de consommation des poissons de pêche sportive en eau douce	Règlement de pêche du Québec
					Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune
					Loi sur les espèces menacées et vulnérables
					Délivrance des permis
					Contrôle et surveillance
Pêche de subsistance	Réglementation sur les pêches autochtones de subsistance Stratégie relative aux pêches autochtones (SRAPA)				Règlement de pêche du Québec
					Règlement sur les permis de pêche communautaire des Autochtones

» RÉFÉRENCES

- CSMOPM. (2014). Diagnostic de la main-d'œuvre dans l'industrie des pêches et de l'aquaculture commerciales au Québec.
- Éco Ressources. (2014). L'industrie faunique comme moteur économique régional.
- Gouvernement du Canada. (2015). Statistiques sur les exportations canadiennes de poisson et de produits de la mer en 2014 par province et par territoire. Consulté 10 août 2016, à l'adresse http://nouvelles.gc.ca/web/article-fr.do?nid=949719&_ga=1.165919735.855984490.1470071007
- Gouvernement du Québec. (2011). Amérindiens et Inuits. Portrait des nations autochtones du Québec.
- Gouvernement du Québec. (2013). Retombées économiques des activités de chasse, de pêche et de piégeage au Québec en 2012. Québec.
- Gouvernement du Québec. (2014). Activité bioalimentaire au Québec en 2014.
- MAPAQ. (2012). Mariculture. Consulté 29 août 2016, à l'adresse <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Peche/Mariculture/Pages/mariculture.aspx>
- MAPAQ. (2013a). Choix de l'espèce. Consulté 6 juin 2016, à l'adresse <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Peche/aquaculture/analyseconceptionprojet/choixespece/Pages/Choixespece.aspx>
- MAPAQ. (2013b). Pêches et aquaculture commerciales au Québec en un coup d'œil : Portrait statistique édition 2013. Québec: Direction des analyses et des politiques des pêches et de l'aquaculture.
- MAPAQ. (2015). Pêches et Océans Canada – région du Québec – Compilation du MAPAQ. Québec: Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
- MAPAQ. (2016). Pêches et aquaculture commerciales au Québec en un coup d'œil -Portrait statistique Édition 2016. Québec: Compilation du MAPAQ.
- MFFP. (2013). Interdiction de pêcher la perchaude dans le secteur du fleuve compris entre le pont Laviolette et Saint-Pierre-les-Becquets, pour une période de cinq ans. Québec.
- MFFP. (2014). Extension de l'arrêt de la pêche à la perchaude à une portion plus vaste du fleuve dès mai 2013. Consulté à l'adresse <http://www.mffp.gouv.qc.ca/faune/peche/extension-moratoire-perchaude.jsp>
- MFFP. (2015a). Bilan de l'exploitation du saumon au Québec en 2014.
- MFFP. (2015b). Plan de gestion de la pêche 2014-2015. Québec: Gazette officielle du Québec.
- Mingelbier, M., Paradis, Y., Brodeur, P., de la Chenelière, V., Lecomte, F., Hatin, D., & Verreault, G. (2016). Gestion et conservation de la faune aquatique et de ses habitats dans le Saint-Laurent : mandats, enjeux et perspectives. *Naturaliste canadien* 140 (2) p. 74-90. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1702.8720>
- MPO. (2001). Profil de la pêche commerciale du poisson de fond Région du Golfe.
- MPO. (2009). L'industrie de la pêche au Québec - Profil socio-économique 2009, 40.
- MPO. (2012). Enquête sur la pêche récréative au Canada 2010.
- MPO. (2015a). 2015 Info-éclair Pêches canadiennes. Ottawa (Ontario).
- MPO. (2015b). Statistiques, faits et chiffres sur l'aquaculture. Consulté à l'adresse <http://www.dfo-mpo.gc.ca/aquaculture/sector-secteur/stats-fra.htm>
- Statistiques Canada Division du Commerce International. (2015a). Commerce canadien par Principaux marchés et pays. Ottawa (Ontario).
- Statistiques Canada Division du Commerce International. (2015b). Commerce canadien par Province. Ottawa (Ontario).



» CHAPITRE 2

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Dans ce chapitre, il sera question de l'évolution des variables climatiques sur le territoire québécois. Tout d'abord seront présentées les observations et projections sur la température et les précipitations, pour lesquelles les connaissances sont les plus avancées; puis les variables caractérisant le milieu aquatique, desquelles découlent directement les impacts des changements climatiques sur les pêches et l'aquaculture.

» 1. ÉVOLUTION DES PRINCIPALES VARIABLES CLIMATIQUES

Les principales conclusions de cette section sont issues des travaux de la synthèse des connaissances d'Ouranos réalisée principalement avec CMIP5 en 2015 (Ouranos, 2015).

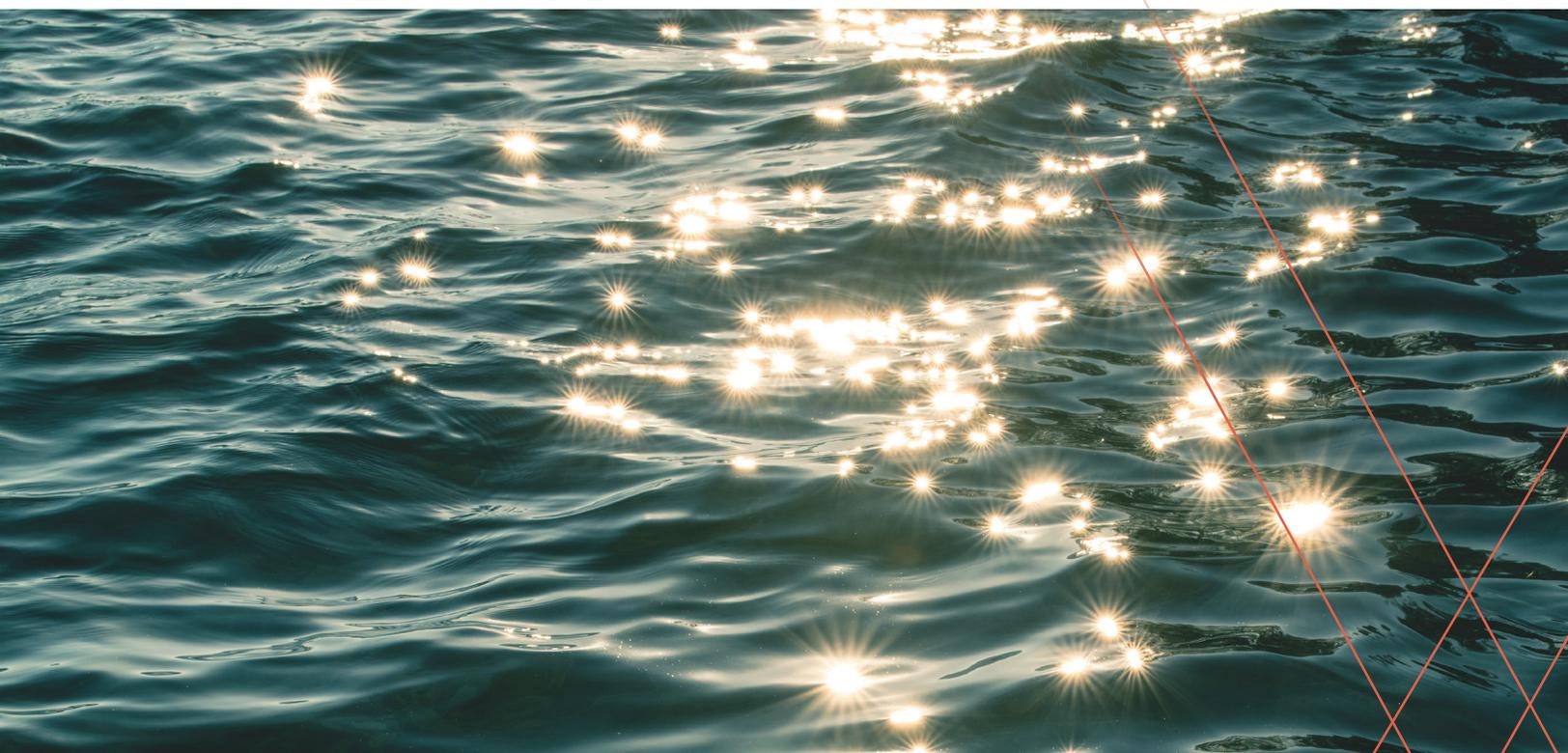
1.1 TEMPÉRATURE DE L'AIR

Les **observations** concernant la température ambiante montrent une tendance à la hausse de 1 à 3 °C entre 1950 et 2011 pour toutes les régions du Québec en plus d'une hausse pour les températures minimales (T_{\min}) et maximales (T_{\max}) depuis 1960.

Cela dit, les **projections issues de modèles climatiques** montrent des variations de la réponse aux changements climatiques en fonction de la région étudiée lorsqu'elles sont comparées avec les températures observées sur la période 1971-2000. Au sud du Québec et dans le golfe du Saint-Laurent, les températures annuelles projetées avec un scénario de fortes émissions (RCP 8.5) augmenteront d'environ 2 à 4 °C pour la période 2041-2070 et de 4 à 7 °C pour la période 2071-2100. Au centre et au nord du Québec, les hausses projetées sont d'environ 3 à 6 °C pour 2041-2070 et de 5 à 10 °C pour 2071-2100 (Ouranos, 2015).

Pour 2071-2100, les plus grandes augmentations sont projetées pour la saison hivernale du nord du Québec, avec des réchauffements qui pourraient atteindre 10 à 15 °C. De fortes augmentations sont également projetées pour la T_{\max} de la journée la plus chaude de l'année soit des augmentations médianes de l'ordre de 3 à 5 °C pour le scénario d'émissions RCP 4.5 et de 4 à 7 °C pour RCP 8.5 et ce sur l'ensemble de la province. Conséquemment, de fortes augmentations sont projetées pour la durée des vagues de chaleur et la fréquence des nuits chaudes ($T_{\min} > 20$ °C) (Ouranos, 2015).

La température minimale de la journée la plus froide de l'année subira un réchauffement encore plus fort que les extrêmes chauds avec des augmentations médianes de l'ordre de 5 à 7 °C pour RCP 4.5 et supérieures à 10 °C pour RCP 8.5. Une forte réduction dans le nombre annuel de jours de gel, ainsi que dans le nombre de nuits froides et de jours froids, est également projetée (Ouranos, 2015).



1.2 PRÉCIPITATIONS

Les **observations** concernant les précipitations montrent surtout une hausse de plus de 20 % sur 62 ans (1950-2011) pour les pluies printanière et automnale, ainsi que pour certaines stations en été dans le sud du Québec (Ouranos, 2015). Également, dans cette région une tendance significative à la baisse de plus de 10 % sur 60 ans (1950-2009) des précipitations sous forme de neige est observée (Mekis & Vincent, 2011). La quantité maximale de précipitations lors d'un épisode de cinq jours consécutifs montre aussi une tendance significative à la hausse (2 mm/décennie entre 1951-2010) pendant l'automne (Donat *et al.*, 2013).

Au nord du Québec, le secteur de Kuujuaq (Nunavik) présente des tendances à la hausse de plus de 20 % sur 62 ans (1950-2011) sur toute l'année, tant pour la pluie que pour les chutes de neige. Toutefois, ces tendances ne sont significatives que pour la pluie d'été et d'automne.

En ce qui concerne les **projections**, les modèles climatiques s'accordent sur des hausses hivernales et printanières des cumuls de précipitations sur tout le territoire de la province. Le nord et le centre du Québec peuvent aussi s'attendre à des augmentations des précipitations en été et en automne. Cela dit, toutes les régions du Québec peuvent s'attendre à des augmentations de la quantité maximale annuelle de précipitations pour toutes les durées et pour toutes les périodes de retour (**Figure 1**) en plus de hausses significatives pour tous les autres indices de précipitations abondantes et extrêmes. Les augmentations seront généralement plus substantielles dans le nord que dans le sud (Ouranos, 2015).

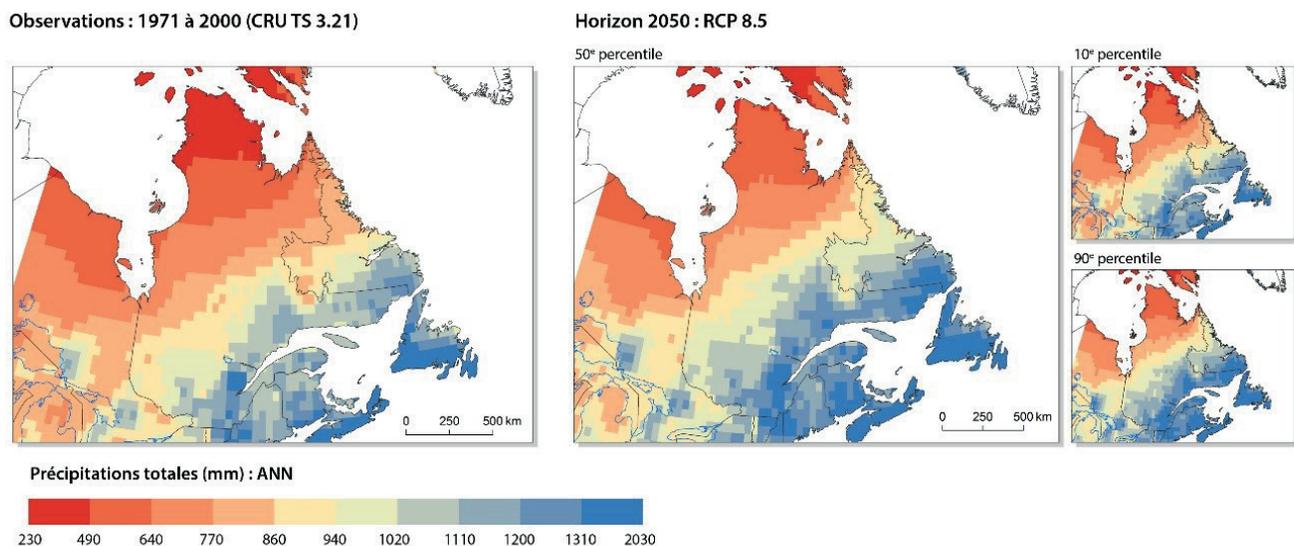


FIGURE 1 | Précipitations totales annuelles observées pour la période 1971-2000 (panneau gauche) et projetées (panneaux droits) pour l'horizon 2050 (2041-2070). La moyenne observée est calculée à partir des données CRU TS 3.21. Les cartes futures présentent la médiane de l'ensemble ainsi que les 10^e et 90^e percentiles de 29 scénarios climatiques futurs. Les scénarios climatiques futurs ont été produits selon la méthode « delta » appliquée aux observations (Charron, 2014), utilisant des simulations CMIP5 (RCP 8.5) (Ouranos, 2015).

» 2. ÉVOLUTION DES VARIABLES CARACTÉRISANT LE MILIEU AQUATIQUE

2.1 TEMPÉRATURE DE L'EAU DE SURFACE

2.1.1 EAU SALÉE

Depuis 1880, les **observations** montrent une augmentation en ce qui concerne les températures de surface moyennes pour le golfe du Saint-Laurent autant au Québec que plus à l'est au niveau des provinces de l'Atlantique (**Figure 2**).

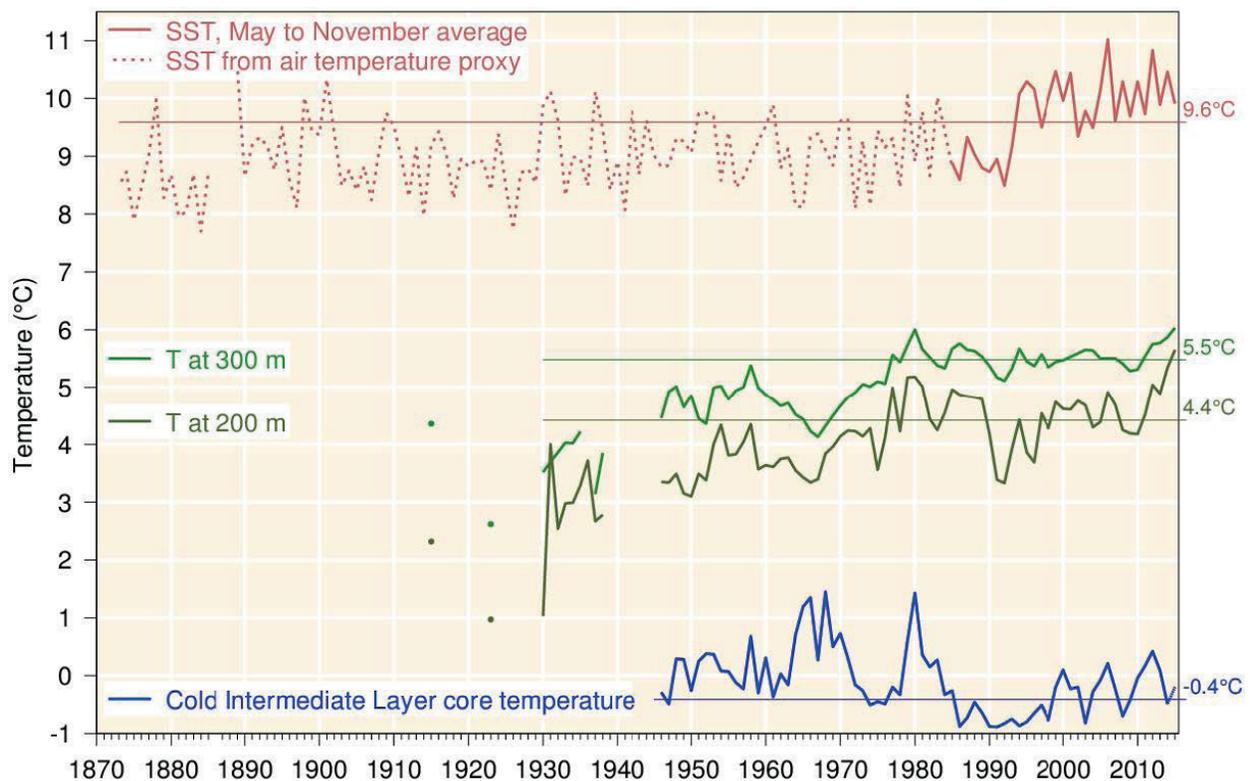


FIGURE 2 | Températures de l'eau dans le golfe Saint-Laurent. La moyenne de la température de la mer en surface (SST) entre mai et novembre dans le golfe excluant l'estuaire (ligne rouge, 1986-2015), complété par un *proxy* basé sur les températures de l'air entre avril et novembre (ligne pointillée rouge, 1873-1984). Les températures des couches à 200 et 300 m pour le golfe du Saint-Laurent (lignes vertes). L'index de température minimum de la couche intermédiaire froide dans le golfe du Saint-Laurent (ligne bleue). Les moyennes climatiques basées sur la période 1981-2010 sont indiquées par de minces lignes sur le côté droit de la figure.

Inspiré de (Benoît, Gagné, Savenkoff, Ouellet, & Bourassa, 2012) (Galbraith *et al.*, 2016).

Du côté des *projections*, selon les RCP 4.5 et 8.5, les températures de surface en hiver et en été dans le golfe du Saint-Laurent seront en hausse (entre 2 à 4 °C) pour l'horizon 2050 en comparaison avec le climat de référence (Hebert, 2013; Long *et al.*, 2016) (**Figure 3**). Pour le scénario RCP 8.5, les températures de surface au courant de l'été dans le golfe du Saint-Laurent connaîtront une hausse marquée 2 à 5°C pour l'horizon 2050 (Hebert, 2013).

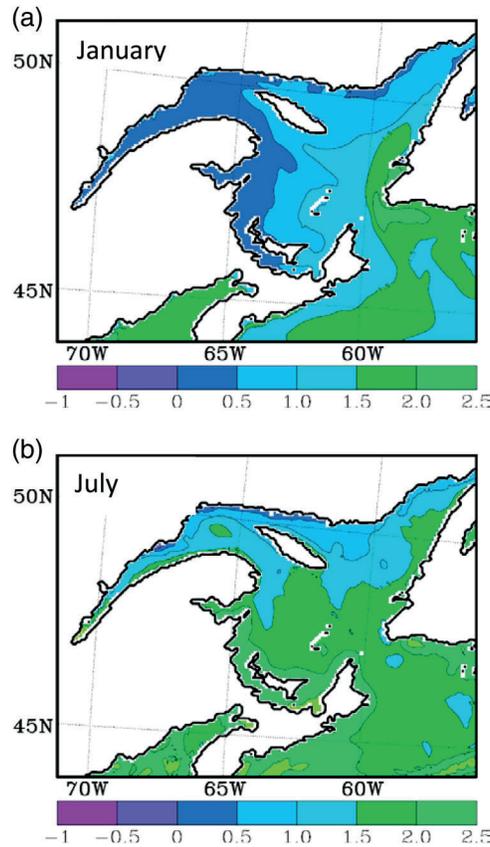


FIGURE 3 | Différence de température de surface de l'eau (°C) entre 2040-2069 (horizon 2050) et 1980-2009 (climat de référence) pour (a) janvier et (b) juillet (Long *et al.*, 2016).

2.1.1 EAU DOUCE

La température de l'eau des rivières et des lacs varie en fonction des conditions atmosphériques, de la topographie, de l'apport en eau et du débit des rivières (Bélanger *et al.*, 2013; Caissie, 2006). Il est donc ardu d'évaluer l'impact des changements climatiques sur la température de l'eau en lacs et en rivières. Cependant, il a été démontré que la température de l'eau est portée à augmenter lorsque la température de l'air se situe entre 5 et 20 °C, mais qu'à des températures plus élevées l'eau est également sujette à l'évaporation ce qui limite son réchauffement (Mohseni & Stefan, 1999). Ainsi, comme cela a déjà été démontré dans certaines études, l'augmentation projetée de la température de l'air aura une influence sur la température de l'eau, des lacs (Bélanger *et al.*, 2013) et des rivières (Lapointe *et al.*, 2013) même s'il est difficile de la quantifier avec précisions.

2.2 NIVEAUX D'EAU

Les *observations* du niveau global moyen de la mer montrent une augmentation au cours des dernières décennies et cette hausse est attribuable à l'augmentation des températures due aux changements climatiques. Toutefois, pour mieux évaluer les impacts le long des côtes, il faut considérer le niveau relatif de la mer qui tient compte des mouvements verticaux de la croûte terrestre qui peuvent localement aggraver ou atténuer la hausse globale du niveau marin. Ainsi, le niveau relatif de la mer est à la baisse dans le secteur de la baie d'Hudson en raison du mouvement ascendant de la côte (appelé relèvement isostatique) (**Figure 4**) tandis que le niveau relatif de la mer dans le golfe Saint-Laurent est à la hausse, car le léger enfoncement de la croûte terrestre dans ce secteur vient s'ajouter à la hausse du niveau marin global (Warren & Lemmen, 2014).

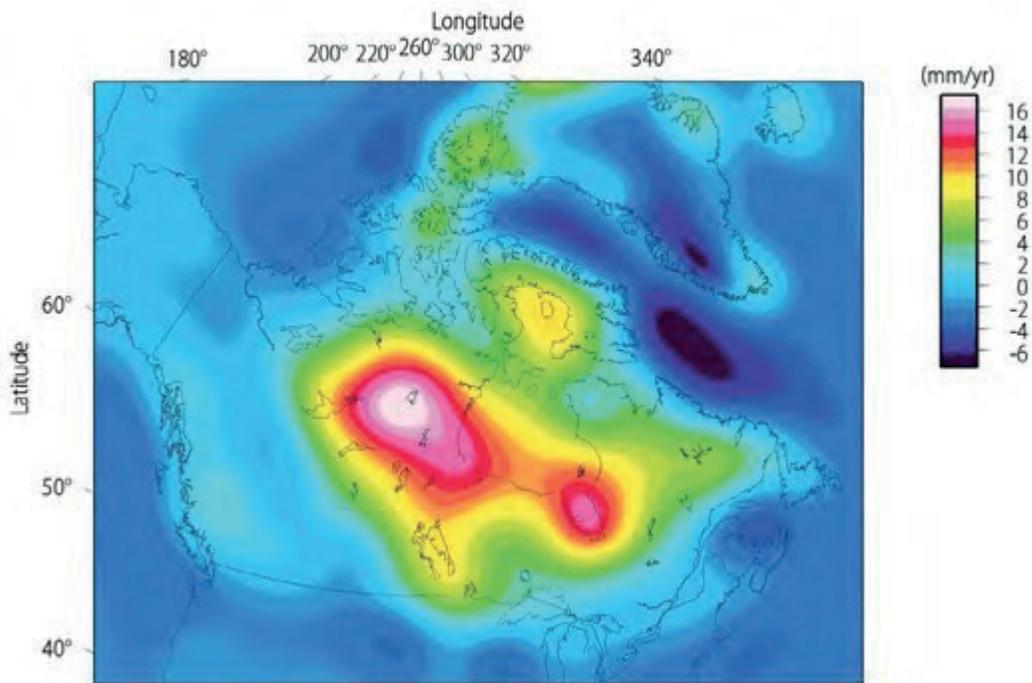


FIGURE 4 | Déplacement vertical actuel de la croûte terrestre (en millimètres par an) extrapolé à partir du modèle ICE-5G d'ajustement isostatique glacial. Le niveau relatif de la mer est en train de chuter dans les régions où la terre s'élève rapidement, comme dans la baie d'Hudson. Les régions qui s'affaissent, comme la majeure partie des Maritimes, subissent une hausse du niveau relatif de la mer supérieure à celle enregistrée à l'échelle du globe (Warren & Lemmen, 2014).

Au cours du dernier siècle, la hausse du niveau relatif de l'eau dans le golfe du Saint-Laurent a été observée et varie entre 23 à 31 cm / siècle selon les endroits, alors que dans le fleuve Saint-Laurent, il s'agit plutôt d'une baisse comprise entre 3 et 6 cm / siècle selon les endroits (Xu, Lefavre, & Beaulieu, 2013) (**Figure 5**).

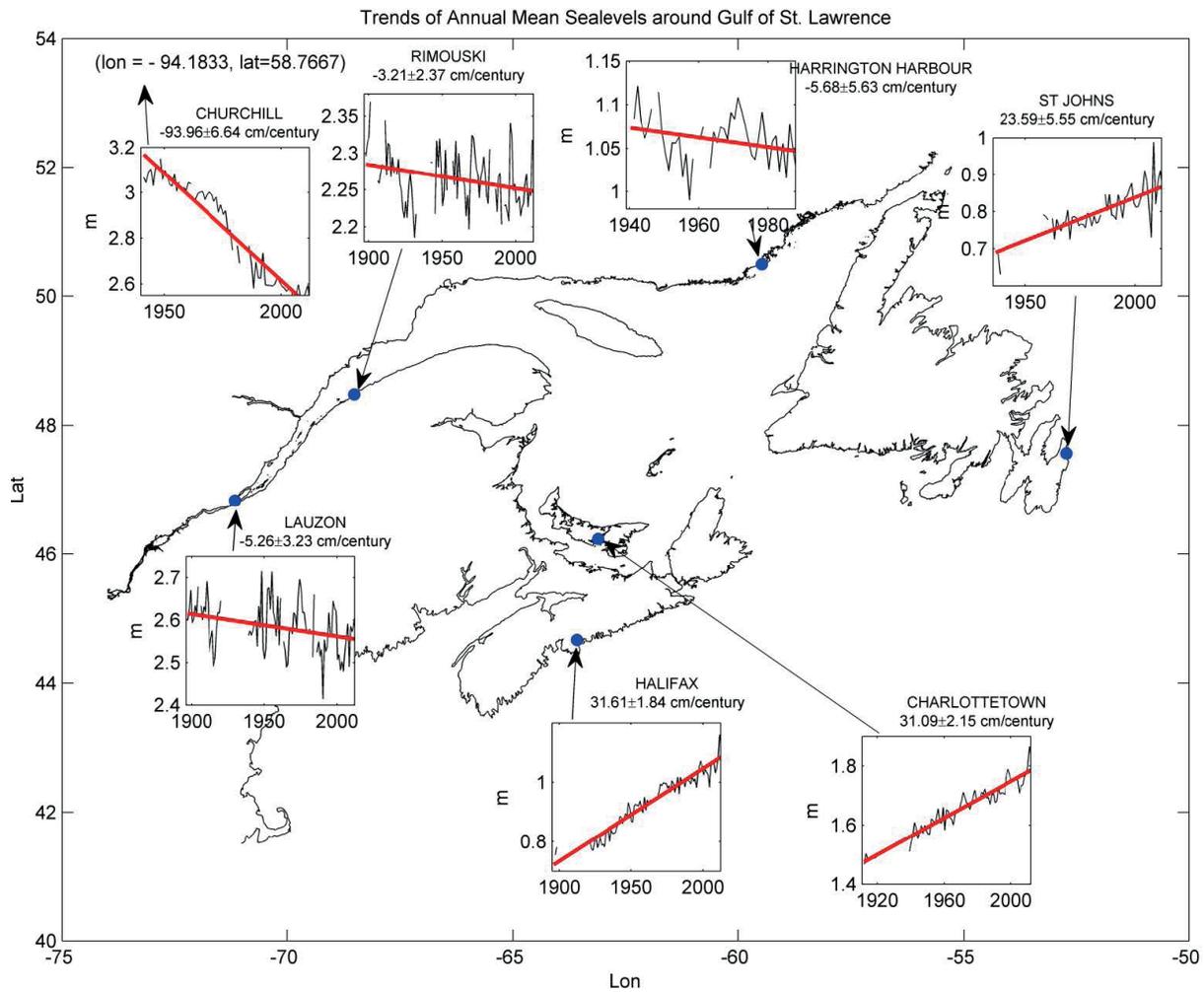


FIGURE 5 | Distribution spatiale des tendances à long terme des changements de la moyenne annuelle du niveau relatif de la mer. Les tendances à la hausse et à la baisse coexistent dans cette région puisque ce territoire se trouve dans une zone de transition entre le rebond postglaciaire et l'affaissement. La hausse du niveau global de la mer est compensée par le rebond territorial ou augmentée par l'affaissement régional. En comparaison, le graphique en haut à gauche représentant Churchill montre l'intensité du rebond territorial au nord-ouest du Canada (Xu *et al.*, 2013).

Les dernières *projections* du GIEC (GIEC, 2013) prévoient une baisse du niveau relatif de la mer de 0,3 à 1,1 m selon le scénario RCP 8.5 et de 0,3 à 1,2 m selon le RCP 4.5 (**Figure 6**) le long des côtes du détroit et de la baie d'Hudson pour la période 2081-2100 par rapport à 1986-2005. Dans le golfe du Saint-Laurent, la projection médiane de l'ensemble du GIEC basé sur RCP 8.5 laisse entrevoir une hausse du niveau relatif de la mer de 30 à 75 cm (**Figure 6a**) (Ouranos, 2015).

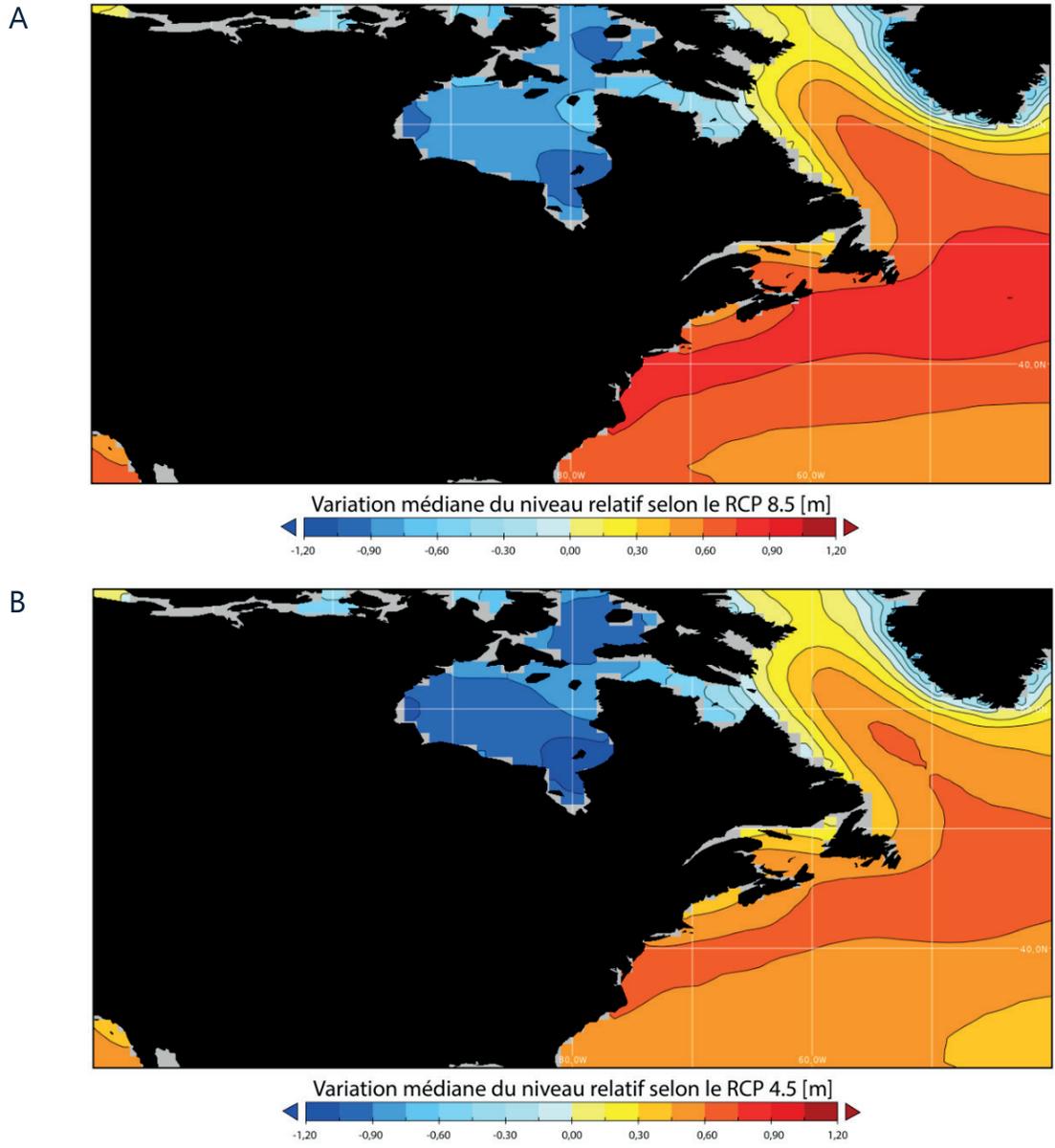


FIGURE 6 | Hausse du niveau relatif de la mer obtenue par la différence entre les moyennes des périodes 2081-2100 et 1985-2006. Les cartes représentent la valeur médiane de l'ensemble des projections du GIEC basées sur le scénario de GES RCP 8.5 (a) et RCP 4.5 (b). Le calcul du niveau relatif de la mer inclut les contributions des glaciers, des calottes glaciaires, du stockage terrestre, de l'expansion thermique, de l'effet de baromètre inverse et de l'ajustement isostatique (Ouranos, 2015).

La **Figure 7** montre les régions possiblement touchées par la hausse du niveau relatif de la mer d'ici 2100 impliquant des enjeux au niveau des structures portuaires et pour l'industrie de la pêche.

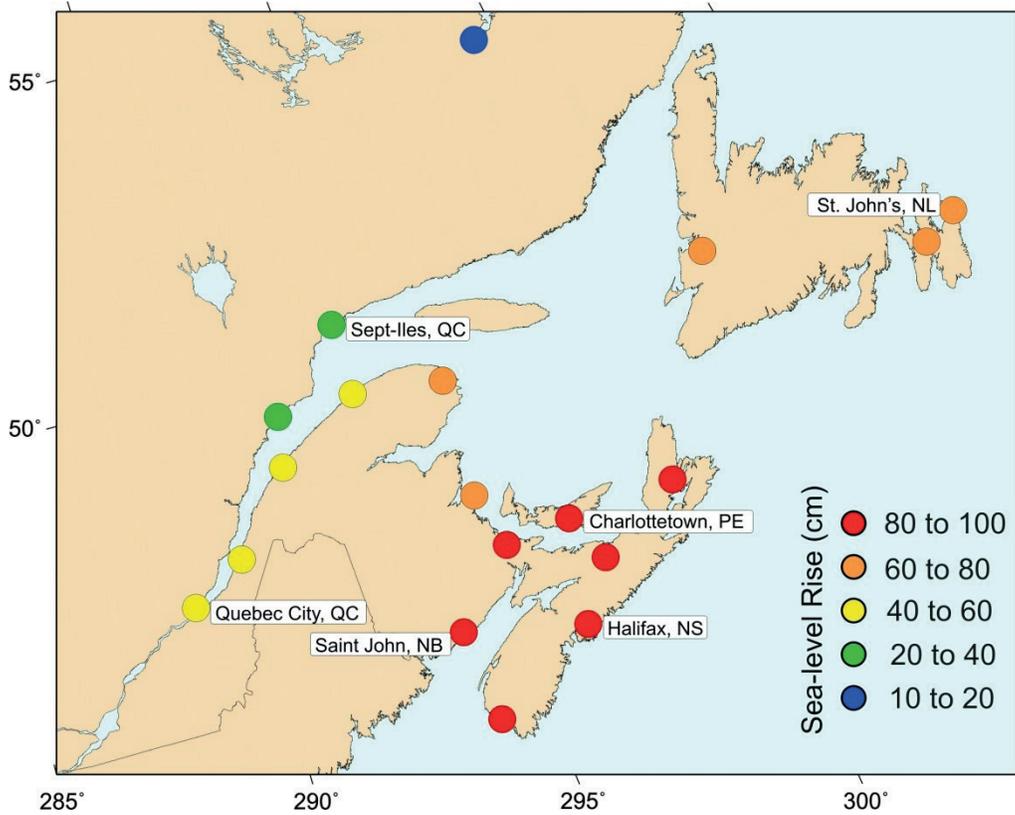


FIGURE 7 | Prévisions de l'élévation du niveau relatif de la mer d'ici 2100 pour la valeur médiane du scénario à émissions élevées (RCP 8.5; selon James *et al.*, 2014).(Savard, Van Proosdij, & O'Carroll, 2016).

Pour la partie fluviale du Saint-Laurent qui s'étend de l'exutoire du lac Ontario jusqu'à la ville de Québec, une hausse du taux d'évaporation des Grands Lacs, la principale source d'eau du fleuve, est *projetée*, entraînant une baisse des niveaux et des débits (ECCC, 2015). Cette baisse sera amplifiée ou réduite en fonction des précipitations, mais la tendance est tout de même à la baisse pour les apports moyens annuels en eau au fleuve (ECCC, 2015). Comme mentionné par Ouranos (2015), la diminution des quantités d'eau transitant par le fleuve Saint-Laurent a été évaluée entre 4 % et 24 % lors d'analyses réalisées au milieu des années 2000. Les analyses actuelles, encore en cours, tendent vers des diminutions totales moins importantes tout en confirmant que les niveaux et les débits pourraient diminuer de façon importante à la fin de l'été et au début de l'automne.

2.3 RÉGIME HYDRIQUE

Les **observations** récoltées par un grand nombre de stations hydrométriques à travers le Canada montrent, pour la période 1970-2005, une hausse significative du ruissellement durant les mois d'hiver (Warren & Lemmen, 2014). À l'échelle des débits journaliers, Lachance-Cloutier & Turcotte (2012) indiquent que les débits de vingt années récentes (1992-2011) par rapport à ceux des vingt années précédentes (1972-1991) présentent des étiages plus sévères (d'environ 10 %) et plus longs (d'environ 4 jours) et des crues de printemps moins intenses (d'environ 6 %).

Les **projections** pour l'ensemble du Québec indiquent que la distribution intra-annuelle du débit des rivières sera modifiée avec les changements climatiques, avec des débits hivernaux plus soutenus, des débits d'étiage estivaux diminués, ainsi que des crues printanières devancées (Guay, Minville, & Braun, 2015; Ouranos, 2015). Le **Tableau 1** extrait de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional (CEHQ, 2015), synthétise les principales tendances et le niveau de confiance associé aux impacts des changements climatiques sur différentes caractéristiques du régime hydrique.

TABLEAU 1 | Synthèse des impacts des changements climatiques sur le régime hydrique du Québec méridional à l'horizon 2050 (extrait de CEHQ, 2015).

TENDANCE À L'HORIZON 2050	NIVEAU DE CONFIANCE
Les crues printanières seront plus hâtives	Élevé
Le volume des crues printanières diminuera au sud du Québec méridional	Modéré
La pointe des crues printanières sera moins élevée au sud du Québec méridional	Modéré
La pointe des crues estivales et automnales sera plus élevée sur une large portion du Québec méridional	Modéré
Les étiages estivaux seront plus sévères et plus longs	Élevé
Les étiages hivernaux seront moins sévères	Élevé
L'hydraulicité hivernale sera plus forte	Élevé
L'hydraulicité estivale sera plus faible	Élevé
L'hydraulicité à l'échelle annuelle sera plus forte au nord du Québec méridional et plus faible au sud	Modéré

2.4 GLACES MARINES

Depuis les années 70, un déclin de l'étendue des glaces marines a été observé dans les eaux limitrophes du Québec. Pour le golfe du Saint-Laurent, les **observations** indiquent que la saison des glaces est plus courte que par le passé (**Figure 8**). De plus, l'englacement survient plus tardivement, bien que la variabilité interannuelle demeure accrue et que des différences importantes sont observées selon les secteurs.

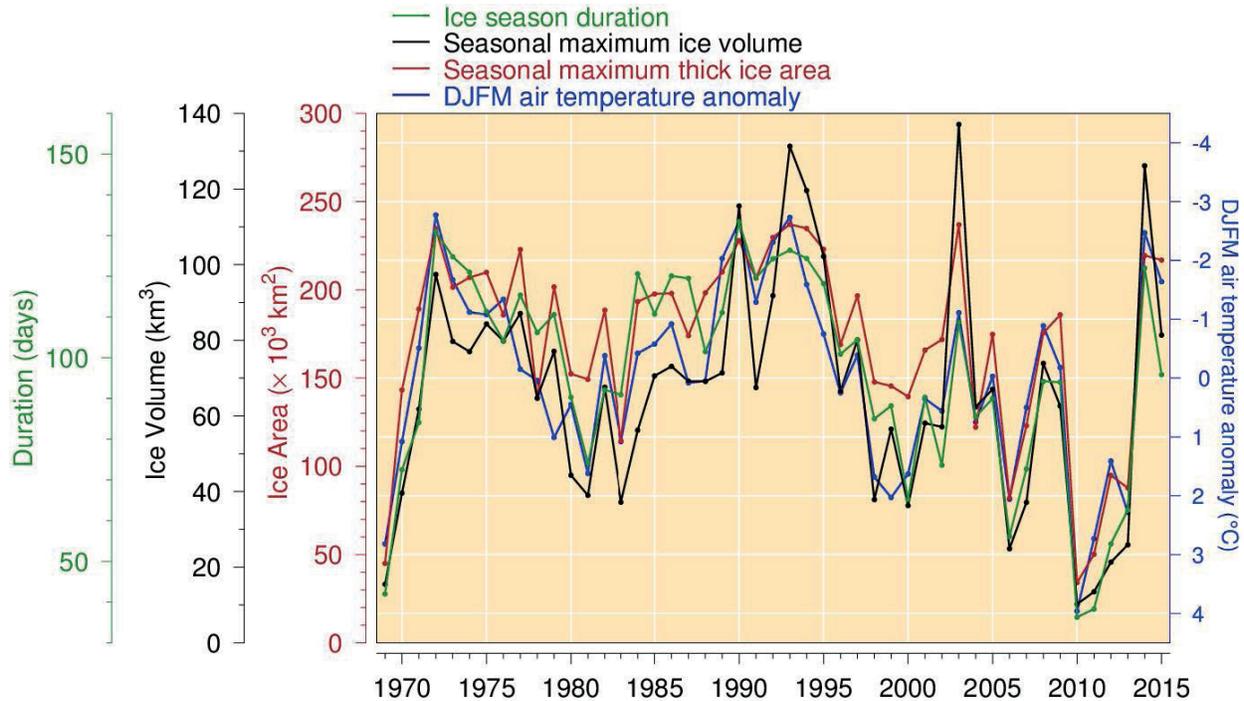


FIGURE 8 | Le volume de glace saisonnier maximal et l'aire incluant la portion du plateau néo-écossais (excluant la glace de moins de 15 cm d'épaisseur), la durée de la saison des glaces et l'anomalie de la température de l'air de décembre à mars. La relation linéaire indique des pertes de 17 km³, 30 000 km² et 14 jours de saison des glaces en mer pour chaque augmentation de 1 °C de la température de l'air en hiver (Galbraith *et al.*, 2016).

Pour l'horizon 2041-2070, il est **projeté** que la période pendant laquelle la baie d'Hudson sera libre de glace soit allongée de plus de deux mois. Pour le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent, pour le même horizon, il est projeté que l'englacement devienne plus tardif, de l'ordre de 10 à 20 jours tandis que la fonte pourrait être devancée de 20 à 30 jours par rapport à la période 1982-2011 (Ouranos, 2015). De plus, la concentration de glace maximale annuelle est appelée à diminuer de 67 % dans cette région (Ouranos, 2015). La co-variabilité de la température de l'air et du volume de glace montre qu'une anomalie de 2,5 °C, par rapport au climat de référence 1981-2010, est suffisante pour que le golfe du Saint-Laurent soit quasi libre de glace comme ce fut le cas en 2010 et 2011 (Galbraith *et al.*, 2016). Les projections montrent également une réduction du volume de glace qui était de 80 km³ durant les années 1980 à près de 0 d'ici à 2069 (Long *et al.*, 2016) (**Figure 9**).

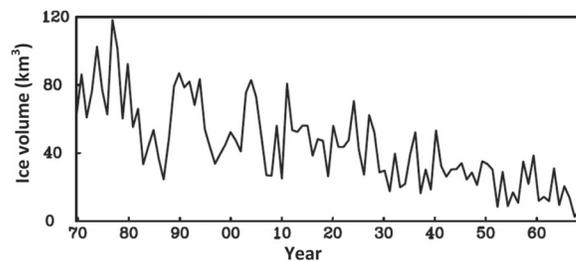


FIGURE 9 | Série temporelle du volume de glace (km³) en mars dans le golfe du Saint-Laurent (1970-2060) (Long *et al.*, 2016).

2.5 SALINITÉ

Les **observations** pour la période 1950-2011 montrent une tendance à la baisse de la salinité des eaux de surface (**Figure 10a**) pour tout le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent, à l'exception des hauts-fonds des Îles-de-la-Madeleine. Pour l'ensemble de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, la tendance 1951-2009 de la salinité à 50 m (**Figure 10b**) de profondeur est à la baisse, mais le degré de confiance est plus faible (Ouranos, 2015).

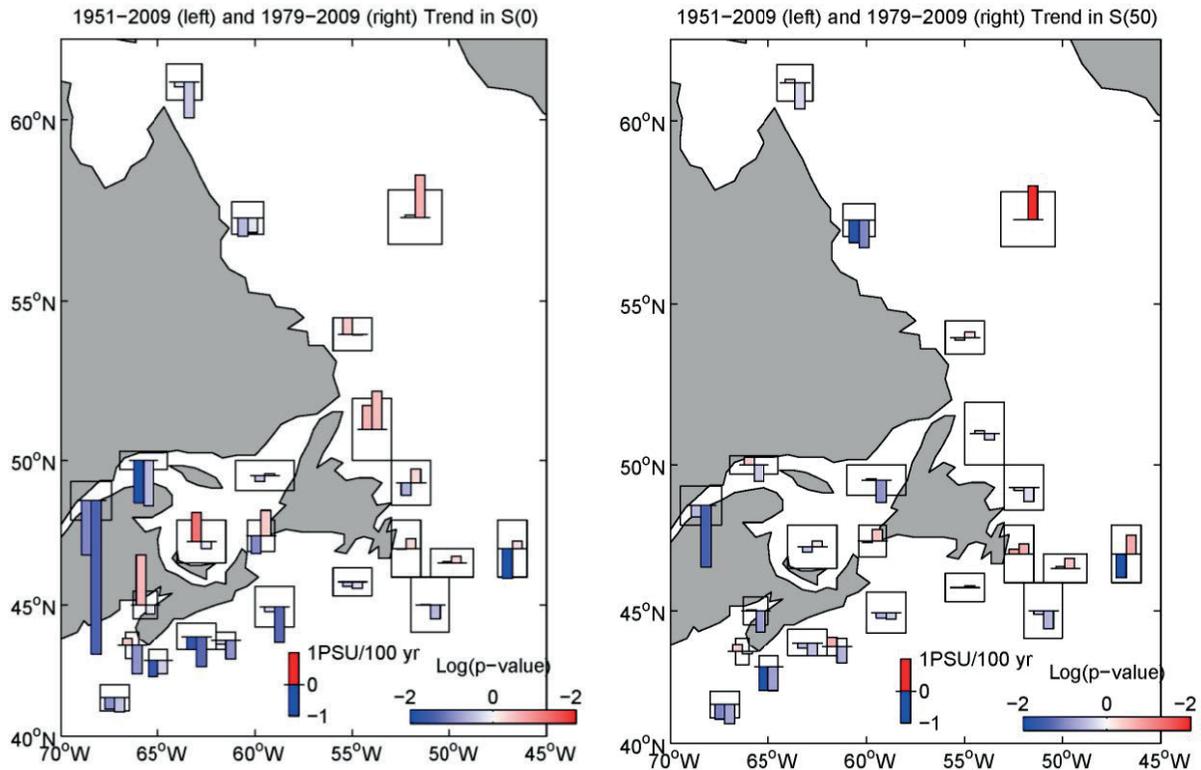


FIGURE 10 | Salinité pour 1951-2009 et 1979-2009 (a) à la surface et (b) à 50 m de profondeur. La taille des barres est proportionnelle à la tendance. L'intensité de la couleur de la barre (rouge pour une hausse, bleu pour une diminution) indique le seuil observé (p-valeur) (Hebert, 2013).



Les *projections* pour l'horizon 2081-2100, indiquent une diminution de la salinité, mais qui n'est pas statistiquement significative dans le golfe du Saint-Laurent. Ce résultat est toutefois qualitativement cohérent avec les projections de précipitations et de débits de rivières (Ouranos, 2015). Cela dit, l'eau de surface dans le golfe du Saint-Laurent deviendra moins salée à l'horizon 2070, soit une diminution comprise entre 0.4 et 0.8 ‰ (Long *et al.*, 2016) (**Figure 11**).

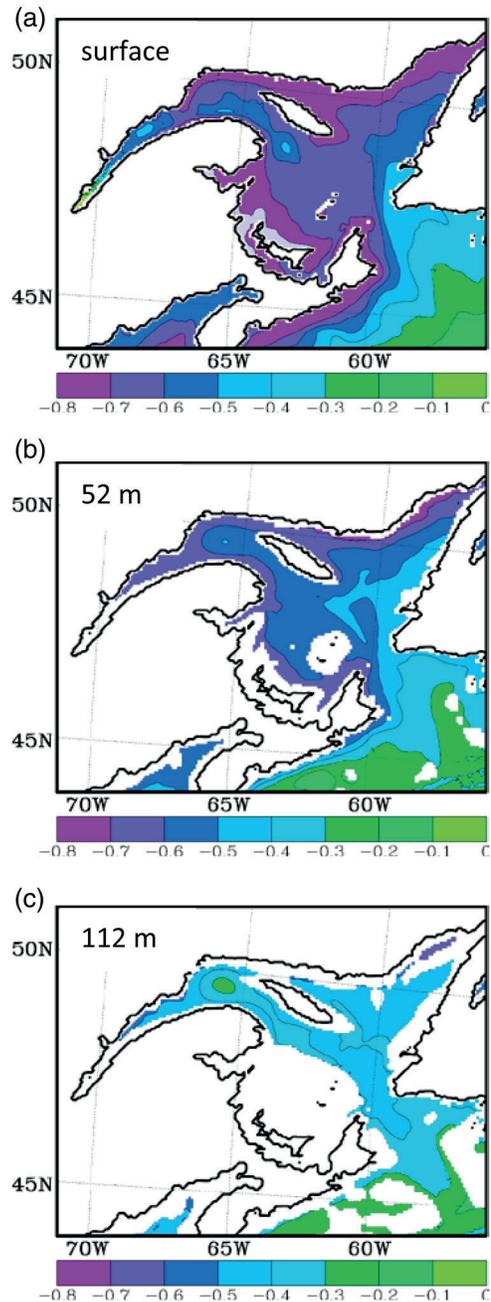


FIGURE 11 | Différence de salinité annuelle entre 2040-2069 (horizon 2070) et 1980-2009 (climat de référence) à (a) la surface, (b) 52 m et (c) 112 m (Long *et al.*, 2016).

De plus, comme la fonte des glaces est portée à s'intensifier dans le temps, surtout dans l'Arctique, il y aura conséquemment un apport en eau douce supplémentaire vers le sud par le courant du Labrador, réduisant la salinité des eaux de surface (Savard *et al.*, 2016).

2.6 OXYGÈNE DISSOUS

Les **observations** effectuées au large des côtes canadiennes de l'Atlantique témoignent d'un déclin général de la concentration en oxygène (O_2) dissous dans les eaux de subsurface (100-400 m) (**Figure 12**) (Warren & Lemmen, 2014). Cette tendance est attribuable à plusieurs facteurs qui s'exercent simultanément : une hausse des températures, la stratification accrue de la partie supérieure de l'océan, la lente remontée des eaux subtropicales en direction du pôle, l'eutrophisation causée par l'écoulement des rivières et la productivité biologique dans certaines régions côtières (Gilbert, Dare, Libman, Muchaal, & Ogden, 2010).

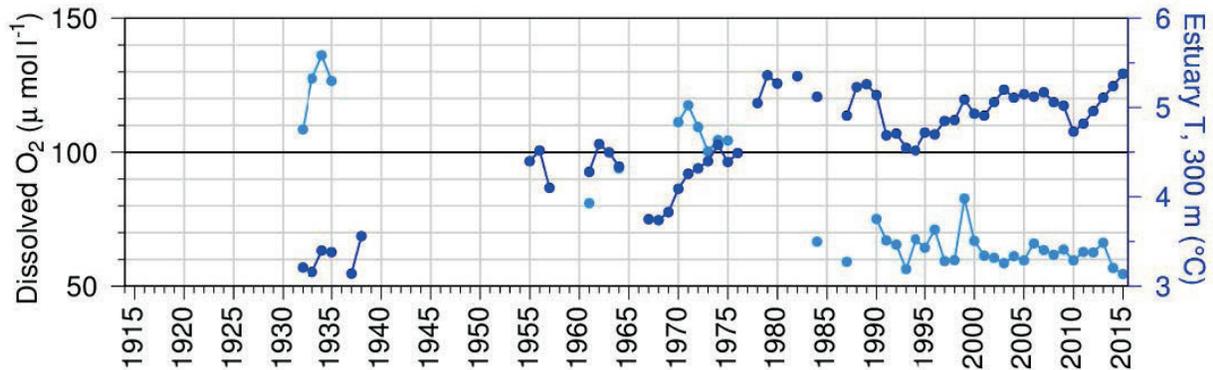


FIGURE 12 | Séries temporelles moyennes de l'oxygène dissous entre 295 m et le fond du bassin central de l'estuaire du Saint-Laurent. La ligne horizontale correspond environ à 30 % de saturation et marque le seuil des conditions hypoxiques. En plus de la série temporelle d'oxygène dissous (bleu clair), le panneau indique également la température (bleu foncé) à 300 m dans l'estuaire (Galbraith *et al.*, 2016).

Plus particulièrement pour l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, les niveaux d'oxygène dissous en profondeur sont en déclin depuis 1932, résultant d'un apport d'eau chaude pauvre en O_2 provenant de l'Atlantique Nord et d'une réduction de l'apport en eau froide riche en O_2 (D. Gilbert, Sundby, Gobeil, Mucci, & Tremblay, 2005). Cela pourrait être la conséquence d'apports en nitrates provenant de sources agricoles ainsi que de l'augmentation de la respiration bactérienne stimulée par l'augmentation de la température depuis les années 1930 (Benoît *et al.*, 2012). Considérant le fait que la valeur utilisée pour définir l'hypoxie est une saturation d' O_2 de 30 % et moins, selon ce critère certaines régions du Québec sont complètement hypoxiques, notamment l'estuaire du Saint-Laurent, la région ouest du golfe du Saint-Laurent et la tête des canaux d'Anticosti et Esquiman dans la région nord-est du golfe, et ce depuis les années 1980 (**Figure 13**) (Shackell, Greenan, Pepin, Chabot, & Warburton, 2013).

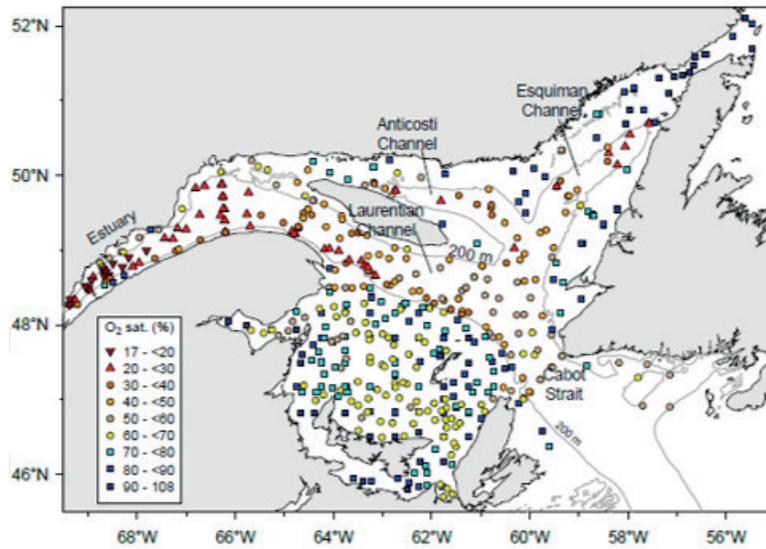


FIGURE 13 | Les bas niveaux d'O₂ dissous dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2012. Les données d'O₂ sont issues de capteurs calibrés déployés durant plusieurs séances d'échantillonnage du MPO en 2012 (Shackell *et al.*, 2013).

Pour les **projections**, peu d'information est disponible concernant les niveaux d'O₂ dans les eaux de subsurface dans le temps. Cette mesure est difficile à modéliser, car elle dépend de différents facteurs tels que la température de l'eau et de l'air, la quantité de CO₂ dans l'air, la stratification de la colonne d'eau et les courants marins.



2.7 POTENTIEL HYDROGÈNE (pH)

Les **observations** effectuées dans des zones extracôtières canadiennes de l'Atlantique révèlent que le pH diminue à un rythme comparable à celui observé à l'échelle mondiale; soit environ 0,1 unité de pH depuis l'époque préindustrielle (Bindoff *et al.*, 2007). Au Québec, les régions hypoxiques profondes mentionnées dans la section précédente ont des pH bas puisque, comme le niveau d'O₂ est bas, leurs concentrations en gaz carbonique (CO₂) sont élevées. Le pH de l'estuaire est particulièrement alarmant (~7.54) puisqu'il a déjà atteint la baisse **projetée** par les modèles pour 2100 (soit une baisse entre 0,3 et 0,4 (Doney, Fabry, Feely, & Kleypas, 2009)) (Shackell *et al.*, 2013). Cela dit, il n'y a eu aucun changement observé en surface dans le pH pour le golfe du Saint-Laurent, et ce depuis 1934 (Benoît *et al.*, 2012; Savard *et al.*, 2016).

Dans les eaux douces, on **observe** que les concentrations de CO₂ dissous sont souvent plus élevées et le pH est plus faible, donc plus acide, que dans les océans, principalement à cause des apports de nutriments issus du ruissellement (Benoît *et al.*, 2012).

L'acidification est liée à l'absorption du CO₂ et une baisse du pH de 0,1 unité qui est considérée comme une augmentation de 30 % de l'acidité par rapport à l'ère industrielle. D'ici 2100, il est **projeté** que le pH suivra les émissions et diminuera d'au moins 0,3 unité soit une augmentation de 100 % de l'acidité (Benoît *et al.*, 2012).

2.8 ÉVÉNEMENTS MÉTÉOROLOGIQUES EXTRÊMES

Différents facteurs peuvent influencer l'occurrence d'évènements météorologiques extrêmes. Voici quelques éléments qui pourraient expliquer les tendances dans le futur, même si la modélisation de ces évènements extrêmes représente encore un défi pour les climatologues (Ouranos, 2015).

2.8.1 OURAGAN

Le GIEC considère qu'il est presque certain que la fréquence et l'intensité des ouragans les plus intenses observés présentent une tendance à la hausse depuis les années 1970. Le Québec est affecté, mais indirectement par les ouragans lorsque ceux-ci se transforment en cyclones post-tropicaux. Plusieurs études s'entendent sur une augmentation du nombre d'ouragans de catégorie 4 et 5, et sur la hausse des quantités de précipitations associées aux systèmes tropicaux de toutes catégories. Il est aussi possible d'affirmer que les cyclones post-tropicaux qui affecteront le Québec apporteront de plus grandes quantités de précipitations et que ceux qui atteindront le golfe du Saint-Laurent frapperont des régions côtières subissant déjà une hausse du niveau relatif de la mer (Ouranos, 2015).

2.8.2 CYCLONE

Une diminution de l'activité cyclonique a été observée sur toutes les grandes trajectoires de dépressions affectant le Québec en hiver pour la période 2081-2100 comparativement à 1980-1999. Pour l'été, les projections tendent également vers une baisse d'activité, surtout pour les dépressions provenant du Colorado et du nord-ouest de l'Atlantique. Il pourrait y avoir une diminution des dépressions sur l'océan en bordure du Gulf Stream et une augmentation à l'intérieur des terres tout le long de la côte est américaine jusqu'au sud du Québec et des provinces atlantiques. Ce déplacement vers le nord des dépressions du nord-ouest de l'Atlantique ne semble pas se produire pour les autres grandes trajectoires nord-américaines (Ouranos, 2015).

2.8.3 ORAGES ET TEMPÊTES

Une hausse de la fréquence des évènements de précipitations convectives telles que les orages est projetée et celles-ci produiraient des quantités de précipitations de plus en plus grandes d'ici 2100. Les changements climatiques affecteront également le régime des tempêtes en augmentant leurs fréquences et de leurs intensités qui pourraient aussi causer des inondations associées à la hausse du niveau relatif de la mer (Savard *et al.*, 2016).

2.9 VAGUES

Les observations démontrent que la période où les vagues sont inhibées par la glace a diminué de 30 % entre 1995 et 2007 par rapport à la période 1960-1995 (Savard *et al.*, 2008). La hausse des températures de surface et de l'air engendre une saison des glaces plus courte, soit 14 jours de moins de saison des glaces par degré d'augmentation (Galbraith *et al.*, 2016), ce qui augmente l'énergie totale dissipée sur la côte par les vagues (Neumeier *et al.*, 2013). La modélisation des vagues dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent sur la période 2071-2100 en fonction des changements climatiques *projetée* que la hauteur des vagues pourrait augmenter de 5 cm à 1 m pour une période de retour 5 ans (Neumeier *et al.*, 2013).

2.10 COURANTS MARINS

La région du golfe du Saint-Laurent est principalement influencée par deux courants marins — le courant du Labrador d'origine arctique et le Gulf Stream d'origine tropicale — ainsi que par la circulation estuarienne dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent (Benoît *et al.*, 2012). Il n'y a cependant aucune étude concluante qui démontre une tendance décennale au niveau des courants et il est encore difficile de mesurer l'ampleur des changements climatiques sur ces grandes masses d'eaux en mouvement (GIEC, 2013).

En plus de ces courants, l'oscillation de l'Atlantique Nord est également un autre facteur important à considérer. Mieux connu sous son acronyme anglais de NAO, cette oscillation est en fait un indicateur de la circulation atmosphérique et des patrons météorologiques composés de deux centres de pression atmosphérique au-dessus de l'océan Atlantique : la dépression subpolaire d'Islande et l'anticyclone subtropical des Açores (Frumhoff, McCarthy, Melillo, Moser, & Wuebbles, 2007; Olsen, Anderson, & Knudsen, 2012).

Dans un contexte de changements climatiques, la NAO aura tendance à rester sous sa forme positive, au cours des 50 à 100 prochaines années et surtout en hiver, ce qui engendra un déplacement des eaux chaudes du Gulf Stream vers le nord et une augmentation des volumes d'eaux froides transportés par le courant du Labrador (Frumhoff *et al.*, 2007) et par le fait même un changement en ce qui concerne la diversité latitudinale des espèces de poissons (Fisher, Frank, Petrie, Leggett, & Shackell, 2008). Cependant, l'importante variabilité aux échelles interannuelles et décennales empêche de tirer des conclusions solides sur ces changements à long terme pour la NAO (GIEC, 2013).

» 3. CONCLUSION

Les changements climatiques mentionnés ci-haut auront différents impacts sur les pêches et l'aquaculture au Québec. Seules ou par effets combinés, certaines modifications du climat affecteront les propriétés biophysiques de l'eau qui auront des conséquences directes sur les différentes espèces fréquentant les eaux douces autant que les eaux marines de la province.

Certaines lacunes sur le plan des connaissances sont cependant relevées. Par exemple, les modèles utilisés afin de mieux comprendre les interactions atmosphère-glace-océan possèdent encore des résolutions inadéquates (MPO, 2013). Les connaissances concernant les événements météorologiques extrêmes, les vents et les courants marins ne suscitent pas encore de consensus au sein de la communauté scientifique. L'évaluation des impacts et l'amélioration des outils afin de bien cerner les changements climatiques futurs doivent donc être intégrées aux efforts de recherche.

» RÉFÉRENCES

- Bélangier, C., Huard, D., Gratton, Y., Jeong, D. I., St-Hilaire, A., Auclair, J. C., & Laurion, I. (2013). Impacts des changements climatiques sur l'habitat des salmonidés dans les lacs nordiques du Québec (Rapport scientifique final pour Ouranos). Montréal.
- Benoît, H. P., Gagné, J. A., Savenkoff, C., Ouellet, P., & Bourassa, M. (2012). Rapport sur l'état des océans pour la zone de gestion intégrée du golfe du Saint-Laurent (GIGSL) Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques , 2986. Rapport pêches et océans Canada.
- Bindoff, N. L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J., Gulev, S., ... Unnikrishnan, A. (2007). Observations: Oceanic climate change and sea level In: *Climate change 2007: the physical science basis*. (S. Solomon & D. Qin, Éd.) (Cambridge). Cambridge, UK,.
- Caissie, D. (2006). The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater biology*, 51(8), 1389-1406.
- CEHQ. (2015). Atlas hydroclimatique du Québec méridional - Impacts des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050. Québec.
- Charron, I. (2014). Guide sur les scénarios climatiques: Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation. Montréal, Canada: Ouranos.
- Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R. J. H., ... Kitching, S. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(5), 2098-2118. <http://doi.org/10.1002/jgrd.50150>
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem. *Annual Review of Marine Science*, 1(1), 169-192. <http://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834>
- ECCC. (2015). Évolution des niveaux et débits du fleuve St-Laurent. Suivi de l'état du Saint-Laurent. Région du Québec.
- Fisher, J. a D., Frank, K. T., Petrie, B., Leggett, W. C., & Shackell, N. L. (2008). Temporal dynamics within a contemporary latitudinal diversity gradient. *Ecology letters*, 11(9), 883-897. <http://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01216.x>
- Frumhoff, P. C., McCarthy, J. J., Melillo, J. M., Moser, S. C., & Wuebbles, D. J. (2007). Confronting Climate Change in the US Northeast: Science, Impacts and Solutions. Synthesis report of the Northeast Climate Impacts Assessment, 146.
- Galbraith, P. S., Pettipas, R. G., Chassé, J., Gilbert, D., Larouche, P., Pettigrew, B., ... Lafleur, C. (2016). Physical Oceanographic Conditions in the Gulf of St. Lawrence in 2015. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.*, 3848(4), iv + 69 p.
- GIEC. (2013). Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, ... P. M. Midgley, Éd.). Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique: Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.
- GIEC. (2014). Annexe II - Glossaire. Dans K. J. Mach, S. Planton, & C. von Stechow (Éd.), *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (p. 1-8). Genève, Suisse.

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. <http://doi.org/10.4319/lo.2005.50.5.1654>

Gilbert, N., Dare, O. K., Libman, M. D., Muchaal, P. K., & Ogden, N. H. (2010). Hospitalization for trichinellosis and echinococcosis in Canada, 2001-2005: the tip of the iceberg? *Canadian journal of public health = Revue canadienne de santé publique*, 101(4), 337-40.

Guay, C., Minville, M., & Braun, M. (2015). A global portrait of hydrological changes at the 2050 horizon for the province of Québec. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 40(3), 285-302. <http://doi.org/10.1080/07011784.2015.1043583>

Hebert, D. (2013). Trends of temperature, salinity and stratification in the upper ocean for different regions of the Atlantic Canadian shelf. Dans J. W. Loder, G. Han, P. S. Galbraith, J. Chassé, & A. van der Baaren (Éd.), *Aspects of climate change in the Northwest Atlantic off Canada* (p. 33-42). Dartmouth, Nova Scotia: Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.

James, T. S., Henton, J. A., Leonard, L. J., Darlington, A., Forbes, D. L., & Craymer, M. (2014). Relative Sea-level Projections in Canada and the Adjacent Mainland United States. Geological Survey of Canada. Open File, 7737(72), 10.4095. <http://doi.org/10.4095/295574>

Lachance-Cloutier, S., & Turcotte, R. (2012). Mise à jour sur les changements récents des indicateurs hydrologiques aux stations hydrométriques du Québec (Rapport interne). Québec.

Lapointe, M., Boisclair, D., Bergeron, N. E., Curry, R. A., MacQuarrie, K. K., St-Hilaire, A. A., ... Cunjak, R. R. A. (2013). Critical thermal refugia for Atlantic salmon and brook trout populations of eastern Canadian rivers (Rapport scientifique final pour Ouranos et CRSNG, extrait). Montréal.

Long, Z., Perrie, W., Chassé, J., Brickman, D., Guo, L., Drozdowski, A., & Hu, H. (2016). Impacts of Climate Change in the Gulf of St. Lawrence. *Atmosphere-Ocean*, 54(3), 337-351. <http://doi.org/10.1080/07055900.2015.1029869>

Mekis, É., & Vincent, L. A. (2011). An Overview of the Second Generation Adjusted Daily Precipitation Dataset for Trend Analysis in Canada. *Atmosphere-Ocean*, 49(2), 163-177. <http://doi.org/10.1080/07055900.2011.583910>

Mohseni, O., & Stefan, H. G. (1999). Stream temperature air temperature relationship: a physical interpretation. *Journal of Hydrology*, 218(3-4), 128-141. [http://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00034-7](http://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00034-7)

MPO. (2013). Risk-Based Assessment of Climate Change Impacts and Risks on the Biological Systems and Infrastructure Within Fisheries and Oceans Canada's Mandate - Atlantic Large Aquatic Basin. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Science Response 2012/044, (June 2013), 40.

Neumeier, U., Ruest, B., Lambert, A., Bismuth, E., Dumont, D., Jacob, D., ... Joly, S. (2013). Modélisation du régime des vagues du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent pour l'adaptation des infrastructures côtières aux changements climatiques (rapport final présenté au ministère des Transports du Québec). Rimouski.

Olsen, J., Anderson, N. J., & Knudsen, M. F. (2012). Variability of the North Atlantic Oscillation over the past 5,200 years. *Nature Geoscience*, 5(11), 1-14. <http://doi.org/10.1038/ngeo1589>

Ouranos. (2015). VERS L'ADAPTATION Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec - Édition 2015.

Savard, J., Bernatchez, P., Morneau, F., Saucier, F., Gachon, P., Senneville, S., ... Jolivet, Y. (2008). Étude de la sensibilité des côtes et de la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques: Synthèse des résultats (Rapport scientifique final pour Ouranos). Montréal: Ouranos.

Savard, J., Van Proosdij, D., & O'Carroll, S. (2016). Chapter 4 : Perspectives on Canada's East Coast Region. (D. S. Lemmen, F. J. Warren, T. S. James, & C. S. L. Mercer Clarke, Éd.)Canada's Marine Coasts in a Changing Climate. Ottawa, ON: Government of Canada.

Shackell, N. L., Greenan, B. J. W., Pepin, P., Chabot, D., & Warburton, A. (2013). Climate Change Impacts , Vulnerabilities and Opportunities Analysis of the Marine Atlantic Basin. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 3012, xvi + 366 p.

Warren, F. J., & Lemmen, D. S. (2014). Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation. Ottawa (Ontario).

Xu, Z., Lefaiivre, D., & Beaulieu, M. (2013). Sea levels and storm surges in the Gulf of St. Lawrence and its vicinity. Dans J. W. Loder, G. Han, P. S. Galbraith, J. Chassé, & A. van der Baaren (Éd.), Aspects of climate change in the Northwest Atlantic off Canada (p. 95-112). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat.

The background image shows a calm body of water reflecting a dense forest of tall evergreen trees. In the foreground, the dark, pointed prow of a canoe is visible, suggesting a peaceful journey on the water. The entire scene is enclosed within a thin orange rectangular border.

» CHAPITRE 3

RÉPERCUSSIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE SECTEUR DES
PÊCHES ET DE L'AQUACULTURE

» 1. INTRODUCTION

Le Québec est caractérisé par son large territoire, ses 4 500 lacs et ses 500 000 rivières, en plus du fleuve et du golfe du Saint-Laurent. Ce vaste territoire subit une gamme importante d'impacts des changements climatiques qui affecteront les propriétés physico-chimiques de l'eau et les habitats aquatiques. Ceci influencera les comportements, la distribution, le métabolisme des espèces ainsi que leur taux de survie et de reproduction, en plus d'avoir des conséquences sur les infrastructures et la sécurité en mer (Shackell, Greenan, Pepin, Chabot, & Warburton, 2013). Ces impacts viendront s'ajouter à d'autres perturbations comme la surpêche, le développement côtier et la pollution des cours d'eau (Garrett, Buckley, Brown, & Townhill, 2015).

» 2. PÊCHES COMMERCIALES MARINES

2.1 PRINCIPAUX IMPACTS

Les espèces pêchées en milieu marin ont été, et sont actuellement, influencées par différents facteurs naturels ou anthropiques (provoqués directement ou indirectement par l'activité humaine) qui évoluent dans le temps. C'est pourquoi il est difficile de différencier l'impact des changements climatiques des autres sources de perturbations. Cependant, certaines études y sont arrivées et leurs résultats sont passés en revue dans les sections suivantes.

Modification de la distribution des espèces

Il a été démontré que les aires de répartition de plusieurs espèces se déplacent avec l'évolution de la température de l'eau. En effet, entre 1968 et 2007, 72 % des espèces présentes aux abords des côtes nord-américaines se sont déplacées vers le nord et/ou vers les profondeurs afin de se maintenir dans leur intervalle de température métabolique optimale (Cheung, Dunne, Sarmiento, & Pauly, 2011; Nye, Link, Hare, & Overholtz, 2009). D'ici 2030, 10 % des espèces perdront leur habitat thermique à l'échelle nord-américaine (Shackell, Ricard, & Stortini, 2014). D'ici 2060, 76 % des espèces verront leur habitat changer au Canada; pour 55 % des espèces, cela se traduira par une perte alors que pour 21 % il y aura un gain d'habitat (Shackell *et al.*, 2014). Ce phénomène s'accompagnera, d'ici 2100, d'un déplacement marqué vers le nord des aires de répartition de certaines espèces (Shackell *et al.*, 2013).

Les espèces ayant une grande capacité de dispersion, et donc d'adaptation aux changements de température, pourraient rivaliser et même supplanter les espèces se dispersant moins rapidement et pour lesquelles le milieu deviendra moins propice à leur développement (Urban, Tewksbury, & Sheldon, 2012). L'évolution de la distribution des espèces pêchées, en lien avec l'augmentation projetée de la température de l'eau, pourrait avoir un impact sur les débarquements, avec une augmentation de l'abondance des espèces d'eaux plus chaudes au détriment des espèces d'eaux froides (Garrett *et al.*, 2015; Shackell *et al.*, 2013). Les changements pourraient augmenter les distances à parcourir pour continuer à pêcher les espèces d'eaux froides qui migrent vers le nord et ultimement conduire à changer l'emplacement de certains ports de pêche (Shackell *et al.*, 2013). Cette situation pourrait aussi engendrer des conflits puisque certaines régions risquent d'être favorisées par l'arrivée de nouvelles espèces. Pour ce qui est des régions où ces espèces étaient traditionnellement pêchées, elles seraient tentées de réclamer leur droit d'accès aux nouvelles ressources afin de maintenir leur économie (Shackell *et al.*, 2013).

Effets sur le métabolisme

La hausse de la température de l'eau pourrait influencer la quantité de nourriture nécessaire au développement et à la survie des poissons, et ce, à tous les niveaux trophiques. De plus, le taux métabolique des poissons augmentera en raison des eaux plus chaudes puisqu'ils auront besoin de plus d'énergie afin de se maintenir dans un habitat propice (Shackell *et al.*, 2013).

Asynchronisme trophique

Les différents organismes présents dans la chaîne trophique n'ont pas toutes les mêmes tolérances aux changements biophysiques de l'eau et certains asynchronismes pourraient survenir. Par exemple, les relations prédateurs-proies pourraient être déphasées, ce qui aurait pour conséquence de pénaliser ou d'avantager certaines espèces et donc, ultimement de modifier la structure de l'écosystème (Savard, van Proosdij, & O'Carroll, 2016 ; Shackell *et al.*, 2013). Par exemple, la disparition des glaces plus tôt dans la saison provoquera une hausse de la température de surface plus rapide par rapport aux eaux profondes. Ce phénomène pourrait devancer l'émergence de blooms planctoniques en surface par rapport à la présence des larves de certaines espèces de poissons ou de crustacés vivant en profondeur, menaçant ainsi leur taux de survie (Savard *et al.*, 2016 ; Shackell *et al.*, 2013). Cette modification du régime des glaces aura également un impact sur l'abondance de certains mammifères marins, tels les orques, puisqu'ils auront dorénavant accès à des territoires autrefois protégés par la glace, ce qui pourrait augmenter la prédation sur certaines populations de poissons dans le golfe du Saint-Laurent (Benoît, Gagné, Savenkoff, Ouellet, & Bourassa, 2012).

Effets de l'hypoxie

Même si les eaux profondes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent sont hypoxiques, l'impact réel de cette hypoxie sur les différentes espèces présentes dans ce secteur est encore très peu connu. Le fait que les poissons et les crustacés soient mobiles et qu'ils peuvent se déplacer afin d'éviter ces zones hypoxiques limite la détermination de l'ampleur de l'hypoxie, si des eaux plus oxygénées sont accessibles à une distance raisonnable (Benoît *et al.*, 2012). Toutefois, si les conditions hypoxiques de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent continuent de s'aggraver, certains impacts pourraient être observés en fonction de la résilience de chaque espèce. L'hypoxie peut causer la mortalité de différentes espèces, modifier le développement et la croissance, la reproduction, les patrons de migration, les relations trophiques en plus de diminuer les habitats propices (Benoît *et al.*, 2012 ; Savard *et al.*, 2016 ; Shackell *et al.*, 2013). De plus, ce phénomène peut causer une diminution de la capacité des poissons à capturer leurs proies, à éviter les prédateurs ou à échapper aux engins de pêche mobiles (Benoît *et al.*, 2012). Ces altérations du milieu marin et de la physiologie des poissons ont donc des conséquences directes sur les stocks de poissons et l'industrie des pêches.

Effets de l'acidification

L'acidification projetée de l'océan pourrait avoir un impact sur les pêches marines, mais d'importance moindre que ceux précédemment décrits (Benoît *et al.*, 2012). Les conséquences concrètes de l'acidification de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent sont principalement la diminution des ions carbonates, incluant l'aragonite et le calcite, souvent nécessaires aux stades larvaires et à la formation de la coquille et de la carapace de différentes espèces de bivalves et crustacés (Benoît *et al.*, 2012 ; Warren & Lemmen, 2014). D'autres conséquences pourraient impliquer la dissolution des coraux, la modification de la productivité de certains poissons et invertébrés, l'augmentation de la croissance de certaines algues, des changements dans la composition et dans la dominance des espèces, le tout ayant des répercussions directes sur l'industrie des pêches (Savard *et al.*, 2016). L'acidification pourrait également réduire les aptitudes métabolique et reproductive (« fitness ») de plusieurs espèces et avoir des impacts sur leur abondance (IUCN, 2015).

Émergence des espèces exotiques envahissantes (EEE)

Les espèces exotiques envahissantes (EEE) peuvent avoir des conséquences graves sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes. Dans un contexte de changements climatiques, certaines EEE seront favorisées par différents facteurs tels que la hausse de la température de l'eau, la réduction du couvert de glace, les changements du régime hydrique, une salinité plus élevée et l'augmentation des habitats propices (Rahel & Olden, 2008). De plus, certaines populations d'espèces exploitées qui ne sont pas présentement touchées par les EEE pourraient le devenir par l'arrivée de nouveaux pathogènes et parasites, eux-mêmes favorisés par les changements climatiques, et pour lesquels les espèces exploitées ne sont pas immunisées (Shackell *et al.*, 2013). Les EEE pourraient également entrer en compétition avec les espèces exploitées sur les plans de la nourriture et de l'occupation de l'espace, avec des conséquences sur la qualité et la quantité des débarquements ou sur les réseaux trophiques (Shackell *et al.*, 2013).

Altérations aux infrastructures et à la sécurité en mer

Dans l'est du Québec, la hausse du niveau relatif de la mer et l'augmentation des inondations côtières ont déjà des impacts sur les installations portuaires (Savard *et al.*, 2016). Les changements projetés dans le régime des tempêtes et des vagues vont également accroître ce risque, en plus de réduire la sécurité en mer surtout pour les petites embarcations de pêche (Brzeski, 2011). De plus, les changements climatiques pourraient affecter l'efficacité de la réponse des équipes de sauvetage en mer qui seront plus en demande et pour qui les missions seront plus périlleuses en raison des tempêtes plus fréquentes (MPO, 2013c).

Érosion des berges

Comme le Québec possède près de 6 000 km de littoral, une partie intégrante de l'habitat des poissons et des crustacés, l'impact des changements climatiques sur ce milieu est non négligeable. L'érosion côtière sera plus importante dans le temps en raison de la réduction du couvert de glace, la hausse du niveau de la mer et le régime des tempêtes perturbant ainsi l'aire de distribution de différentes espèces, et ce, principalement tout au long du Saint-Laurent (Lemmen *et al.*, 2016).



2.2 ÉTAT DES CONNAISSANCES

Comme mentionné dans la première partie de ce document, les principales espèces pêchées au Québec à des fins commerciales en milieu marin sont le crabe des neiges, le homard d'Amérique, la crevette nordique, le flétan du Groenland et le flétan de l'Atlantique. La prochaine section présente l'état des connaissances actuelles sur les impacts des changements climatiques sur ces espèces, ainsi que sur la morue, une espèce historiquement importante dans le golfe du Saint-Laurent, et sur le hareng et le maquereau, deux espèces importantes utilisées comme appâts et comme prise commerciale.

Crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) : Le crabe des neiges est une espèce vivant en eau froide (-1 à 3 °C) et à des profondeurs élevées d'environ 60 à 220 m (Benoît *et al.*, 2012; MPO, 2015b). Seuls les mâles sont pêchés puisqu'ils sont significativement plus gros que les femelles, mais ils doivent posséder une carapace de 95 mm ou plus de largeur afin d'être conformes à la réglementation en vigueur (MPO, 2015b). Parmi les changements climatiques, c'est la hausse de la température de l'eau qui aura le plus grand impact sur cette espèce. Dans un contexte où son habitat de prédilection, les eaux profondes froides, se réchauffe, l'aire de distribution du crabe risque alors de se contracter et d'être dorénavant plus accessible à des prédateurs comme la morue (MPO, 2015c ; Shackell *et al.*, 2013). De plus, le stade larvaire de l'espèce nécessite ses eaux froides pour un meilleur taux de survie (Emond, Sainte-Marie, Galbraith, & Bety, 2015). Une autre conséquence de la hausse de la température est une reproduction annuelle plutôt que bisannuelle, ce qui pourrait engendrer des conséquences négatives sur la qualité des larves et donc sur les populations et leur productivité (Shackell *et al.*, 2013). À l'horizon 2020-2030, non seulement le taux de croissance des mâles pourraient augmenter mais aussi leur taille maximale avec la température de l'eau plus élevée (Shackell *et al.*, 2013). À l'horizon 2060-2070, ces changements seront encore plus importants, d'où le besoin d'adapter les politiques de gestion de la ressource pour qu'elles prennent en compte les changements climatiques. Cela permettrait d'éviter la surpêche, surtout si le taux de croissance et la taille commerciale des crabes sont atteints plus rapidement (MPO, 2015c; Shackell *et al.*, 2013).

Homard d'Amérique (*Homarus americanus*) : Le homard est une espèce d'importance économique qui vit en eau froide et tempérée (-1,5 à 22 °C) et à des profondeurs d'environ 25 m (MPO, 2014). Grâce à sa capacité à supporter des eaux plus chaudes (**encadré n°1**), le homard risque de voir son aire de distribution s'agrandir à moyen terme (Benoît *et al.*, 2012). Toutefois, les températures de l'eau projetées par les modèles climatiques pour 2060-2070 seront trop chaudes dans le sud du golfe du Saint-Laurent pour les larves, ce qui confinerait le homard à des eaux plus profondes et donc des territoires moins abondants (Benoît *et al.*, 2012). Cela les exposera à de plus grands risques de maladies et à des zones hypoxiques qui pourraient avoir des répercussions sur les populations (Shackell *et al.*, 2013). La hausse de température pourrait également influencer la reproductivité de l'espèce par une augmentation de la fréquence de ponte des femelles qui pourrait passer de bisannuelle à annuelle, entraînant des coûts métaboliques importants (MPO, 2014). Cependant, elle pourrait également influencer les périodes de mue du homard et donc engendrer des conséquences durant les périodes de pêche, augmentant les possibilités de pêcher des homards à carapace molle non exploitables pour l'alimentation (Mills, Pershing, & Brown, 2013). Cela dit, le homard adulte est relativement résistant à l'hypoxie et à une baisse de la salinité (Shackell *et al.*, 2013). Cependant, les larves réagissent différemment au pH puisqu'elles muent régulièrement durant leur développement (Keppel, Scrosati, & Courtenay, 2012). En effet, lorsqu'elles sont soumises à un pH de 7.7, soit le pH prévu pour les eaux de surface d'ici 2100, les larves ont un taux de croissance plus faible et une période d'intermue plus longue (Keppel *et al.*, 2012).

1. LE CAS DU HOMARD D'AMÉRIQUE FACE À UNE VAGUE DE CHALEUR (Mills *et al.*, 2013) : En 2012, une vague de chaleur a frappé la côte est américaine, engendrant une hausse de la température de surface de l'océan de 1 à 3 °C par rapport à la moyenne observée entre 1982 et 2011. Cet événement a eu des répercussions directes sur la pêche au homard puisqu'un grand nombre d'individus se sont déplacés vers les eaux côtières moins profondes, comme ils le font chaque printemps, mais avec trois semaines d'avance. La saison de la pêche a donc été devancée en juin-juillet alors qu'elle débute normalement en juillet et atteint un sommet en août. Ultimement, la hausse des températures pourrait avoir différents impacts sur cette espèce incluant une mue hâtive et une réduction de la variabilité au niveau de la croissance.

Crevette nordique (*Pandalus borealis*) : La crevette nordique vit dans les eaux froides entre 2 et 6 °C et à des profondeurs allant jusqu'à 150 m (MPO, 2009b). Les changements climatiques affecteront principalement sa distribution et son abondance dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (Shackell *et al.*, 2013). La hausse de la température en surface engendrera des blooms précoces de phytoplancton au printemps et provoquera un asynchronisme avec la fraie et l'éclosion des larves de crevette, des processus qui dépendent de la température en profondeur (Hebert, 2013; Koeller *et al.*, 2009; Shackell *et al.*, 2013). Ainsi, l'asynchronisme avec le moment des poussées phytoplanctoniques sur lesquelles se nourrissent les larves et l'augmentation de la pression par la prédation à moyen terme laisse supposer un taux de mortalité élevé et un faible recrutement de la biomasse exploitable (Drinkwater, 2009; MPO, 2015a; Worm & Myers, 2003). Cela dit, les changements climatiques favoriseront les populations de crevettes plus au nord, fréquentant des eaux plus froides, contrairement aux populations du sud en eaux plus chaudes (Garrett *et al.*, 2015). Par ailleurs, l'acidification pourrait aussi affecter la crevette nordique en termes de qualité, en altérant son apparence et son goût lorsqu'elle est exposée à un pH de 7.5 (Dupont, Hall, Calosi, & Lundve, 2014). Les zones hypoxiques grandissantes dans le golfe du Saint-Laurent pourraient quant à elles influencer les réponses métaboliques de la crevette lorsqu'elle migre verticalement, se nourrit et produit des œufs, et ce, surtout chez les femelles, mais l'ampleur de cette influence reste encore à déterminer (Dupont-Prinet *et al.*, 2013; Pillet, Dupont-Prinet, Chabot, Tremblay, & Audet, 2016).

Flétan de l'Atlantique (*Hippoglossus hippoglossus*) : Cette espèce vit dans des eaux entre 3 °C et 9 °C et peut atteindre des profondeurs très élevées, jusqu'à 500 m durant l'hiver (MPO, 2009c). Dans un contexte de changements climatiques, suite à une hausse de la température de l'eau, le flétan de l'Atlantique pourrait être exposé à une baisse de croissance et de capacité reproductive en plus d'être affecté par la perte d'habitat (Shackell *et al.*, 2013). Le taux de croissance devrait également diminuer dans le temps selon les projections à la hausse de la concentration de CO₂ dans l'eau (Gräns *et al.*, 2014).

Flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) : Le flétan du Groenland se retrouve principalement dans les chenaux du golfe du Saint-Laurent, à des profondeurs de plus de 130 m et particulièrement entre 200 et 375 m. À ces profondeurs, les flétans sont exposés à une hypoxie sévère. Cependant, à l'âge adulte, l'espèce possède une grande tolérance à ces conditions et peut se réfugier dans ces profondeurs se protégeant ainsi contre les prédateurs moins tolérants à ces mêmes conditions (Ait Youcef, Lambert, & Audet, 2013). Cela dit, l'hypoxie sévère peut limiter l'éclosion à des taux de saturation entre 10 et 20 % d'oxygène, mais affecte plutôt les étapes préliminaires du développement (Mejri, Tremblay, Lambert, & Audet, 2012). Les conséquences de cette hypoxie sévère se traduiront aussi par une augmentation de la durée du processus de digestion chez les juvéniles (Dupont-Prinet *et al.*, 2013 et par une réduction du recrutement et de l'abondance des populations (Mejri *et al.*, 2012). La température plus chaude de l'eau aura également un impact sur cette espèce, plus particulièrement au nord d'Anticosti et d'Esquiman, où les flétans se retrouvent déjà à des températures de plus de 6 °C en profondeur, soit plus de 1 °C au-dessus de la moyenne observée entre 1990 et 2014. Cette exposition à des températures élevées peut également engendrer des effets négatifs sur leur croissance, leur reproduction, leur distribution spatiale ainsi que sur leurs relations trophiques (MPO, 2015d).

Il est important de mentionner que présentement le stock de flétan du Groenland est stable alors que celui du flétan atlantique est en augmentation (MPO, 2015d).

Autres espèces d'importance

Comme mentionné dans la partie 1 de ce document, les types d'espèces débarquées ont changé dans le temps depuis les dernières années favorisant les crustacés, au détriment des poissons. Il est cependant important de rappeler comment certaines espèces ont été initialement à la base de ce secteur économique et comment les changements climatiques pourraient affecter le retour de ces populations à des niveaux durables.

Morue franche de l'Atlantique (*Gadus morhua*) : La morue de l'atlantique évolue à des températures de 0 à 14 °C et à des profondeurs variant entre 50 et 200 m (MPO, 2015e). La morue a été une des espèces les plus exploitées par le passé au Canada. En plus d'avoir été victime de la surpêche, les changements climatiques ont également eu un impact sur son rendement. Comme c'est un poisson de fond, cette espèce est exposée à l'hypoxie, mais étant une espèce mobile, elle peut se déplacer et ainsi éviter des conditions défavorables. Toutefois, ces déplacements engendrent une contraction de son habitat (Benoît *et al.*, 2012). L'acidification pourrait également influencer les populations puisque la baisse de pH projetée dans les prochaines années risque d'avoir des conséquences graves sur les tissus de cette espèce, entraînant un haut taux de mortalité (Frommel *et al.*, 2011). La hausse des températures pourrait également avoir un impact sur la morue particulièrement au niveau de la masse corporelle de l'espèce qui tendrait à diminuer (Cheung *et al.*, 2012).

Maquereau bleu de l'Atlantique (*Scomber scombrus*) : Comme les populations de maquereau entreprennent de grandes migrations pour la période de fraie, elles sont difficiles à évaluer et par conséquent très peu de données existent à leur sujet (MPO, 2012). Cette espèce est grandement utilisée par les pêcheurs comme appâts, et elle est une proie fréquente de la pêche sportive (MPO, 2012). Cela dit, les populations actuelles ne sont pas très abondantes en raison de la surpêche des années passées (MPO, 2012). Les impacts des changements climatiques sur cette espèce sont donc encore mal compris, mais comme cette espèce possède une haute demande en énergie, les zones hypoxiques, tout comme la hausse des températures, sont susceptibles d'avoir des conséquences néfastes sur son métabolisme, sa reproduction ainsi que son habitat (Shackell *et al.*, 2013).

Hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*) : Tout comme pour le maquereau, les populations de hareng ont beaucoup diminué au cours des dernières années en raison de la surpêche. Cependant, les impacts des changements climatiques sur cette espèce sont encore peu connus (Shackell *et al.*, 2013). Comme cette espèce fraie du printemps à l'automne selon les populations, la hausse de la température de l'eau pourrait éventuellement influencer la saison de fraie, mais les résultats des recherches à ce sujet dans le golfe du Saint-Laurent restent encore à être confirmés (Melvin, Stephenson, & Power, 2009). Cela dit, comme cette espèce possède une grande mobilité et donc une bonne capacité de dispersion, elle peut facilement éviter les zones moins favorables, par exemple les zones hypoxiques, ce qui renforce sa capacité d'adaptation face aux changements climatiques (Shackell *et al.*, 2013).

Bien que les niveaux soient bas à l'heure actuelle, la population de hareng reste stable ou augmente alors que celle du maquereau diminue toujours (MPO, 2015e).



» 3. TRANSFORMATION DES PRODUITS DE LA MER

3.1 PRINCIPAUX IMPACTS

L'industrie de la transformation des produits de la mer est dépendante des débarquements de la pêche commerciale. Comme les changements climatiques auront une incidence sur ce type de pêche, il y aura probablement des répercussions indirectes sur l'industrie de la transformation, dont celle du homard de l'Atlantique, de la crevette nordique et du crabe des neiges. Il existe très peu d'informations quant aux impacts directs et indirects des changements climatiques sur les activités de transformation des produits de la mer au Québec. Il est tout de même possible d'anticiper certaines conséquences probables.

Comme décrit dans la section précédente, les impacts des changements climatiques sur ces espèces pourront en effet modifier la quantité et la qualité des débarquements dans les différentes régions de pêche. Par exemple, comme le crabe des neiges est moins tolérant aux eaux chaudes, il est probable que l'industrie de la transformation doive faire face à des débarquements de crabe diminués dans le temps, et elle devra donc s'adapter. De plus, les usines d'une région pourraient voir leur approvisionnement baisser aux dépens d'autres régions si la distribution spatiale des espèces varie, et ce, principalement pour les espèces débarquées par les pêcheurs côtiers.

D'autre part, en raison de la hausse de la température, les coûts de production de ce secteur économique pourraient augmenter. En effet, les coûts de la réfrigération des produits pourraient être plus importants, autant en usine que lors du transport (Brzeski, 2011). Les pêcheurs pourraient devoir utiliser de plus grandes quantités de glace pour préserver les prises à bord du bateau, ce qui affecterait les frais d'exploitation. Les coûts de réfrigération de l'eau des grands viviers de homard pour la contention à moyen terme en saison estivale pourraient également augmenter.

Dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent, les changements climatiques accentueront la vulnérabilité des usines de transformation ainsi que des infrastructures portuaires et de transport situées en zones côtières. Celles-ci seront soumises à l'érosion ou à la submersion lors de tempêtes, en plus d'être exposées à la hausse du niveau de la mer (Garrett *et al.*, 2015; Savard *et al.*, 2016). Cela pourrait avoir des conséquences à tous les niveaux, dans la chaîne de transformation, incluant l'approvisionnement, le fonctionnement des usines et le transport des produits transformés.

» 4. AQUACULTURE MARINE

4.1 PRINCIPAUX IMPACTS

L'aquaculture marine est susceptible d'être touchée par les modifications des conditions physico-chimiques de l'eau induites par les changements climatiques, qui pourraient venir se superposer à d'autres facteurs de perturbations comme la pollution et les espèces exotiques envahissantes (EEE).

Effets de l'acidification

L'acidification des eaux pourrait augmenter la solubilité des carbonates, des éléments majeurs qui entrent dans la composition des coquilles de différents organismes produits en aquaculture marine (Benoît *et al.*, 2012). Ainsi, dans un milieu acide, les organismes ont besoin de plus d'énergie afin de compléter leur calcification. Ils consacrent donc moins d'énergie pour d'autres activités biologiques nécessaires à leur survie, telles que la reproduction et la croissance. Cela entraîne une perte de masse corporelle, de compétitivité et de viabilité (Pörtner, Schmidt, Roberts, & Rost, 2014). Par exemple, les moules et les huîtres sont affectées par l'acidification puisque leur coquille externe peut être affaiblie, voire dissoute, lorsqu'elle est exposée à un pH plus faible que la normale (pH = 8,2) (Pörtner *et al.*, 2014). Les impacts négatifs observés sont surtout associés aux stades larvaires possédant une coquille en aragonite (Gazeau *et al.*, 2013) et peuvent impliquer des déformations au niveau de la coquille ainsi qu'une diminution de son épaisseur, un ralentissement de la croissance et un métabolisme déficient (Gazeau *et al.*, 2010; Reid & Gurney-Smith, 2016). En zones côtières, l'effet de l'acidification est également renforcé par l'eutrophisation et les apports en nutriments des rivières, par les changements du régime hydrique ainsi que par la remontée d'eau profonde riche en CO₂ (Reid & Gurney-Smith, 2016).

Émergence des organismes pathogènes

La hausse des températures projetée dans un contexte de changements climatiques pourrait augmenter les taux d'infection ainsi que la longueur de la saison d'infection par les différents organismes pathogènes (Karvonen, Rintamäki, Jokela, & Valtonen, 2010). De plus, la barrière naturelle générée par l'eau froide devient moins efficace pour empêcher l'arrivée de nouvelles espèces tolérantes aux eaux plus chaudes (Maclean, Breeze, Walmsley, & Corkum, 2013). L'industrie de l'aquaculture marine est vulnérable à l'arrivée et à l'expansion de ces organismes puisqu'ils peuvent former des colonies sur les coquilles ou sur les structures d'élevage (**encadré n°2**) et ainsi grandement affecter la qualité, mais aussi le succès de prédation et la compétitivité des bivalves en élevage (Maclean *et al.*, 2013).

2. LE CAS DU TUNICIER (MPO, 2011) : Les tuniciers coloniaux peuvent avoir une influence notable sur un écosystème en déplaçant les espèces présentes telles que les plantes, les invertébrés et les poissons. Une fois fixés à un individu ou à une structure, ils forment un tapis gélatineux et recouvrent tout ce qui se retrouve sous l'eau. Ils engendrent une forte concurrence pour la nourriture avec les organismes déjà en place. Comme ils se fixent aux structures d'aquaculture, ils peuvent par exemple augmenter le poids des boudins et rendre la culture plus difficile, augmentant également les coûts reliés à l'exploitation de la récolte et à la transformation. Parmi les autres espèces induisant le même genre de conséquences écologiques et économiques, on retrouve la caprelle (*Caprella mutica*), l'ascidie jaune (*Clona intestinalis*), l'ascidie plissée (*Styela clava*) ainsi que le crabe vert (*Carcinus maenas*).

Hausse du niveau de la mer et régime des tempêtes et des précipitations

L'aquaculture marine est souvent localisée dans des baies afin d'éviter les conditions moins favorables du large. Cela dit, la hausse du niveau de la mer prévue dans l'est de la province, en combinaison avec la diminution du couvert de glace et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes, risquent d'accroître la vulnérabilité des installations côtières d'aquaculture ainsi que le lessivage de déchets et de nutriments vers les océans (Lemmen *et al.*, 2016 ; Ouranos, 2015 ; Savard *et al.*, 2016 ; Warren & Lemmen, 2014). L'augmentation projetée des précipitations pourrait également exacerber ce phénomène et modifier les apports en eau douce dans les baies et lagunes où l'on retrouve des installations aquacoles (Filgueira, Guyondet, Comeau, & Tremblay, 2016)

4.2 ÉTAT DES CONNAISSANCES

Comme mentionné dans le chapitre 1 de ce document, les principales espèces cultivées en milieu marin sont les suivantes : les moules, les pétoncles et les huîtres. La prochaine section présente l'état des connaissances actuelles concernant les impacts des changements climatiques sur ces différentes espèces. Il est important de mentionner que, comme ces espèces sont des organismes filtreurs, ils sont également sensibles aux contaminants, aux toxines et aux EEE, ce qui rend difficile l'estimation de l'ampleur des impacts des changements climatiques. Cependant, plusieurs études ont pu démontrer l'influence des nouvelles conditions climatiques projetées.

Moule bleue : La moule bleue (*Mytilus edulis*) est une espèce largement répandue à travers le monde, qui croît de façon optimale entre 10 et 20 °C, sa température létale étant de 27 °C (MAPAQ, 2004b). Les moules sont affectées par la salinité sur le plan de leur développement : leur croissance est fortement réduite lorsque la salinité est inférieure à 12,8 ppm, le taux optimal de croissance étant de 26 ppm (MAPAQ, 2004b ; MPO, 2003b). Les moules sont également affectées par l'acidification, plus spécifiquement durant le stade larvaire où la coquille peine à se développer à des concentrations de CO₂ entre 1000 et 2000 µatm (Kurihara, 2008 ; Reid & Gurney-Smith, 2016). Les répercussions les plus importantes des changements climatiques sont cependant liées à la présence des EEE, comme les tuniciers qui se fixent aux coquilles, aux boudins, aux installations et aux équipements, et qui peuvent augmenter sérieusement les coûts associés à la récolte (Benoît *et al.*, 2012). Ainsi, comme les changements climatiques favorisent l'expansion des EEE, les coûts pour maintenir la qualité des produits auront tendance à augmenter dans le temps.

Pétoncle géant : Le pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) vit en eau froide entre 5 et 15 °C et sa température létale est de 21 °C (MAPAQ, 2004c). En raison des changements climatiques, des mortalités estivales pourraient augmenter surtout dans les secteurs où la température de surface peut atteindre le fond, comme c'est le cas aux Îles-de-la-Madeleine (Benoît *et al.*, 2012). Par ailleurs, une étude en Norvège a démontré que l'acidification des eaux diminue la tolérance thermique du pétoncle qui est alors plus vulnérable aux extrêmes de température. Il possède alors une moins grande capacité métabolique, et son taux de survie diminue dans un contexte de changements climatiques (Schalkhauser *et al.*, 2013). Au Québec, l'impact réel des changements climatiques sur le pétoncle d'élevage reste encore à être précisé.

Huître américaine : L'huître américaine (*Crassostrea virginica*) est tolérante aux températures comprises entre -2 et 32 °C. Elle croît activement à partir de 20 °C, et ce jusqu'à 26 °C (MPO, 2003a). Dans un contexte où la température de l'eau va augmenter dans le temps, les huîtres seront donc avantagées par rapport aux moules avec un taux de croissance plus élevé surtout dans les baies en milieu peu profond (Filgueira *et al.*, 2016). Bien que l'huître tolère des eaux plus chaudes que le pétoncle et la moule (MAPAQ, 2004a), certains autres facteurs tel que l'acidification de l'eau de mer pourraient perturber la reproduction des huîtres en nuisant à la fécondation et au développement des larves (Benoît *et al.*, 2012) ainsi qu'au métabolisme et à la formation de la coquille (Pörtner *et al.*, 2014 ; Reid & Gurney-Smith, 2016). Cependant, le développement d'écloserie au Québec pourrait pallier cet impact en offrant un milieu de croissance à température contrôlée.

» 5. AQUACULTURE EN EAU DOUCE

5.1 PRINCIPAUX IMPACTS

L'aquaculture en eau douce (ou pisciculture) est pratiquée au Québec dans des milieux contrôlés, en bassins ou en étangs artificiels. Aucun élevage n'est réalisé en milieu naturel non contrôlé, ce qui limite les possibilités de contamination ainsi que la perte d'individus dans l'écosystème environnant. C'est pourquoi les impacts des changements climatiques se feront sentir surtout sur les infrastructures et sur la gestion et le maintien des conditions d'élevage plutôt que sur les espèces élevées.

Hausse du niveau de la mer et régime des tempêtes

Les infrastructures situées dans l'est du Québec sont plus exposées aux modifications projetées du régime des tempêtes et vulnérables à l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des événements météorologiques extrêmes, ainsi que de la hausse du niveau de la mer (Lemmen *et al.*, 2016; Savard *et al.*, 2016).

Enjeu d'approvisionnement en eau et régime des précipitations

Pour les étangs et les bassins situés dans le sud du Québec, des pluies fréquentes et plus intenses peuvent provoquer des inondations localisées et des épisodes de surverses, une tendance appelée à s'accroître avec les changements climatiques (Ouranos, 2015). Les modifications en ce qui concerne les précipitations et la gestion des eaux de pluie et/ou des eaux usées pourraient donc accroître la vulnérabilité de certaines installations piscicoles dans le futur.

Hausse de la température de l'air

Quant aux conditions d'élevage, la hausse de la température de l'air projetée aura un impact certain sur les différentes variables physico-chimiques de l'eau à contrôler telles que la température de l'eau, l'oxygène dissous, les résidus métaboliques, etc. (MAPAQ, 2015). Cependant, les élevages dont la source d'eau provient de la nappe phréatique seront avantagés puisque leurs conditions d'approvisionnement seront plus stables à l'année avec de l'eau froide contrairement aux étangs dont les sources sont en surface donc plus susceptibles à la contamination et exposées aux variations de température.

Émergence d'agents pathogènes

Les principaux agents pathogènes dans le milieu de la pisciculture sont les bactéries *Aeromonas salmonicida*, responsable de la furonculose, et *Renibacterium salmoninarum*, responsable de la maladie bactérienne du rein, ainsi que le virus de la nécrose pancréatique infectieuse (MAPAQ, 2016). Cela dit, les effets des changements climatiques sur le développement de ces pathogènes sont encore méconnus. Par exemple, il est encore difficile d'identifier l'impact de la hausse de la température sur le développement des pathogènes puisque la réponse de ces derniers change d'une ferme d'aquaculture à l'autre en raison de l'influence des conditions locales, de la géographie et de la proximité d'autres fermes, ce qui rend difficile l'observation de tendances (Karvonen *et al.*, 2010). De plus, l'âge des poissons élevés peut influencer le développement de ces pathogènes en raison de l'écologie de l'agent infectieux, des pratiques d'élevage et de l'immunité développée par les poissons (Karvonen *et al.*, 2010).

5.2 ÉTAT DES CONNAISSANCES

Comme mentionné dans le chapitre 1, les principales espèces élevées en eau douce sont des salmonidés : l'omble de fontaine, la truite arc-en-ciel et l'omble chevalier.

Omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) : L'omble de fontaine, aussi appelé truite mouchetée, est l'espèce de poisson indigène la plus commune au Québec (MAPAQ, 2013). Ce salmonidé est le premier choix pour l'élevage destiné au marché de l'ensemencement (MAPAQ, 2013).

Truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) : La truite arc-en-ciel est une espèce exotique introduite pour la pêche sportive au Québec à la fin du 19^e siècle (MDDELCC, 2013b). Elle est produite principalement pour la consommation, mais aussi pour l'ensemencement de certains plans d'eau (MAPAQ, 2013). En élevage, elle possède des avantages par rapport à l'omble de fontaine, en particulier sa résistance aux maladies (MDDELCC, 2013b). De plus, pour un stade donné, elle atteint une taille plus élevée que l'omble de fontaine (MDDELCC, 2013b).

Omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) : L'élevage de l'omble chevalier, aussi appelé omble de l'Arctique, est réservé au marché de la consommation puisque cette espèce est très peu utilisée pour l'ensemencement des lacs (MAPAQ, 2013).

Il existe encore peu d'information scientifique sur les impacts des changements climatiques sur les élevages piscicoles en eau douce au Québec. Étant donné que le secteur de l'aquaculture prend de l'ampleur, autant pour l'ensemencement des lacs pour la pêche récréative que pour le marché de la consommation, cette lacune dans les connaissances devra être comblée afin de mieux planifier le développement durable de ce secteur.



» 6. PÊCHE COMMERCIALE EN EAU DOUCE

6.1 PRINCIPAUX IMPACTS

Les populations des espèces liées à la pêche commerciale en eau douce ont subi de grands changements au cours des dernières décennies en raison entre autres de la surpêche, de la pollution, de l'arrivée d'espèces exotiques envahissantes (EEE) et de la perte d'habitats. Cela dit, plusieurs études démontrent l'impact grandissant des changements climatiques sur ce type de pêche ainsi que les conséquences attendues.

Perte d'habitats liée à l'augmentation de la température

La hausse attendue de la température de l'eau, liée à l'augmentation de la température de l'air et à une baisse des niveaux d'eau pendant les périodes les plus chaudes de l'année, peut avoir des conséquences importantes sur la survie de différentes espèces d'eau douce (**encadré n°3**). Lorsque la température excède la température métabolique optimale des poissons, ceux-ci ont tendance à s'agréger à certains endroits dans un cours d'eau où la température de l'eau est plus fraîche. Ainsi, dans un contexte de changements climatiques, les habitats offrant des températures propices à la survie des poissons seront limités (e.g. Bélanger *et al.*, 2013 ; Daigle, Jeong, & Lapointe, 2015 ; Wenger *et al.*, 2011).

3. LE CAS DE LA CARPE : Lors de l'été 2001, une hausse importante de la température a provoqué la mort d'un grand nombre de carpes communes (*Cyprinus carpio carpio*) dans le fleuve Saint-Laurent. Cette espèce n'avait plus accès à des eaux assez fraîches pour sa survie et n'a pu s'adapter à ce changement. (Mingelbier *et al.*, 2001 ; Ouellet *et al.*, 2013). En effet, si une hausse de la température persiste dans le temps, elle pourrait altérer la production d'enzymes, la respiration et plusieurs fonctions métaboliques.

Modification du couvert de glace

Les changements au niveau du couvert de glace pourraient influencer les écosystèmes d'eau douce. Tout d'abord, dans un contexte de couvert réduit ou d'absence de glace, les niveaux de lumière sont plus importants et favorise le développement de plantes dont des EEE (Rahel & Olden, 2008). Cela peut aussi entraîner des conditions hypoxiques et ainsi favoriser la présence de grandes espèces piscivores nonindigènes telles que l'achigan ou encore l'expansion d'espèces invasives telles que la moule zébrée (Rahel & Olden, 2008). Des périodes d'englacement plus courtes pourraient exposer différentes espèces de poissons à une pression prolongée de leurs prédateurs terrestres, en plus des pressions anthropiques s'il advenait que les périodes de pêche récréative soient prolongées (Magnuson *et al.*, 2000). Enfin, en absence de glace, les berges sont plus vulnérables à l'érosion (e.g. Bhiry *et al.*, 2013), ce qui peut induire un stress supplémentaire sur les poissons en augmentant la turbidité de l'eau et la sédimentation au niveau des frayères côtières (Mackey, 2012).

Espèces exotiques envahissantes (EEE)

Les changements climatiques accroîtront l'impact écologique des EEE en augmentant leur compétition et leur prédation sur les espèces indigènes d'eau douce ainsi que la virulence de certaines maladies (Rahel & Olden, 2008). Dans ce contexte, d'ici 2100, il est estimé que près de 27 espèces de poissons et 83 espèces de parasites pourraient atteindre l'écosystème des Grands Lacs canadiens (Mandrak, 1989; Rahel & Olden, 2008), et provoquer de graves conséquences sur les espèces indigènes (Marcogliese, 2001), et ce, malgré le fait que le bassin versant des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent est déjà l'étendue d'eau douce la plus envahie par les EEE dans le monde (Pagnucco *et al.*, 2015; Ricciardi, 2006).

En raison de la hausse de la température de l'eau, certaines espèces invasives étendront leur territoire vers le nord à travers le Canada comme l'achigan à petite bouche (Sharma, Jackson, Minns, & Shuter, 2007) et la carpe commune (Minns & Moore, 1995; MPO, 2013b). Au Québec, les EEE, incluant le gobie à taches noires (e.g. Reyjol, Brodeur, Mailhot, Mingelbier, & Dumont, 2010), menacent déjà l'intégrité des habitats ainsi que le réseau trophique du Saint-Laurent (Mingelbier *et al.*, 2016).

En plus, les changements climatiques attendus pour les 50 prochaines années risquent d'exacerber le phénomène de l'expansion du roseau commun (*Phragmites australis*), une espèce considérée envahissante au Québec, qui pourrait former de vastes roselières, notamment dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent et en particulier sur le pourtour du lac Saint-Pierre (Tougas-Tellier, Morin, Hatin, & Lavoie, 2013). La baisse du niveau relatif de l'eau du fleuve exondera les berges, exposant des vasières propices à la germination des graines du roseau. Ainsi, des espèces telles que le grand brochet ou la perchaude, qui utilisent les berges comme frayères, seront affectées par la combinaison de ces divers facteurs (Tougas-Tellier *et al.*, 2013).

6.2 ÉTAT DES CONNAISSANCES

Comme mentionné dans la section socio-économique, les principales espèces pêchées de façon commerciale en eau douce au Québec sont les suivantes : l'anguille, l'esturgeon jaune et l'esturgeon noir, la barbotte brune et la perchaude. Cette section présente l'état des connaissances concernant les impacts des changements climatiques sur ces espèces.

Il est important de mentionner que ce type de pêche est une petite industrie au Québec et qu'il existe des mesures de gestion strictes en lien avec les espèces pêchées. Des plans de gestion pour le doré, l'esturgeon jaune et la perchaude sont en place au lac Saint-Pierre, mais également pour l'esturgeon noir et l'anguille d'Amérique (Mingelbier *et al.*, 2016). Ces espèces ont subi dans le passé l'effondrement de leurs stocks et c'est pourquoi des mesures spéciales ont été prises pour rétablir les populations (Mingelbier *et al.*, 2016). La cause de ces diminutions du nombre d'individus est surtout la surpêche, mais également la présence de barrages hydroélectriques dans leur aire de répartition, la contamination des eaux par les rejets agricoles, la bioaccumulation des polluants, les EEE, le dragage, etc. (Caron, Dumont, & Mailhot, 2007 ; COSEPAC, 2012 ; de la Chenelière, Brodeur, & Mingelbier, 2014 ; MPO, 2010, 2013a). Il va sans dire que les changements climatiques ont des conséquences qui rendent la gestion et la conservation de ces espèces encore plus difficiles, et qui pourraient potentiellement exacerber les autres pressions anthropiques.

Anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) : Cette espèce est désignée comme menacée au Canada par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) et elle est également sur la liste des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables au Québec par le MDDELCC. L'anguille d'Amérique est une espèce catadrome, qui fraie en eau salée (mer des Sargasses), mais qui vit en eau douce (COSEPAC, 2012). Cependant, une étude a démontré que l'anguille peut être catadrome facultative et modifier son cycle de vie pour alterner entre l'eau douce et marine durant son stade juvénile (Thibault, Dodson, & Caron, 2007) démontrant ainsi l'étendue de la plasticité de l'espèce (Benchetrit *et al.*, 2015). C'est entre autres pourquoi le lien entre les changements de température des eaux de surface et le recrutement de l'espèce n'a pas encore été clairement établi. Toutefois, la hausse projetée de la température de l'eau en mer pourrait limiter les nutriments disponibles, nécessaires au développement du stade larvaire (Bonhommeau *et al.*, 2008). Comme cette espèce possède une grande aire de distribution, il est difficile d'identifier et de quantifier l'impact réel des changements climatiques sur les populations. Cette espèce est cependant très mobile ce qui lui permet d'être résiliente aux modifications de son habitat (Knights, 2003). Par conséquent, elle est également exposée à plusieurs autres stress environnementaux tels que les turbines des centrales hydroélectriques (Caron *et al.*, 2007).

Esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) : L'esturgeon jaune est le plus grand poisson d'eau douce vivant au Canada (MPO, 2010). La population du fleuve Saint-Laurent a longtemps représenté la plus importante pêche commerciale d'esturgeon jaune en Amérique du Nord (Nilo, Dumont, & Fortin, 1997). Depuis 2006, cette espèce est désignée menacée par le COSEPAC et à l'étude pour être sur la liste de la Loi sur les espèces en péril (LEP) (MPO, 2010).

Les populations sont concentrées dans la rivière des Prairies et autour des îles de Boucherville, Verchères, Contrecoeur et Sorel où les bas niveaux relatifs de l'eau projetés durant la saison estivale auront un impact sur le recrutement de l'espèce (Nilo *et al.*, 1997). Les faibles débits réduiront également les possibilités et la qualité des habitats propices à la fraie (Nilo *et al.*, 1997). De plus, ils pourraient diminuer le potentiel de dispersion des larves et augmenter leurs taux de prédation par des espèces piscivores (Nilo *et al.*, 1997).

Ailleurs au Canada et aux États-Unis, plusieurs études ont rapporté des impacts de la hausse des températures sur l'habitat (e.g. Lynch *et al.*, 2016) et le développement de l'esturgeon jaune (e.g. Wang, Binkowski, & Doroshov, 1985). Toutefois, encore beaucoup reste à faire afin d'établir le lien avec les changements climatiques. Cela dit, la mise en œuvre de mesures de protection des habitats de reproduction et de gestion de l'exploitation ont permis une amélioration du statut des populations au Québec suite à trois décennies de déclin (Dumont, Mailhot, & Vachon, 2013).

Esturgeon noir (*Acipenser oxyrinchus*) : L'esturgeon noir est considéré comme menacé depuis 2011 par le COSEPAC. Contrairement à l'esturgeon jaune, cette espèce est anadrome et son aire de répartition s'étend en aval de Trois-Rivières jusque dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (MPO, 2013a).

Comme pour l'esturgeon jaune, la diminution attendue des débits estivaux du fleuve pourrait avoir un impact négatif sur le développement du stade larvaire, tout comme sur le déplacement du front salin qui limiterait l'habitat des juvéniles (MPO, 2013a). En effet, l'habitat préférentiel pour le développement des juvéniles est situé dans la zone de transition entre l'eau douce et l'eau salée, dans l'estuaire du Saint-Laurent, et cet habitat pourrait être réduit en cas de faibles débits (MPO, 2013a). L'hypoxie potentiellement plus sévère, entraînant une baisse de la biodiversité et de la production des écosystèmes dans le fleuve Saint-Laurent, pourrait provoquer des mortalités massives ou le déplacement des populations (MPO, 2013a). Toutefois, les risques à long-terme reliés aux modifications physico-chimiques de l'eau dans un contexte de changements climatiques sont encore inconnus et beaucoup de recherches restent à faire sur cette espèce puisqu'il est encore difficile de localiser les frayères ou d'estimer les populations de façon précise.

Barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*) : Peu d'information est publiée sur les impacts des changements climatiques sur cette espèce. Cependant, il est reconnu que la barbotte brune tolère des seuils de température, d'oxygène dissous, mais aussi des seuils de pollution auxquels les autres espèces de poissons ne peuvent survivre (MFFP, 2016b).

Perchaude (*Perca flavescens*) : La population de perchaude du lac Saint-Pierre a vu sa population s'effondrer dans les années 90 et c'est pourquoi un moratoire sur la pêche commerciale a été instauré. Différents facteurs sont en cause, dont la disparition des herbiers, la prolifération des cyanobactéries benthiques, la diminution de la connectivité entre le lac et la zone littorale, l'implantation d'espèces exotiques, l'arrivée de nouveaux prédateurs ainsi que les changements climatiques (de la Chenelière *et al.*, 2014). De plus, la modélisation écologique a montré qu'environ la moitié des frayères à perchaude du lac Saint-Pierre pourraient disparaître avec l'invasion progressive du roseau commun dû aux changements climatiques à l'horizon 2050 (Tougas-Tellier *et al.*, 2013). Également, les crues, en raison des changements du climat, sont plus courtes et de moindre amplitude entraînant une diminution du nombre de sites propices à la reproduction et l'alevinage (de la Chenelière *et al.*, 2014). Cela dit, les populations du Québec ne sont pas toutes exposées de la même façon à ces facteurs, les stocks de perchaude des lacs Saint-François et Saint-Louis sont abondants et soutiennent une pêche sportive durable comparativement à celles du lac Saint-Pierre et du tronçon entre le pont Laviolette et Saint-Pierre-les-Becquets (Mingelbier *et al.*, 2016).

Beaucoup reste à faire sur la détermination précise de l'impact des changements climatiques au Québec. Ailleurs au Canada, au lac Érié en Ontario, une étude a démontré que les hivers plus courts et plus chauds réduisent le taux de reproduction chez les femelles. Elles produisent alors plus tôt en saison des œufs moins gros, qui éclosent à des taux plus faibles et qui produisent des larves plus petites et plus vulnérables aux prédateurs (Farmer, Marschall, Dabrowski, & Ludsin, 2015).

» 7. PÊCHE RÉCRÉATIVE

7.1 PRINCIPAUX IMPACTS

La pêche récréative, surtout pratiquée en eau douce au Québec, sera influencée par les changements climatiques affectant principalement les lacs, les rivières et les espèces qui y vivent.

Perte d'habitat thermique

Une hausse de la température de l'eau des rivières et des lacs est projetée et la durée et la fréquence d'événements où la température est supérieure à 23 °C pourraient augmenter significativement avec les changements climatiques (Loder, Han, Galbraith, Chassé, & van der Baaren, 2013). Des températures supérieures à ce seuil peuvent être dommageables pour le saumon de l'Atlantique (**encadré n°4**).

4. LE CAS DU SAUMON DE L'ATLANTIQUE : La hausse de la température de l'eau aura un impact sur le survie du saumon de l'Atlantique puisque les eaux des rivières dans lesquelles il évolue atteignent déjà leurs limites létales (entre 24 et 28 °C) plusieurs fois durant un été (Daigle *et al.*, 2015 ; Lapointe *et al.*, 2013 ; Loder *et al.*, 2013). Cette hausse pourrait donc diminuer les habitats propices à la survie de l'espèce qui doit alors se concentrer dans des refuges thermiques, des zones où l'eau est plus fraîche que dans l'ensemble de la rivière (Lapointe *et al.*, 2013). Ces hausses de température ont d'ailleurs engendré des fermetures de la pêche au saumon sur la rivière Miramichi (e.g. 1995, 1999, 2010) ce qui a généré des conséquences socio-économiques non négligeables (Loder *et al.*, 2013). Ces impacts pourraient être particulièrement importants pour la région de la Gaspésie puisque la pêche au saumon y est pratiquée autant pour le loisir (pêche récréative) que pour la subsistance par les Premières Nations (Loder *et al.*, 2013).

Perte du couvert de glace

La glace joue un rôle important dans le brassage hivernal des eaux des lacs pour l'apport de nourriture au zooplancton, dans la stabilité de la température de la colonne d'eau et dans la protection des zones côtières contre l'érosion, la sédimentation et la turbidité de l'eau (Bartolai *et al.*, 2015 ; Bélanger *et al.*, 2013 ; Bhiry *et al.*, 2013). La diminution attendue de la durée du couvert de glace et de la saison froide désavantagera les espèces d'eau froide par rapport aux espèces capables de tolérer de grandes variations de température, limitant ainsi leur abondance et leur aire de distribution (Pörtner, 2006; Shuter, Finstad, Helland, Zweimüller, & Hölker, 2012).

Modification du régime hydrique

Les changements prévus sur le régime hydrique des rivières, par exemple des débits hivernaux moyens plus importants (Ouranos, 2015), pourraient entraîner l'érosion des berges ou même en profondeur. Du même coup, ce phénomène réduira le taux de survie des plantes et de leurs graines en les maintenant plus longtemps sous l'eau ou en les décrochant du substrat, altérant ainsi l'habitat des poissons (Boyer, Chaumont, Chartier, & Roy, 2010). Les débits moyens projetés dans les rivières du sud du Québec, plus faibles en été, au printemps et à l'automne pourraient également affecter les poissons surtout en combinaison avec l'augmentation de la température de l'eau (Ouranos, 2015).

7.2 ÉTAT DES CONNAISSANCES

Comme mentionné dans la section socio-économique, les principales espèces pêchées au Québec de façon récréative sont les suivantes : l'omble de fontaine, le doré, le brochet, la perchaude, l'achigan et le saumon de l'Atlantique. La prochaine section présente l'état des connaissances des impacts des changements climatiques sur ces espèces.

Omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*): L'omble de fontaine, aussi appelé truite mouchetée, est l'espèce la plus pêchée au Québec. Elle évolue dans les eaux fraîches, claires et bien oxygénées, donc elle est limitée par la température et l'oxygène dissous (MDDELCC, 2013). C'est le cas principalement durant la saison estivale lorsque la température de l'eau est trop élevée pour son développement (19-21 °C) et que l'oxygène dissous est plus faible en profondeur (MDDELCC, 2013). Elle est également sensible à la vitesse élevée du courant, lors des crues printanières (MDDELCC, 2013). L'omble de fontaine possède par ailleurs une grande plasticité qui semble indiquer que les populations pourraient s'acclimater aux stress thermiques liés aux changements climatiques (Stitt *et al.*, 2014). De plus, la taille des individus pourrait augmenter puisque le manque de nourriture sera moins important durant l'hiver en raison de la hausse de la température de l'eau (Bassar, Letcher, Nislow, & Whiteley, 2016). Enfin, en plus des modifications par le climat, l'habitat de l'omble de fontaine est également vulnérable aux chemins forestiers, aux coupes, aux espèces invasives (Boudreault, 2013), et cette espèce n'est pas une compétitrice efficace contre d'autres espèces ayant la même source de nourriture (**encadré n°5**) (MDDELCC, 2013). Chu *et al.* 2005 estiment, à l'aide d'un modèle climatique, une diminution de 49 % de sa distribution à travers le Canada d'ici 2050 en fonction de différentes variables climatiques telles que les degrés-jours, les précipitations annuelles, les températures annuelles et l'évaporation (**Figure 1**).

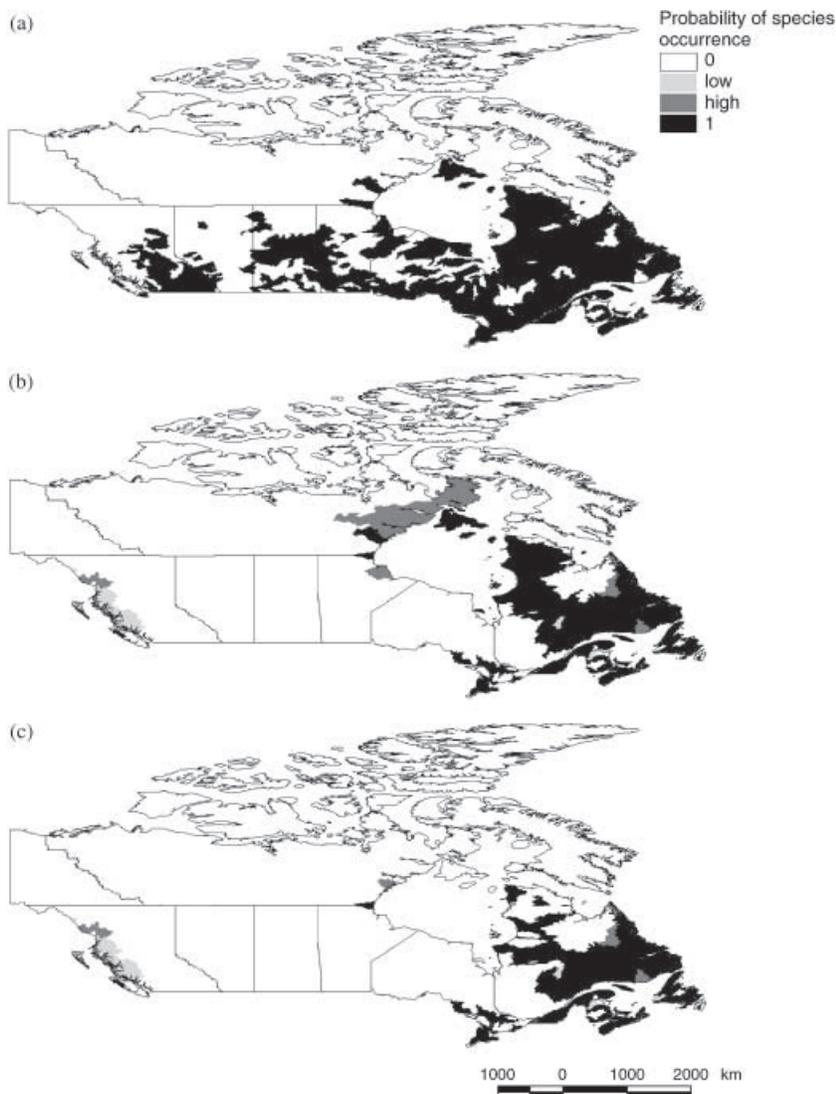


FIGURE 1 | Distribution de l'omble de fontaine *Salvelinus fontinalis* (a) Distributions courante et potentielles sous le scénario de changements climatiques GCM2 (IS92a) en 2020 (b), et 2050 (c) (projection géographique). (Chu, Mandrak, & Minns, 2005).

5. LE CAS DE LA TRUITE ARC-EN-CIEL : La truite arc-en-ciel, une espèce adaptée aux eaux chaudes, est considérée comme une espèce exotique envahissante malgré le fait qu'elle soit exploitée par l'industrie de l'aquaculture en eau douce et la pêche récréative et par le fait même qu'elle participe à la vitalité de l'industrie touristique. Cela dit, différentes études ont relevé qu'elle pourrait être en concurrence avec d'autres salmonidés, tels que le saumon de l'Atlantique et l'omble de fontaine pour les habitats et la nourriture (Thibault & Dodson, 2013).

Doré : Au Québec, il existe deux espèces de doré : le doré jaune (*Sander vitreus*) et le doré noir (*Sander canadensis*). Comme les deux espèces sont d'allure similaire, leurs statistiques de pêche sportive sont combinées. Les principaux facteurs susceptibles de réduire l'abondance du doré sont les modifications de l'habitat (altération de la turbidité, perte d'aire de fraie, coupe forestière), les changements au sein des communautés de poissons (espèces exotiques envahissantes) et la pêche sportive (Arvisais *et al.*, 2012).

Parce que ses yeux supportent mal la lumière, le doré vit dans les endroits sombres ou en profondeur des lacs et rivières et il est donc sensible à des changements de la turbidité des eaux (MPO, 2009). En Ontario, où la plus grande quantité de dorés se trouve, l'application de nouvelles réglementations visant à diminuer les rejets de phosphore, notamment d'origine agricole, a provoqué un changement significatif au niveau des communautés piscivores dans certains lacs et rivières entre 1980 et 2003 (Robillard & Fox, 2006). En effet, ceci a eu pour conséquence de diminuer la production primaire, normalement stimulée par le phosphore, ce qui a réduit la turbidité des eaux de certains lacs et rivières et du même coup le nombre d'habitats propices au doré (Robillard & Fox, 2006).

Cependant, l'influence des changements climatiques encore peu connue. Comme les dorés sont dépendant de certains seuils de température pour la fraie et la survie de leurs œufs, les changements de la température de l'eau dans le temps pourrait avoir un impact sur son rendement, mais aucune étude ne le démontre. Une étude en Ontario a démontré que la hausse observée de la température de l'eau a favorisé l'expansion d'autres espèces dans les habitats fréquentés par le doré, au détriment de ce dernier, comme les achigans à grande bouche et à petite bouche, des espèces d'eaux tempérées à chaudes (Robillard & Fox, 2006).

Le groupe brochet-perchaude-achigan :

Brochet (*Esox lucius*) : Le brochet vit en eau peu profonde, chaude et à végétation dense. Il est un bon compétiteur pour l'espace, la nourriture et les frayères (MFFP, 2016b). Cependant, dans les lacs peu profonds, les propriétés physico-chimiques de l'eau risquent de changer en raison des hausses attendues de température, ce qui pourrait aboutir à des milieux anoxiques au fond des lacs. Ceci limiterait l'habitat du brochet et engendrerait également une perte de poids (Headrick & Carline, 1993 ; Reist *et al.*, 2006 ; Schindler *et al.*, 1990). Dans un contexte de changements climatiques, les brochets seront donc réduits en nombre et en taille (Reist *et al.*, 2006). De plus, la baisse du niveau relatif de l'eau du fleuve exondera les berges, exposant des vasières propices à la germination des graines du roseau, limitant ainsi l'utilisation des berges comme frayères pour le brochet (Tougas-Tellier, Morin, Hatin, & Lavoie, 2013).

Perchaude (*Perca flavescens*) : La perchaude est principalement influencée par le régime hydrique ainsi que la température de l'eau. Les principales conséquences de ces changements ont des effets sur sa reproduction et sur sa distribution. Ces impacts sont décrits plus en détail dans la section sur la pêche commerciale en eau douce dans ce chapitre.

Achigans (à petite bouche et à grande bouche) : Ces deux espèces sont bien adaptées aux eaux moins turbides dans lesquelles elles peuvent mieux détecter et capturer leurs proies et ainsi augmenter leur succès d'alimentation par rapport à d'autres espèces comme le doré (Robillard & Fox, 2006). L'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) tolère des eaux plus chaudes et plus turbides que celui à petite bouche (MFFP, 2016a). Cela dit, la plupart des études disponibles proviennent de l'Ontario et portent sur l'impact des changements climatiques sur l'achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*). En effet, il a déjà étendu sa distribution dans les lacs de l'Ontario au rythme d'environ 13 km par décennie vers le nord au cours des trente dernières années, principalement grâce à sa grande capacité d'adaptation aux eaux chaudes (Alofs, Jackson, & Lester, 2014). Cette espèce pourrait poursuivre son expansion en Ontario d'ici 2050 comme le démontrent Chu *et al.* 2005 à l'aide d'un modèle climatique prenant en compte différentes variables telles que les degrés-jours, les précipitations annuelles, les températures annuelles et l'évaporation (**Figure 2**). L'expansion de l'achigan à petite bouche a également des conséquences sur les espèces locales puisqu'il est un prédateur de plusieurs espèces de ménéés, une source de nourriture importante pour la plupart des espèces de pêche sportive (Alofs *et al.*, 2014). De plus, l'achigan se nourrit des petits de l'omble de fontaine. Ces deux espèces sont donc en concurrence à la fois pour leur alimentation et pour leur succès reproductif (Lynch *et al.*, 2016).

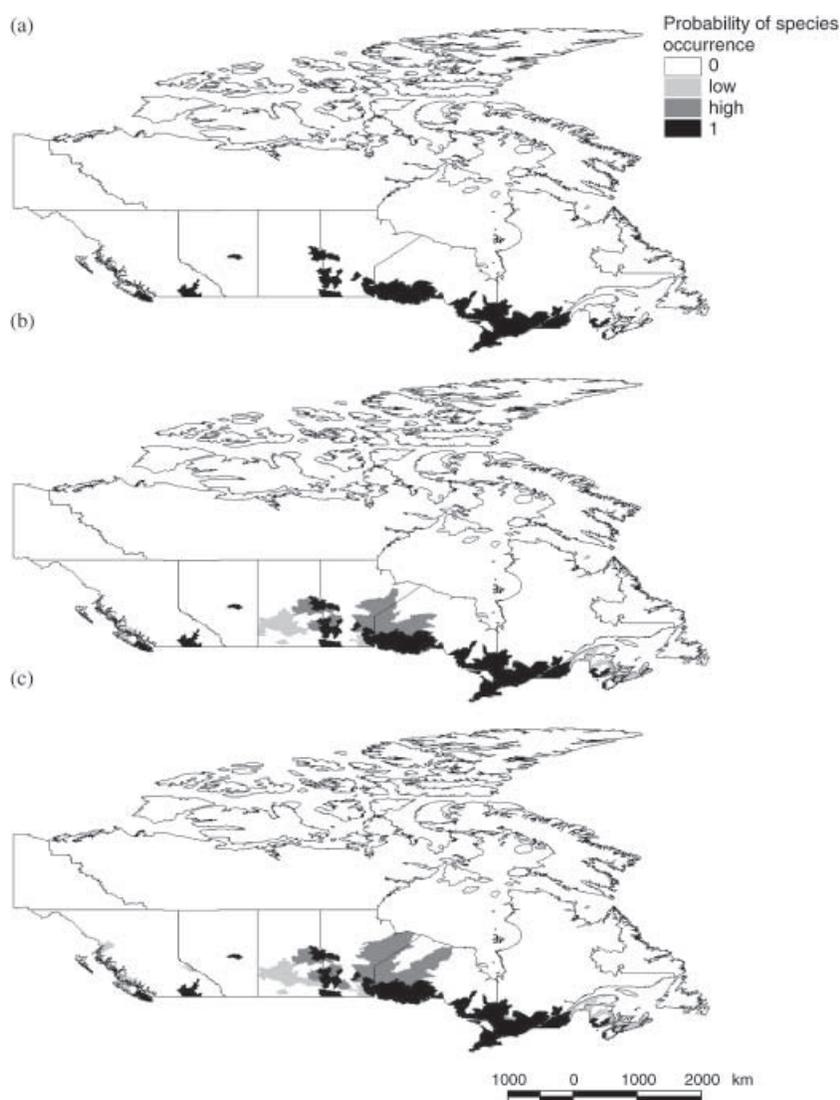


FIGURE 2 | Distribution de l'achigan à petite bouche *Micropterus dolomieu*. (a) Distributions courante et potentielles sous le scénario de changements climatiques CGCM2 (IS92a) en (b) 2020, et (c) 2050 (projection géographique). (Chu, Mandrak, & Minns, 2005).

Saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*): Le saumon de l'Atlantique est une espèce anadrome qui se reproduit en eau douce, mais qui vit une bonne partie de sa vie en eau salée, dans l'Atlantique Nord (MPO, 2015). La hausse attendue de la température de l'eau des rivières augmentera le coût métabolique des saumons juvéniles, résultant en une diminution de la quantité d'énergie disponible pour leur croissance et leur développement (Swansburg, El-Jabi, Caissie, & Chaput, 2004). De plus, dans des situations de stress thermique, les juvéniles utilisent leur énergie pour se déplacer et chercher des endroits plus frais (refuges thermiques), au détriment de leur alimentation (Daigle, Jeong, & Lapointe, 2015 ; Lapointe *et al.*, 2013 ; Swansburg *et al.*, 2004). Le régime hydrique, plus faible en été dans un contexte de changements climatiques, rendra plus difficile la migration des poissons adultes durant la saison estivale et la dispersion des juvéniles en aval de la rivière (Swansburg *et al.*, 2004). La migration débutera plus tôt au printemps en réponse au réchauffement plus rapide de l'eau et également afin d'éviter les eaux plus chaudes du printemps et de l'été (Lynch *et al.*, 2016 ; Otero *et al.*, 2014 ; Russell *et al.*, 2012). De plus, une fois en mer, les saumons seront également soumis aux impacts des changements climatiques. En milieu marin, les saumons pourraient alors être victimes d'asynchronisme trophique et donc être déphasés par rapport à la présence de nourriture, limitant ainsi leur taux de survie en mer (Friedland, Reddin, McMenemy, & Drinkwater, 2003; Russell *et al.*, 2012).



» 8. PÊCHE DE SUBSISTANCE

8.1 PRINCIPAUX IMPACTS

La pêche de subsistance, pratiquée principalement par les communautés autochtones et inuites, pourrait être vulnérable aux changements climatiques.

Modification de la distribution des espèces

Les espèces ayant une grande capacité de dispersion, et donc d'adaptation aux changements de température, pourraient rivaliser et même supplanter les espèces se dispersant moins rapidement et pour lesquelles leur milieu actuel deviendra moins propice à leur développement (Urban *et al.*, 2012). Cette situation s'applique notamment aux espèces nordiques qui sont adaptées à de très faibles écarts annuels de température et qui sont donc plus vulnérables à l'augmentation des températures (Pörtner *et al.*, 2014).

Influence sur la distribution des espèces

Dans le nord du Québec, certaines espèces de poissons pourraient être avantagées ou désavantagées par la hausse des températures de l'eau. En effet, différentes espèces indigènes du sud du Québec – comme le saumon de l'Atlantique et l'omble de fontaine ainsi que des espèces introduites comme la truite brune et la truite arc-en-ciel – pourraient augmenter leur aire de répartition vers le nord et entrer en compétition avec les espèces déjà présentes dans ces régions (Dumont *et al.*, 1988 ; Reist *et al.*, 2006). Par conséquent, on prévoit que la biodiversité locale dans les lacs nordiques augmentera en raison de l'arrivée de ces nouvelles espèces, même si certaines espèces endémiques pourraient disparaître par compétition, parasitisme ou stress thermique (Vincent *et al.*, 2011). C'est un enjeu important pour les populations nordiques puisque des espèces normalement pêchées, comme l'omble chevalier, seront réduites par l'expansion d'autres espèces de salmonidés mieux adaptés aux nouvelles conditions climatiques (Reist *et al.*, 2006). Ainsi, l'omble de fontaine prendra plus d'importance dans la pêche de subsistance dans la zone de toundra (Power, 1990; Reist *et al.*, 2006). Une espèce comme l'achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*) pourrait aussi potentiellement envahir les lacs nordiques et causer de sérieux impacts sur les espèces indigènes (Sharma *et al.*, 2007).

Influence sur l'activité métabolique

L'augmentation des températures de l'eau influence l'activité métabolique des espèces nordiques, ce qui les rend plus sensibles aussi aux maladies (Tam, Gough, & Tsuji, 2011). Ce phénomène est actuellement observé dans la baie d'Hudson où les espèces de salmonidés et de cyprinidés, habituellement consommées par les communautés autochtones de la région, ont la furunculose, une maladie bactérienne, et sont donc éliminées du régime alimentaire (Tam *et al.*, 2011).

Perte du couvert de glace

Les conséquences de la perte du couvert de glace sur la pêche de subsistance sont globalement les mêmes que celles décrites pour la pêche récréative dans la section précédente, notamment en augmentant les risques autour de la sécurité humaine.

Augmentation des événements météo-extrêmes

En plus d'avoir des conséquences sur la santé et la disponibilité de certaines espèces importantes pour la subsistance des communautés, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes, en plus des changements dans les patrons saisonniers (fonte et englacement), accroît les risques associés aux déplacements des pêcheurs autant sur la terre que sur la glace et sur l'eau (Pearce *et al.*, 2010 ; Pearce, Ford, Willox, & Smit, 2015).

8.2 ÉTAT DES CONNAISSANCES

Ombre chevalier (*Salvelinus alpinus*) : L'ombre chevalier est une espèce au cœur de l'alimentation des communautés inuits et autochtones dans le nord du Québec. Cette espèce préfère les eaux froides et sa température létale est de 22-23 °C (Elliott & Elliott, 2010). Peu d'information est disponible sur cette espèce, mais certaines études ont ciblé d'autres espèces de salmonidés. C'est le cas pour le touladi. Dans le cas où la température dépasse son seuil létal, les individus tendront à se déplacer vers des refuges thermiques (eaux plus fraîches) situés au fond des lacs ou près d'une source d'eau légèrement plus froide en rivière afin d'assurer leur survie localement et/ou temporairement (Bélanger *et al.*, 2013). Toutefois, ces habitats thermiques ont tendance à diminuer avec le réchauffement des eaux (Bélanger *et al.*, 2013). Cette étude a montré que, pour les lacs nordiques peu profonds, l'habitat thermique pourrait même complètement disparaître pendant quelques jours durant l'été (Bélanger *et al.*, 2013).

De plus, lors de la ponte, les œufs doivent être exposés à des eaux de température inférieure à 5 °C afin d'assurer un bon taux de survie puisque les œufs et les stades juvéniles (alevins) sont très sensibles aux eaux plus chaudes (Elliott & Elliott, 2010). Ainsi, cette espèce, principalement dans le nord du Québec, pourrait être grandement affectée par la hausse projetée de la température de l'eau. En effet, selon Chu *et al.* 2005, cette espèce pourrait perdre 40 % de son aire de distribution à travers le Canada d'ici 2020 et en perdre 23 % de plus d'ici 2050 (Figure 3).

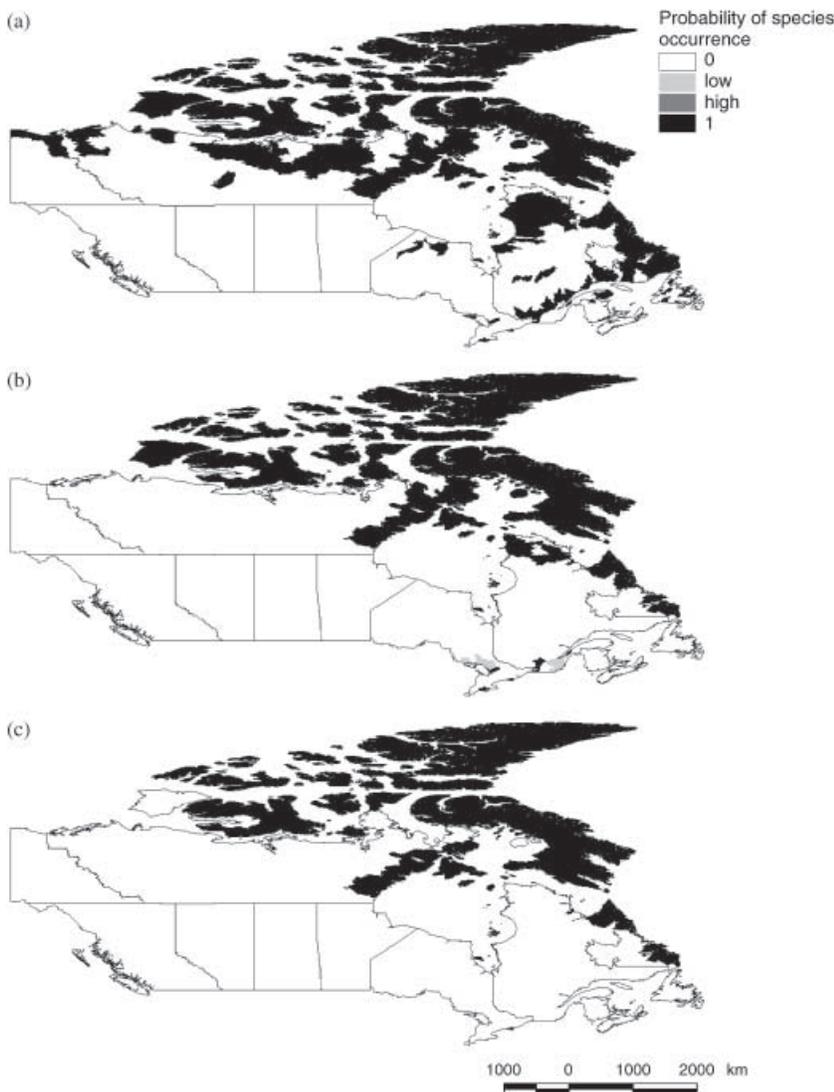


FIGURE 3 | Distribution de l'ombre de l'Arctique, *Salvelinus alpinus* (a) Distributions courante et potentielles sous le scénario de changements climatiques CGCM2 (IS92a) en (b) 2020, et (c) 2050 (projection géographique). (Chu, Mandrak, & Minns, 2005).

Saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) : Le saumon de l'Atlantique est également une espèce couramment pêchée par les Premières Nations et dont les impacts décrits à la section précédente (pêche récréative) sont également pertinents ici.

Certaines communautés pratiquent encore la pêche de subsistance à l'esturgeon jaune dans les secteurs des rapides de Lachine et du lac Saint-Pierre ; et la pêche à l'esturgeon noir dans l'estuaire du Saint-Laurent (Mingelbier *et al.*, 2016). Dans les régions de l'Abitibi-Témiscamingue, de Lanaudière, des Laurentides, de la Mauricie, de la Montérégie, du Nord-du-Québec, de l'Outaouais et du Saguenay-Lac-Saint-Jean, la pêche de subsistance au doré est également pratiquée (Arvais *et al.*, 2012). Dans la plupart des cas, l'importance des prélèvements n'est pas connue (Arvais *et al.*, 2012).



» RÉFÉRENCES

- Ait Youcef, W., Lambert, Y., & Audet, C. (2013). Spatial distribution of Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides* in relation to abundance and hypoxia in the estuary and Gulf of St. Lawrence. *Fisheries Oceanography*, 22(1), 41-60. <http://doi.org/10.1111/fog.12004>
- Alofs, K. M., Jackson, D. A., & Lester, N. P. (2014). Ontario freshwater fishes demonstrate differing range-boundary shifts in a warming climate. *Diversity and Distributions*, 20(2), 123-136. <http://doi.org/10.1111/ddi.12130>
- Arvais, M., Nadeau, D., Legault, M., Fournier, H., Bouchard, F., & Paradis, Y. (2012). Plan de gestion du doré au Québec 2011-2016. (Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats & Direction de la faune aquatique, Éd.) (ministère). Québec: Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats.
- Bartolai, A. M., He, L., Hurst, A. E., Mortsch, L., Paehlke, R., & Scavia, D. (2015). Climate change as a driver of change in the Great Lakes St. Lawrence River Basin. *Journal of Great Lakes Research*, 41(S1), 45-58. <http://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.11.012>
- Bassar, R. D., Letcher, B. H., Nislow, K. H., & Whiteley, A. R. (2016). Changes in seasonal climate outpace compensatory density-dependence in eastern brook trout. *Global Change Biology*, 22(2), 577-593. <http://doi.org/10.1111/gcb.13135>
- Bélanger, C., Huard, D., Gratton, Y., Jeong, D. I., St-Hilaire, A., Auclair, J. C., & Laurion, I. (2013). Impacts des changements climatiques sur l'habitat des salmonidés dans les lacs nordiques du Québec (Rapport scientifique final pour Ouranos). Montréal.
- Benchetrit, J., Bégue-Pon, M., Sirois, P., Castonguay, M., Fitzsimons, J., & Dodson, J. J. (2015). Using otolith microchemistry to reconstruct habitat use of American eels *Anguilla rostrata* in the St. Lawrence River-Lake Ontario system. *Ecology of Freshwater Fish*, 1-15. <http://doi.org/10.1111/eff.12246>
- Benoît, H. P., Gagné, J. A., Savenkoff, C., Ouellet, P., & Bourassa, M. (2012). Rapport sur l'état des océans pour la zone de gestion intégrée du golfe du Saint-Laurent (GIGSL) Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques , 2986. Rapport pêches et océans Canada.
- Bhiry, N., Cloutier, D., Couillard, L., Gervais, A., Lamarre, P., Normandeau, M., & Ousmane Dia, A. (2013). Évolution des hauts marais de l'estuaire d'eau douce du Saint-Laurent et stratégies de protection des espèces en situation précaire dans une perspective de changements climatiques (Rapport scientifique final pour Ouranos). Montréal, Québec.
- Bonhommeau, S., Chassot, E., Planque, B., Rivot, E., Knap, A. H., & Le Pape, O. (2008). Impact of climate on eel populations of the Northern Hemisphere. *Marine Ecology-Progress Series*, 373, 71-80. <http://doi.org/10.3354/meps07696>
- Boudreault, P.-O. (2013). L'omble de fontaine à l'ombre des forêts : aménager sans nuire. (Marie-Claude Labbé et Amélie St-Laurent Samuel, Éd.). Québec.
- Boyer, C., Chaumont, D., Chartier, I., & Roy, A. G. (2010). Impact of climate change on the hydrology of St. Lawrence tributaries. *Journal of Hydrology*, 384(1-2), 65-83. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.011>
- Brzeski, V. (2011). Comment adapter l'industrie des pêches de la région du Canada atlantique aux changements climatiques ? Ecology Action Centre.
- Caron, F., Dumont, P., & Mailhot, Y. (2007). L'anguille au Québec , une situation préoccupante, 131.
- Cheung, W. W. L., Dunne, J., Sarmiento, J. L., & Pauly, D. (2011). Integrating ecophysiology and plankton dynamics into projected maximum fisheries catch potential under climate change in the Northeast Atlantic. *ICES Journal of*

Marine Science, 68(6), 1008-1018. <http://doi.org/10.1093/icesjms/fsr012>

Cheung, W. W. L., Sarmiento, J. L., Dunne, J., Frölicher, T. L., Lam, V. W. Y., Palomares, M. L. D., ... Pauly, D. (2012). Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. *Nature Climate Change*, 2(10), 1-5. <http://doi.org/10.1038/nclimate1691>

Chu, C., Mandrak, N. E., & Minns, C. K. (2005). Potential impacts of climate change on the distributions of several common and rare freshwater fishes in Canada. *Diversity and Distributions*, 11(4), 299-310. <http://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00153.x>

COSEPAC. (2012). Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur l'anguille d'Amérique *Anguilla rostrata* au Canada.

Daigle, A., Jeong, D. II, & Lapointe, M. F. (2015). Climate change and resilience of tributary thermal refugia for salmonids in eastern Canadian rivers. *Hydrological Sciences Journal*, 60(6), 1044-1063. <http://doi.org/10.1080/02626667.2014.898121>

de la Chenelière, V., Brodeur, P., & Mingelbier, M. (2014). Restauration des habitats du lac Saint-Pierre : un prérequis au rétablissement de la perchaude. *Le Naturaliste canadien*, 138(2), 50. <http://doi.org/10.7202/1025070ar>

Drinkwater, K. (2009). Comparison of the response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the high-latitude regions of the North Atlantic during the warm periods of the 1920s–1960s and the 1990s–2000s. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(21-22), 2087-2096.

Dumont, P., Bergeron, J. F., Dulude, P., Mailhot, Y., Rouleau, A., Ouellet, G., & Lebel, J.-P. (1988). Introduced Salmonids: Where are They Going in Quebec Watersheds of the Saint-Laurent River? *Fisheries*, 13(3), 9-17. [http://doi.org/10.1577/1548-8446\(1988\)013<0009:ISWATG>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1577/1548-8446(1988)013<0009:ISWATG>2.0.CO;2)

Dumont, P., Mailhot, Y., & Vachon, N. (2013). Révision du plan de gestion de la pêche commerciale de l'esturgeon jaune dans le fleuve Saint-Laurent.

Dupont-Prinet, A., Pillet, M., Chabot, D., Hansen, T., Tremblay, R., & Audet, C. (2013). Northern shrimp (*Pandalus borealis*) oxygen consumption and metabolic enzyme activities are severely constrained by hypoxia in the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 448, 298-307. <http://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.07.019>

Dupont, S., Hall, E., Calosi, P., & Lundve, B. (2014). First Evidence of Altered Sensory Quality in a Shellfish Exposed to Decreased pH Relevant to Ocean Acidification. *Journal of Shellfish Research*, 33(3), 857-861. <http://doi.org/10.2983/035.033.0320>

Elliott, J. M., & Elliott, J. A. (2010). Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: Predicting the effects of climate change. *Journal of Fish Biology*, 77(8), 1793-1817. <http://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02762.x>

Emond, K., Sainte-Marie, B., Galbraith, P. S., & Bety, J. (2015). Top-down vs. bottom-up drivers of recruitment in a key marine invertebrate: investigating early life stages of snow crab. *ICES Journal of Marine Science*, 72(5), 1336-1348. <http://doi.org/10.1093/icesjms/fsu240>

Farmer, T. M., Marschall, E. A., Dabrowski, K., & Ludsin, S. A. (2015). Short winters threaten temperate fish populations. *Nature Communications*, 6, 7724. <http://doi.org/10.1038/ncomms8724>

Filgueira, R., Guyondet, T., Comeau, L. A., & Tremblay, R. (2016). Bivalve aquaculture–environment interactions in the context of climate change. *Global Change Biology*. <http://doi.org/10.1111/gcb.13346>

Friedland, K. D., Reddin, D. G., McMenemy, J. R., & Drinkwater, K. F. (2003). Multidecadal trends in North American Atlantic salmon (*Salmo salar*) stocks and climate trends relevant to juvenile survival. *Canadian Journal of Fisheries*

- and Aquatic Sciences, 60(5), 563-583. <http://doi.org/10.1139/f03-047>
- Frommel, A. Y., Maneja, R., Lowe, D., Malzahn, A. M., Geffen, A. J., Folkvord, A., ... Clemmesen, C. (2011). Severe tissue damage in Atlantic cod larvae under increasing ocean acidification. *Nature Climate Change*, 2(1), 42-46. <http://doi.org/10.1038/nclimate1324>
- Garrett, A., Buckley, P., Brown, S., & Townhill, B. (2015). Climate change adaptation in UK seafood: Understanding and responding to climate change in the UK wild capture seafood industry.
- Gazeau, F., Gattuso, J. P., Dawber, C., Pronker, A. E., Peene, F., Peene, J., ... Middelburg, J. J. (2010). Effect of ocean acidification on the early life stages of the blue mussel *Mytilus edulis*. *Biogeosciences*, 7(7), 2051-2060. <http://doi.org/10.5194/bg-7-2051-2010>
- Gazeau, F., Parker, L. M., Comeau, S., Gattuso, J. P., O'Connor, W. A., Martin, S., ... Ross, P. M. (2013). Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs. *Marine Biology*, 160(8), 2207-2245. <http://doi.org/10.1007/s00227-013-2219-3>
- Gräns, A., Jutfelt, F., Sandblom, E., Jönsson, E., Wiklander, K., Seth, H., ... Axelsson, M. (2014). Aerobic scope fails to explain the detrimental effects on growth resulting from warming and elevated CO₂ in Atlantic halibut. *The Journal of experimental biology*, 217(Pt 5), 711-7. <http://doi.org/10.1242/jeb.096743>
- Headrick, M. R., & Carline, R. F. (1993). Restricted Summer Habitat and Growth of Northern Pike in Two Southern Ohio Impoundments. *Transactions of the American Fisheries Society*, 122(2), 228-236. [http://doi.org/10.1577/1548-8659\(1993\)122<0228:RSHAGO>2.3.CO;2](http://doi.org/10.1577/1548-8659(1993)122<0228:RSHAGO>2.3.CO;2)
- Hebert, D. (2013). Trends of temperature, salinity and stratification in the upper ocean for different regions of the Atlantic Canadian shelf. Dans J. W. Loder, G. Han, P. S. Galbraith, J. Chassé, & A. van der Baaren (Éd.), *Aspects of climate change in the Northwest Atlantic off Canada* (p. 33-42). Dartmouth, Nova Scotia: Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.
- IUCN. (2015). Bridging the gap between ocean acidification impacts and economic valuation: Regional impacts of ocean acidification on fisheries and aquaculture. (S. Hilmi, N., Allemand, D., Kavanagh, C., Laffoley, D., Metian, M., Osborn, D., Reynaud, Éd.).
- Karvonen, A., Rintamäki, P., Jokela, J., & Valtonen, E. T. (2010). Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: Climate change increases the risk of some, but not all, diseases. *International Journal for Parasitology*, 40(13), 1483-1488. <http://doi.org/10.1016/j.ijpara.2010.04.015>
- Keppel, E. A., Scrosati, R. A., & Courtenay, S. C. (2012). Ocean acidification decreases growth and development in American lobster (*Homarus americanus*) larvae. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 44, 61-66. <http://doi.org/10.2960/J.v44.m683>
- Knights, B. (2003). A review of the possible impacts of long-term oceanic and climate changes and fishing mortality on recruitment of anguillid eels of the Northern Hemisphere. *Science of the Total Environment*, 310(1-3), 237-244. [http://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00644-7](http://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00644-7)
- Koeller, P., Fuentes-Yaco, C., Platt, T., Sathyendranath, S., Richards, a, Ouellet, P., ... Aschan, M. (2009). Basin-scale coherence in phenology of shrimps and phytoplankton in the North Atlantic Ocean. *Science (New York, N.Y.)*, 324(5928), 791-793. <http://doi.org/10.1126/science.1170987>
- Kurihara, H. (2008). Effects of CO₂-driven ocean acidification on the early developmental stages of invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 373, 275-284. <http://doi.org/10.3354/meps07802>
- Lapointe, M., Boisclair, D., Bergeron, N. E., Curry, R. A., MacQuarrie, K. K., St-Hilaire, A. A., ... Cunjak, R. R. A. (2013). Critical thermal refugia for Atlantic salmon and brook trout populations of eastern Canadian rivers (Rapport scientifique final pour Ouranos et CRSNG, extrait). Montréal.

- Lemmen, D. S., Warren, F.J., James, T. S., Mercer Clarke, C. S. L. (éditeurs), RNCAN, & Canada, R. naturelles. (2016). Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 286 pp. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Lynch, A. J., Myers, B. J. E., Chu, C., Eby, L. A., Falke, J. A., Kovach, R. P., ... Whitney, J. E. (2016). Climate Change Effects on North American Inland Fish Populations and Assemblages. *Fisheries*, 41(7), 346-361. <http://doi.org/10.1080/03632415.2016.1186016>
- Mackey, S. D. (2012). Great Lakes Nearshore and Coastal Systems. Dans J. Winkler, J. Andresen, J. Hatfield, D. Bidwell, & D. Brown (Éd.), *U.S. National Climate Assessment Midwest Technical Input Report* (p. 14).
- Macleay, M., Breeze, H., Walmsley, J., & Corkum, J. (2013). State of the Scotian Shelf Report Ecosystem. Dartmouth, Nova Scotia.
- Magnuson, J. J., Robertson, D. M., Benson, B. J., Wynne, R. H., Livingstone, D. M., Arai, T., ... Vuglinski, V. S. (2000). Historical Trends in Lake and River Ice Cover in the Northern Hemisphere. *Science*, 289, 1743-1746.
- Mandrak, N. E. (1989). Potential Invasion of the Great Lakes by Fish Species Associated with Climatic Warming. *J. Great Lakes Res.*, 15(2), 306-316.
- MAPAQ. (2004a). L'huître américaine (*Crassostrea virginica*). Consulté 1 juin 2016, à l'adresse http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Divers/huitre_americaine.pdf
- MAPAQ. (2004b). La moule bleue (*Mytilus edulis*). Consulté 1 juin 2016, à l'adresse http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Divers/moule_bleue.pdf
- MAPAQ. (2004c). Le pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*). Consulté 1 juin 2016, à l'adresse <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Divers/petoncle.pdf>
- MAPAQ. (2013). Choix de l'espèce. Consulté 6 juin 2016, à l'adresse <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Peche/aquaculture/analyseconceptionprojet/choixespece/Pages/Choixespece.aspx>
- MAPAQ. (2015). Techniques d'élevage. Consulté 6 juin 2016, à l'adresse <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Peche/aquaculture/analyseconceptionprojet/techniqueslevage/Pages/techniqueslevage.aspx>
- MAPAQ. (2016). Programme québécois d'attestation sanitaire des exploitations piscicoles productrices de salmonidés. Québec.
- Marcogliese, D. J. (2001). Implications of climate change for parasitism of animals in the aquatic environment. *Canadian Journal of Zoology*, 79(8), 1331-1352. <http://doi.org/10.1139/z01-067>
- MDDELCC. (2013a). Outil d'aide à l'ensemencement des plans d'eau - Omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*). Québec.
- MDDELCC. (2013b). Outil d'aide à l'ensemencement des plans d'eau – Truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Québec.
- Mejri, S., Tremblay, R., Lambert, Y., & Audet, C. (2012). Influence of different levels of dissolved oxygen on the success of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) egg hatching and embryonic development. *Marine Biology*, 159(8), 1693-1701. <http://doi.org/10.1007/s00227-012-1957-y>
- Melvin, G. D., Stephenson, R. L., & Power, M. J. (2009). Oscillating reproductive strategies of herring in the western Atlantic in response to changing environmental conditions. *ICES Journal of Marine Science*, 66(8), 1784-1792. <http://doi.org/10.1093/icesjms/fsp173>

- MFFP. (2016a). Achigan à grande bouche. Consulté 17 juillet 2017, à l'adresse <https://www.mffp.gouv.qc.ca/faune/peche/poissons/achigan-grande-bouche.jsp>
- MFFP. (2016b). Barbotte brune. Consulté 26 mai 2016, à l'adresse <https://www.mffp.gouv.qc.ca/faune/peche/poissons/barbotte.jsp>
- MFFP. (2016c). Grand brochet. Consulté 17 janvier 2017, à l'adresse <https://www.mffp.gouv.qc.ca/faune/peche/poissons/grand-brochet.jsp>
- Mills, K., Pershing, A., & Brown, C. (2013). Fisheries Management in a Changing Climate Lessons from the 2012 ocean Heat Wave in the Northwest Atlantic. *Oceanography*, 26(2), 191-195. <http://doi.org/10.5670/oceanog.2010.11.COPYRIGHT>
- Mingelbier, M., Paradis, Y., Brodeur, P., Chenelière, V. De, Lecomte, F., & Hatin, D. (2016). Gestion des poissons d'eau douce et migrants dans le Saint-Laurent : mandats, enjeux et perspectives. *Naturaliste canadien*, 140(2), 74-90. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1702.8720>
- Mingelbier, M., Trencia, G., Dumas, R., Dumas, B., Mailhot, Y., Bouchard, C., ... Ouellette, G. (2001). Avis scientifique concernant la mortalité massive des carpes dans le Saint-Laurent durant l'été 2001. Québec, Québec: Société de la faune et des parcs du Québec, Ministère de l'environnement, Biodôme de Montréal, Environnement Canada.
- Minns, C. K., & Moore, J. E. (1995). Factors limiting the distribution of Ontario's freshwater fishes: the role of climate and other variables, and the potential impacts of climate change. Dans R. J. Beamish (Éd.), *Climate Change and Northern Fish Populations* (Canadian s, p. 137-160). Ottawa, Canada: National Research Council of Canada.
- MPO. (2003a). Profil de l'huître américaine (*Crassostrea virginica*) Région du Golfe. Moncton, New Brunswick.
- MPO. (2003b). Profil de la moule bleue (*Mytilus edulis*) Région du Golfe. Nouveau-Brunswick.
- MPO. (2009a). Doré jaune. Consulté 23 juin 2016, à l'adresse <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Science/publications/ww-mism/articles/walleye-dorejaune-fra.html>
- MPO. (2009b). La crevette nordique. Consulté 8 juin 2016, à l'adresse <http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/publications/ww-mism/articles/northernshrimp-crevettenorique-fra.html>
- MPO. (2009c). Le flétan Atlantique. Consulté 18 mai 2016, à l'adresse <http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/publications/ww-mism/articles/atlantichalibut-fletanatlantique-fra.html>
- MPO. (2010). Esturgeon jaune (populations des Grands Lacs et du haut Saint-Laurent). Consulté 25 mai 2016, à l'adresse <http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/profiles-profil/sturgeon8-esturgeon-fra.html>
- MPO. (2011). Les envahisseurs aquatiques.
- MPO. (2012). ASSESSMENT OF THE ATLANTIC MACKEREL STOCK FOR THE NORTHWEST ATLANTIC (SUBAREAS 3 AND 4) IN 2011.
- MPO. (2013a). Évaluation du potentiel de rétablissement de la population d'esturgeon noir du Saint-Laurent. Ottawa, Canada.
- MPO. (2013b). Évaluation fondée sur les risques des impacts et des menaces que les changements climatiques présentent pour l'infrastructure et les systèmes biologiques qui relèvent du mandat de pêches et océans Canada - Grand bassin aquatique d'eau douce. Ottawa (Ontario): Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS) du MPO.

MPO. (2013c). Risk-Based Assessment of Climate Change Impacts and Risks on the Biological Systems and Infrastructure Within Fisheries and Oceans Canada'S Mandate - Atlantic Large Aquatic Basin. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Science Response 2012/044, (June 2013), 40.

MPO. (2014). Crabes des neiges et homards dans l'eau chaude!

MPO. (2015a). Évaluation de la crevette nordique (*Pandalus borealis*) dans les zones de pêche de la crevette 4 à 6 (Divisions de l'OPANO 2G-3K) et de la crevette ésope (*Pandalus montagui*) dans la zone de pêche de la crevette 4 (Division 2G de l'OPANO), 6.

MPO. (2015b). Évaluation des stocks de crabe des neiges de l'Estuaire et du nord du golfe du Saint- Laurent (Zones 13 À 17, 12A, 12B, 12C et 16A) en 2014. (Secr. can. de consult. sci. du MPO, Éd.)Avis sci 2015/033.

MPO. (2015c). Évaluation du crabe des neiges du sud du golfe du Saint-Laurent (zones 12, 19, 12E et 12F) et avis pour la pêche de 2015. Secr. can. de consult. sci. du MPO.

MPO. (2015d). Évaluation du flétan du Groenland du Golfe du Saint-Laurent (4RST) en 2014.

MPO. (2015e). Évaluation du stock de Morue du nord du golfe Saint-Laurent (3Pn, 4RS) en 2014.

MPO. (2015f). Saumon atlantique. Consulté 23 juin 2016, à l'adresse <http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/profiles-profils/salmon-saumon-DU08-fra.html>

Nilo, P., Dumont, P., & Fortin, R. (1997). Climatic and hydrological determinants of year-class strength of St . Lawrence River lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54, 774-780.

Nye, J. A., Link, J. S., Hare, J. A., & Overholtz, W. J. (2009). Changing spatial distribution of fish stocks in relation to climate and population size on the Northeast United States continental shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 393, 111-129. <http://doi.org/10.3354/meps08220>

Otero, J., L'Abée-Lund, J. H., Castro-Santos, T., Leonardsson, K., Storvik, G. O., Jonsson, B., ... Vollestad, L. A. (2014). Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Global Change Biology*, 20(1), 61-75. <http://doi.org/10.1111/gcb.12363>

Ouellet, V., Pierron, F., Mingelbier, M., Fournier, M., Fournier, M., & Couture, P. (2013). Thermal Stress Effects on Gene Expression and Phagocytosis in the Common Carp (*Cyprinus Carpio*): a Better Understanding of the Summer 2001 St . Lawrence River Fish Kill. *The Open Fish Science Journal*, 6, 99-106.

Ouranos. (2015). VERS L'ADAPTATION Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec - Édition 2015.

Pagnucco, K. S., Maynard, G. A., Fera, S. A., Yan, N. D., Nalepa, T. F., & Ricciardi, A. (2015). The future of species invasions in the Great Lakes-St. Lawrence River basin. *Journal of Great Lakes Research*, 41(S1), 96-107. <http://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.11.004>

Pearce, T., Ford, J., Willox, A. C., & Smit, B. (2015). Inuit traditional ecological knowledge (TEK), subsistence hunting and adaptation to climate change in the Canadian arctic. *Arctic*, 68(2), 233-245. <http://doi.org/10.14430/arctic4475>

Pearce, T., Smit, B., Duerden, F., Ford, J. D., Goose, A., & Kataoyak, F. (2010). Inuit vulnerability and adaptive capacity to climate change in Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada. *Polar Record*, 46(2), 157. <http://doi.org/10.1017/S0032247409008602>

- Pillet, M., Dupont-Prinet, A., Chabot, D., Tremblay, R., & Audet, C. (2016). Effects of exposure to hypoxia on metabolic pathways in northern shrimp (*Pandalus borealis*) and Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 483, 88-96. <http://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.07.002>
- Pörtner, H. O. (2006). Climate-dependent evolution of Antarctic ectotherms: An integrative analysis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 53(8-10), 1071-1104. <http://doi.org/10.1016/j.dsr2.2006.02.015>
- Pörtner, H. O., Schmidt, D. N., Roberts, J. M., & Rost, B. (2014). Ocean Systems. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 411-484.
- Power, G. (1990). Warming rivers (or a changing climate for Atlantic salmon). *Atlantic Salmon Journal*, 39, 40-42.
- Rahel, F. J., & Olden, J. D. (2008). Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology*, 22(3), 521-533. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x>
- Reid, G., & Gurney-Smith, H. (2016). Bulletin of the Aquaculture Association of Canada 2015-2. Dans *Proceedings of the Atlantic and Pacific Climate Change and Aquaculture Workshops* (p. 95).
- Reist, J. D., Wrona, F. J., Prowse, T. D., Power, M., Dempson, J. B., King, J. R., & Beamish, R. J. (2006). An overview of effects of climate change on selected arctic freshwater and anadromous fishes. *Ambio*, 35(7), 381-7. [http://doi.org/10.1579/0044-7447\(2006\)35](http://doi.org/10.1579/0044-7447(2006)35)
- Reyjol, Y., Brodeur, P., Mailhot, Y., Mingelbier, M., & Dumont, P. (2010). Do native predators feed on non-native prey? The case of round goby in a fluvial piscivorous fish assemblage. *Journal of Great Lakes Research*, 36(4), 618-624. <http://doi.org/10.1016/j.jglr.2010.09.006>
- Ricciardi, A. (2006). Patterns of invasion in the Laurentian Great Lakes in relation to changes in vector activity. *Diversity and Distributions*, 12(4), 425-433. <http://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00262.x>
- Robillard, M. M., & Fox, M. G. (2006). Historical changes in abundance and community structure of warmwater piscivore communities associated with changes in water clarity, nutrients, and temperature. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(4), 798-809. <http://doi.org/10.1139/f05-259>
- Russell, I. C., Aprahamian, M. W., Barry, J., Davidson, I. C., Fiske, P., Ibbotson, A. T., ... Todd, C. D. (2012). Marine Survival. *ICES Journal of Marine Science*, 69, 1563-1573.
- Savard, J. P., van Proosdij, D., & O'Carroll, S. (2016). Perspectives on Canada's East Coast region; in *Canada's Marine Coasts in a Changing Climate*. (D. S. Lemmen, F. J. Warren, T. S. James, & C. S. L. Mercer Clarke, Éd.). Ottawa (Ontario): Gouvernement du Canada.
- Schalkhauser, B., Bock, C., Stemmer, K., Brey, T., Pörtner, H. O., & Lannig, G. (2013). Impact of ocean acidification on escape performance of the king scallop, *Pecten maximus*, from Norway. *Marine Biology*, 160(8), 1995-2006. <http://doi.org/10.1007/s00227-012-2057-8>
- Schindler, D. W., Beaty, K. G., Fee, E. J., Cruikshank, D. R., DeBruyn, E. R., Findlay, D. L., ... Turner, M. A. (1990). Effects of Climatic Warming on Lakes of the Central Boreal Forest. *Science*, 250(4983), 967-970. <http://doi.org/10.1126/science.250.4983.967>
- Shackell, N. L., Greenan, B. J. W., Pepin, P., Chabot, D., & Warburton, A. (2013). *Climate Change Impacts , Vulnerabilities and Opportunities Analysis of the Marine Atlantic Basin*. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 3012, xvi + 366 p.
- 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.

<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0090662>

Sharma, S., Jackson, D. A., Minns, C. K., & Shuter, B. J. (2007). Will northern fish populations be in hot water because of climate change? *Global Change Biology*, 13(10), 2052-2064. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01426.x>

Shuter, B. J., Finstad, A. G., Helland, I. P., Zweimüller, I., & Hölker, F. (2012). The role of winter phenology in shaping the ecology of freshwater fish and their sensitivities to climate change. *Aquatic Sciences*, 74(4), 637-657. <http://doi.org/10.1007/s00027-012-0274-3>

Stitt, B. C., Burness, G., Burgomaster, K. a, Currie, S., McDermid, J. L., & Wilson, C. C. (2014). Intraspecific variation in thermal tolerance and acclimation capacity in brook trout (*Salvelinus fontinalis*): physiological implications for climate change. *Physiological and biochemical zoology : PBZ*, 87(1), 15-29. <http://doi.org/10.1086/675259>

Swansburg, E., El-Jabi, N., Caissie, D., & Chaput, G. (2004). Hydrometeorological trends in the Miramichi river, Canada: Implications for Atlantic salmon growth. *North American Journal of Fisheries Management*, 24(2), 561-576. <http://doi.org/10.1577/M02-181.1>

Tam, B., Gough, W. a., & Tsuji, L. (2011). The Impact of Warming on The Appearance of Furunculosis in Fish of The James Bay Region, Quebec, Canada. *Regional Environmental Change*, 11(1), 123-132. <http://doi.org/10.1007/s10113-010-0122-8>

Thibault, I., & Dodson, J. (2013). Impacts of Exotic Rainbow Trout on Habitat Use by Native Juvenile Salmonid Species at an Early Invasive Stage. *Transactions of the American Fisheries Society*, 142(4), 1141-1150. <http://doi.org/10.1080/00028487.2013.799516>

Thibault, I., Dodson, J. J., & Caron, F. (2007). Yellow-stage American eel movements determined by microtagging and acoustic telemetry in the St Jean River watershed, Gaspé, Quebec, Canada. *Journal of Fish Biology*, 71(4), 1095-1112. <http://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01584.x>

Tougas-Tellier, M.-A., Morin, J., Hatin, D., & Lavoie, C. (2013). Impacts des changements climatiques sur l'expansion du roseau envahisseur dans les frayères du fleuve Saint-Laurent (Rapport scientifique final pour Ouranos). Montréal, Québec.

Urban, M. C., Tewksbury, J. J., & Sheldon, K. S. (2012). On a collision course: competition and dispersal differences create no-analogue communities and cause extinctions during climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1735), 2072-2080. <http://doi.org/10.1098/rspb.2011.2367>

Vincent, W. F., Callaghan, T. V., Dahl-Jensen, D., Johansson, M., Kovacs, K. M., Michel, C., ... Sharp, M. (2011). Ecological Implications of Changes in the Arctic Cryosphere. *AMBIO*, 40(S1), 87-99. <http://doi.org/10.1007/s13280-011-0218-5>

Wang, Y. L., Binkowski, F. P., & Doroshov, S. I. (1985). Effect of temperature on early development of white and lake sturgeon, *Acipenser transmontanus* and *A. fulvescens*. *Environmental Biology of Fishes*, 14(1), 43-50. <http://doi.org/10.1007/BF00001575>

Warren, F. J., & Lemmen, D. S. (2014). Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation. Ottawa (Ontario).

Wenger, S. J., Isaak, D. J., Luce, C. H., Neville, H. M., Fausch, K. D., Dunham, J. B., ... Williams, J. E. (2011). Flow regime, temperature, and biotic interactions drive differential declines of trout species under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(34), 14175-80. <http://doi.org/10.1073/pnas.1103097108>

Worm, B., & Myers, R. A. (2003). Meta-Analysis of Cod – Shrimp Interactions Reveals Top-Down Control in Oceanic Food Webs, 84(1), 162-173.

The background of the page is a close-up photograph of fishing equipment. In the foreground, there is a blue mesh net with a fine, regular pattern. Behind it, a thick, dark green rope is visible, and further back, a larger, brownish mesh net is draped. The lighting is soft, creating a textured and layered appearance.

» CHAPITRE 4

ADAPTATION DES PÊCHES ET DE L'AQUACULTURE

» 1. INTRODUCTION

Le Canada possède une capacité adaptative importante aux conditions climatiques changeantes puisque son économie est variée et puisqu'il n'est pas complètement dépendant du secteur des pêches (Allison *et al.*, 2009). C'est également le cas du Québec, même si certaines régions, comme celles de l'Est-du-Québec, sont plus à risques puisque leur économie repose en grande partie sur le secteur des pêches et de l'aquaculture (Chapitre 1). C'est pourquoi il est important de mettre des mesures d'adaptation en place afin d'assurer la pérennité de l'industrie des pêches et de l'aquaculture dans ces régions.

En plus d'améliorer les connaissances sur les changements climatiques (Chapitre 2) et de leurs impacts sur les écosystèmes aquatiques et les espèces qui y vivent (Chapitre 3), il est primordial d'être proactif pour identifier des mesures de gestion et d'adaptation aux futures conditions climatiques et de s'assurer que les politiques de gestion prennent en compte ces mesures afin de maintenir une productivité durable des ressources naturelles pêchées et élevées (Mills, Pershing, & Brown, 2013). Ces mesures doivent être établies en fonction d'un cadre d'adaptation qui permet de les faire évoluer dans le temps de manière progressive et itérative (**Figure 1**). Ce processus en 6 étapes montre comment des actions concrètes peuvent servir à atténuer les impacts des changements climatiques et il peut s'appliquer au secteur des pêches et de l'aquaculture comme à tout autre secteur d'activité.

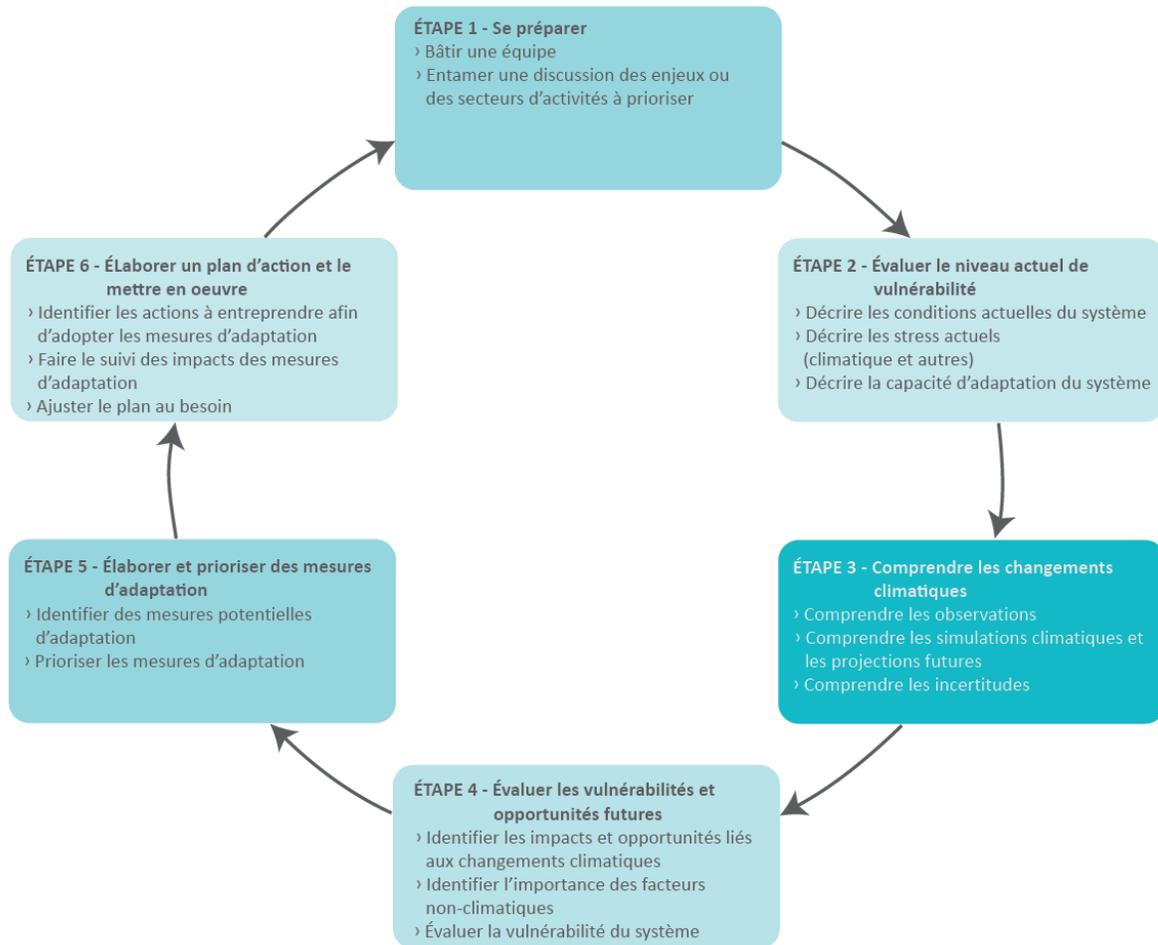


FIGURE 1 | Étapes d'un cadre d'adaptation aux changements climatiques (Charron, 2014). Adapté de (Eyzaguirre & Warren, 2014).

Afin de respecter ce cadre itératif, il faut tenir compte de différents facteurs pour bien choisir les mesures d'adaptation à appliquer.

Tout d'abord, **les mesures doivent être évolutives**, c'est-à-dire que si elles sont mises en place maintenant elles devront être régulièrement évaluées, et au besoin ajustées dans le temps en fonction des impacts des changements climatiques et aussi en fonction des nouvelles connaissances acquises (Ouranos, 2015).

Par exemple, si le crabe des neiges atteint d'ici 2050 sa maturité plus rapidement suite à la hausse de la température de l'eau, à l'horizon 2060-2070, selon les projections actuellement disponibles, il atteindra sa capacité de tolérance à cette hausse de température et sera dorénavant limité dans son développement (Shackell *et al.*, 2013). De ce fait, les mesures prises maintenant et les plans de pêche actuels devront évoluer dans le temps et être réajustés au besoin.

Ensuite, les **mesures doivent être écosystémiques**, c'est-à-dire qu'elles doivent inclure tous les éléments de l'écosystème et leurs interactions ainsi que les autres facteurs de stress affectant l'espèce à l'étude ou son habitat, comme la surpêche, la dégradation de l'habitat, les déversements de polluants, l'utilisation du territoire et les autres utilisations des ressources aquatiques (Ouranos, 2015 ; Sumaila, Cheung, Lam, Pauly, & Herrick, 2011). Ces facteurs supplémentaires devront être atténués parallèlement afin de limiter les impacts des changements climatiques à l'échelle écosystémique (Sumaila *et al.*, 2011).

Par exemple, afin de faciliter le rétablissement d'espèces déjà soumises à un stress anthropique comme la morue, des stratégies augmentant la résilience aux changements climatiques de l'espèce devront être mises de l'avant en favorisant une structure d'âge diversifiée des individus (Benoît *et al.*, 2012). De plus, le fait de protéger les individus matures par des interdictions de pêche pourrait également être efficace (Shackell *et al.*, 2013). Enfin, il faudrait considérer les effets des changements climatiques sur les prédateurs et adapter les plans de pêche en fonction de toutes les menaces potentielles (Benoît *et al.*, 2012).

Enfin, **les mesures doivent être adaptées à tous les stades du cycle de vie**, c'est-à-dire qu'elles doivent intégrer tous les stades évolutifs d'une même espèce et leur habitat, puisque les impacts des changements climatiques seront différents selon les stades de développement considérés, et selon les habitats fréquentés comme plusieurs études l'ont démontré (Chapitre 3).

Par exemple, pour les espèces anadromes et catadromes, comme le saumon de l'Atlantique ou l'anguille d'Amérique, les mesures d'adaptation doivent tenir compte du cycle de vie des stades larvaires, des alevins, des juvéniles et des adultes, et ce tout au long de leur migration aussi bien en eau douce qu'en milieu marin (Shackell *et al.*, 2013).

Différentes mesures et stratégies sont déjà appliquées au Canada et ailleurs dans le monde. Les sections suivantes présentent un tour d'horizon des mesures d'adaptation potentielles pour les secteurs de la pêche et de l'aquaculture au Québec. Certaines mesures s'appliquent autant en eau douce qu'en milieu marin d'autres sont spécifiques à un milieu donné.

» 2. MESURES D'ADAPTATION GÉNÉRALE

- **Élever de nouvelles espèces** adaptées aux nouvelles conditions climatiques ambiantes (Brzeski, 2011).
- **Diversifier les systèmes d'élevage** et les rendre plus efficaces à tous les stades de production; p.ex. implanter des systèmes de recirculation de l'eau (Diana *et al.*, 2013).
- **Améliorer les politiques et la gestion des pêches**, incluant les systèmes de surveillance et de suivis périodiques, les quotas, les moratoires, le rachat de permis et l'état des stocks en fonction des conditions climatiques changeantes particulièrement pour le nord du Québec (Bélanger *et al.*, 2013; Genivar, 2013; Groupe de travail Suivi de l'état du Saint-Laurent, 2014; Holmyard, 2014; Mailhot, Dumont, & Vachon, 2011; Nilo, Dumont, & Fortin, 1997).
- **Diversifier ou changer les espèces pêchées**, aussi bien pour les pêches commerciales que de subsistance (Brzeski, 2011; Mills *et al.*, 2013) et possiblement changer l'équipement de pêche afin de s'adapter aux nouvelles espèces présentes sur le territoire (Sumaila *et al.*, 2011).
- **Adapter les habitudes de consommation des gens** à de nouvelles espèces pour se préparer aux changements dans les espèces d'importance économique (Collie, Wood, & Jeffries, 2008; Payne, 2013).
- **Modéliser l'habitat** pour diverses conditions climatiques afin d'anticiper les impacts et de recommander des mesures pour atténuer ces impacts; p. ex. Bélanger *et al.*, 2013; Lapointe *et al.*, 2013 pour l'habitat thermique des salmonidés.
- **Utiliser des modèles couplés** qui prennent en compte les changements physiques, les impacts biologiques et les conséquences économiques à différentes échelles spatiales et temporelles pour aider les pêcheurs à identifier et évaluer les meilleures stratégies d'adaptation (Mills *et al.*, 2013).
- **Développer des outils d'aide à la décision** en maintenant et en améliorant les programmes d'observations et de suivis des conditions physiques, des caractéristiques biologiques et des activités de pêches et les intégrer dans des modèles opérationnels afin d'évaluer les réactions aux changements physiques (Mills *et al.*, 2013).
- **Réduire les sources de stress** non liées aux changements climatiques pour atténuer les impacts cumulatifs par un système de gestion des risques permettant de limiter les intrusions de maladies et d'espèces exotiques envahissantes (EEE) ainsi que les déversements toxiques dans les écosystèmes naturels (Holmyard, 2014).

» 3. MESURES D'ADAPTATION EN MILIEU MARIN

- **Déplacer les industries de transformation et les ports de pêche** vers des eaux plus froides afin de maintenir les rendements; cela veut aussi dire s'exposer au fait que les espèces initialement pêchées ne seront peut-être pas suffisamment adaptées pour déplacer complètement leur aire de distribution vers ces eaux (Savard, Van Proosdij, & O'Carroll, 2016; Sumaila *et al.*, 2011).
- **Ajuster la saison de pêche**; p. ex. : devancement du début de la saison en fonction de la température, du déphasage avec les blooms de phytoplancton, ou de l'abondance et de la répartition des espèces-fourrages (Brzeski, 2011).
- **Déplacer les installations aquacoles** lorsque cela est possible; p. ex. des lagunes vers la mer aux Îles-de-la-Madeleine ou encore mettre sur pied des écloséries en milieu contrôlé.
- **Établir des méthodes ciblées d'interventions** en complément d'une planification adaptée de l'occupation du territoire ainsi que du renforcement d'infrastructure jusqu'à la réévaluation d'emplacement de certaines infrastructures (Gouvernement du Québec, 2012).
- **Suivi des espèces exploitées et commerciales** afin d'assurer leur conservation (MPO, 2014).



» 4. MESURES D'ADAPTATION EN EAU DOUCE

- **Aménager des frayères et installer des passes migratoires** (Groupe de travail Suivi de l'état du Saint-Laurent, 2014 ; Tougas-Tellier, Morin, Hatin, & Lavoie, 2013).
- **Développer un programme d'élevage sélectif** et l'utilisation de la génomique comme solution afin de contrer les faiblesses d'une espèce face aux changements climatiques (Somero, 2010 ; Zhang & Gui, 2012).
- **Préserver l'environnement naturel** des rivières et des bandes riveraines pour favoriser les poches d'eau plus fraîche servant de refuges thermiques à certains poissons comme les salmonidés (Lapointe *et al.*, 2013).
- **Protéger et rétablir la connectivité des habitats aquatiques** (Foubert, Mingelbier, Lecomte, & Cusson, 2014 ; Roy, Roy, Grant, & Bergeron, 2013).
- **Revoir le plan de régularisation du système Grands Lacs/Saint-Laurent** pour permettre des variations plus naturelles des niveaux d'eau et des débits et atténuer les niveaux extrêmes, ce qui offrirait des conditions plus favorables, car plus proches des conditions naturelles, aux écosystèmes riverains et aux milieux humides et par conséquent faciliterait l'adaptation de la faune aquatique qui les fréquente (CMI, 2014).
- **Suivi des espèces exploitées et commerciales** afin d'assurer leur conservation (Gouvernement du Québec, 2012).

Certaines solutions sont déjà en place, comme le protocole d'évaluation des risques pour les espèces aquatiques marines non indigènes qui prévient l'infestation à grande échelle d'espèces exotiques envahissantes (MPO, 2015b). Un autre exemple qui provient de la Colombie-Britannique est l'initiative stratégique visant la santé du saumon (ISSS), qui sert à recenser les microbes et les maladies potentielles qui pourraient nuire à la productivité et au rendement du saumon sauvage de la province et déterminer quels échanges peuvent s'effectuer entre le saumon sauvage et celui d'élevage suite à l'ensemencement (MPO, 2015a).

Cette industrie prendra de l'expansion d'ici 2050 principalement pour la production de crustacés, de mollusques et d'algues. Il est donc important dès maintenant d'adapter l'industrie aux impacts des changements climatiques projetés (Diana *et al.*, 2013).

» RÉFÉRENCES

- Allison, E. H., Perry, A. L., Badjeck, M. C., Neil Adger, W., Brown, K., Conway, D., ... Dulvy, N. K. (2009). Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and Fisheries*, 10(2), 173-196. <http://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00310.x>
- Bélangier, C., Huard, D., Gratton, Y., Jeong, D. I., St-Hilaire, A., Auclair, J. C., & Laurion, I. (2013). Impacts des changements climatiques sur l'habitat des salmonidés dans les lacs nordiques du Québec (Rapport scientifique final pour Ouranos). Montréal.
- Benoît, H. P., Gagné, J. A., Savenkoff, C., Ouellet, P., & Bourassa, M. (2012). Rapport sur l'état des océans pour la zone de gestion intégrée du golfe du Saint-Laurent (GIGSL) Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques , 2986. Rapport pêches et océans Canada.
- Brzeski, V. (2011). Comment adapter l'industrie des pêches de la région du Canada atlantique aux changements climatiques ? Ecology Action Centre.
- Charron, I. (2014). A guidebook on climate scenarios: using climate information to guide adaptation research and decisions.
- Collie, J. S., Wood, A. D., & Jeffries, H. P. (2008). Long-term shifts in the species composition of a coastal fish community. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(7), 1352-1365. <http://doi.org/10.1139/F08-048>
- Commission mixte internationale (CMI). (2014). Plan 2014 : Régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent. Protection contre les niveaux extrêmes, restauration des milieux humides et préparation aux changements climatiques. Commission mixte internationale (CMI).
- Diana, J. S., Egna, H. S., Chopin, T., Peterson, M. S., Cao, L., & Pomeroy, R. (2013). Responsible Aquaculture in 2050: Valuing Local Conditions and Human Innovations Will Be Key to Success. @BULLET BioScience BioScience, 63(63), 255-262. <http://doi.org/10.1525/bio.2013.63.4.5>
- Eyzaguirre, J., & Warren, F. (2014). Adaptation : Établir un lien entre la recherche et la pratique. Dans F. J. Warren & D. S. Lemmen (Éd.), *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatifs aux impacts et à l'adaptation* (p. 253-286). Ottawa, Ontario.
- Foubert, A., Mingelbier, M., Lecomte, F., & Cusson, M. (2014). Spatial Organization of Fish Communities Along a Large River Systems: The St. Lawrence River (Canada). Dans 144th Annual Meeting of the American Fisheries Society. Québec City, Canada.
- Genivar. (2013). *Projet Dumont-Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Réponses aux questions et commentaires du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec* recus le 11 mars 2013. Volumen 1 (Vol. 1). Rapport de GENIVAR inc. à Royal Nickel Corporation.
- Gouvernement du Québec. (2012). *Le Québec en Action Vert 2020 : Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques*. Québec.
- Groupe de travail Suivi de l'état du Saint-Laurent. (2014). *Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2014*. Plan Saint-Laurent. Environnement Canada.
- Holmyard, N. (2014). *Climate change: implications for fisheries & aquaculture – Key findings from the IPCC Fifth Assessment Report*. European Climate Foundation (ECF), the Sustainable Fisheries Partnership (SFP), the University of Cambridge's Judge Business School (CJBS) and the Institute for Sustainability Leadership (CISL).

Lapointe, M., Boisclair, D., Bergeron, N. E., Curry, R. A., MacQuarrie, K. K., St-Hilaire, A. A., ... Cunjak, R. R. A. (2013). Critical thermal refugia for Atlantic salmon and brook trout populations of eastern Canadian rivers (Rapport scientifique final pour Ouranos et CRSNG, extrait). Montréal.

Mailhot, Y., Dumont, P., & Vachon, N. (2011). Management of the Lake Sturgeon *Acipenser fulvescens* population in the lower St Lawrence River (Québec, Canada) from the 1910s to the present. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(2), 405-410. <http://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01727.x>

Mills, K., Pershing, A., & Brown, C. (2013). Fisheries Management in a Changing Climate Lessons from the 2012 ocean Heat Wave in the Northwest Atlantic. *Oceanography*, 26(2), 191-195. <http://doi.org/10.5670/oceanog.2010.11.COPYRIGHT>

MPO. (2014). Pêche commerciale - Statistiques. Consulté à l'adresse <http://www.dfo-mpo.gc.ca/stats/commercial-fra.htm>

MPO. (2015a). Avis scientifique visant à orienter la recherche au moyen de la plateforme Biomark de Fluidigm® pour détecter les microbes chez les saumons d'élevage. Région de la capitale nationale.

MPO. (2015b). Protocole d'évaluation préalable des risques pour les espèces quatiques marines non indigènes. Région de la capitale nationale.

Nilo, P., Dumont, P., & Fortin, R. (1997). Climatic and hydrological determinants of year-class strength of St. Lawrence River lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54, 774-780.

Ouranos. (2015). VERS L'ADAPTATION Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec - Édition 2015.

Payne, M. R. (2013). Climate change at the dinner table. *Nature*, 497, 320-321.

Roy, M. L., Roy, A. G., Grant, J. W. A., & Bergeron, N. E. (2013). Individual variability of wild juvenile Atlantic salmon activity patterns: effect of flow stage, temperature, and habitat use. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(7), 1082-1091. <http://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0274>

Savard, J., Van Proosdij, D., & O'Carroll, S. (2016). Chapter 4 : Perspectives on Canada's East Coast Region. (D. S. Lemmen, F. J. Warren, T. S. James, & C. S. L. Mercer Clarke, Éd.) *Canada's Marine Coasts in a Changing Climate*. Ottawa, ON: Government of Canada.

Shackell, N. L., Greenan, B. J. W., Pepin, P., Chabot, D., & Warburton, A. (2013). Climate Change Impacts , Vulnerabilities and Opportunities Analysis of the Marine Atlantic Basin. *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 3012, xvi + 366 p.

Somero, G. N. (2010). The physiology of climate change: how potentials for acclimatization and genetic adaptation will determine « winners » and « losers ». *Journal of Experimental Biology*, 213(6), 912-920. <http://doi.org/10.1242/jeb.037473>

Sumaila, U. R., Cheung, W. W. L., Lam, V. W. Y., Pauly, D., & Herrick, S. (2011). Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. *Nature Climate Change*, 1(9), 449-456. <http://doi.org/10.1038/nclimate1301>

Tougas-Tellier, M.-A., Morin, J., Hatin, D., & Lavoie, C. (2013). Impacts des changements climatiques sur l'expansion du roseau envahisseur dans les frayères du fleuve Saint-Laurent (Rapport scientifique final pour Ouranos). Montréal, Québec.

Zhang, Y.-B., & Gui, J.-F. (2012). Molecular regulation of interferon antiviral response in fish. *Developmental & Comparative Immunology*, 38(2), 193-202. <http://doi.org/10.1016/j.dci.2012.06.003>

A person is silhouetted against a sunset sky, sitting on a boat and fishing on a large body of water. The background features rolling mountains under a sky filled with soft, golden clouds. The scene is framed by a thin orange border.

» CHAPITRE 5

LACUNES EN RECHERCHE

Différents facteurs, tels que les caractéristiques du milieu, les espèces et les variables physico-chimiques de l'eau, peuvent être influencés par les changements climatiques. Cependant, certains impacts restent à être évalués ou sont encore mal connus. À partir d'une revue de la littérature, cette section relève les caractéristiques recommandées afin de développer une étude complète sur les impacts des changements climatiques ainsi que les lacunes en recherche. Ces résultats orienteront la programmation scientifique d'Ouranos dans ce domaine.

» 1. CARACTÉRISTIQUES RECOMMANDÉES POUR UNE ÉTUDE SUR LES PÊCHES OU L'AQUACULTURE EN LIEN AVEC LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Tout d'abord, il est primordial de faire la **différence entre les impacts reliés aux conditions climatiques changeantes et ceux issus de la surpêche ou d'autres facteurs anthropiques** afin de quantifier les conséquences des changements climatiques (Wernberg, Smale, & Thomsen, 2012). Il est important que **les experts des sciences naturelles, sociales et économiques et les gestionnaires des ministères travaillent ensemble** sur les recherches concernant les interactions entre les niveaux trophiques et les changements climatiques afin d'adapter la gestion des pêches aux changements climatiques (Benoît, Gagné, Savenkoff, Ouellet, & Bourassa, 2012). Il est cependant nécessaire de récolter **suffisamment de données** afin de quantifier l'effet des interventions humaines et la variabilité naturelle pour mettre en place des mesures efficaces (Benoît *et al.*, 2012). À ce niveau, le MPO dénombre trois défis à relever :

1. Mettre en place et assurer une surveillance des populations sur le territoire incluant des outils de mesures efficaces afin de détecter le plus rapidement possible les changements au niveau de la productivité.
2. Développer la science pour déterminer comment et quand il est nécessaire de changer les points de référence en matière de rendement maximal soutenu et s'ajuster en fonction de la productivité.
3. Élaborer des stratégies d'adaptation et de gestion robustes afin de faire face aux conséquences des changements climatiques sur la productivité.

Ensuite, il est important d'évaluer les réponses face aux changements climatiques **à tous les niveaux trophiques** et leurs implications d'une espèce à l'autre (Wernberg *et al.*, 2012). Shackell, *et al.* (2013) renforcent ce propos en recommandant de mesurer les conditions physico-chimiques de l'eau ainsi que la production primaire, en plus de la réaction des différentes espèces en fonction de la variabilité induite par les changements climatiques, et ce, à tous les niveaux de la chaîne trophique. Il est important d'**étudier simultanément différents facteurs de stress agissant sur les espèces exploitées**, d'identifier les espèces et les stades de développement les plus vulnérables à ces perturbations pour finalement être en mesure de reconnaître les niveaux trophiques qui seront les plus affectés (Shackell *et al.*, 2013).

De plus, il y a un besoin pour des études sur les **historiques** des espèces et leurs caractéristiques physiologiques afin de mieux saisir les impacts potentiels des changements climatiques (Shackell *et al.*, 2013). Des lacunes existent au niveau des connaissances sur les changements saisonniers et interannuels, dans la distribution et l'abondance des espèces (MPO, 2013). Ainsi, des études **à long terme** pourraient aider à mieux saisir l'influence des fluctuations interannuelles sur la productivité des pêches.

Cela dit, en plus d'être réalisées sur de plus longues périodes, les études se doivent d'être menées **à grande échelle**, sur des territoires plus vastes afin de prendre en compte tous les processus écosystémiques qui interagissent avec les espèces, comme l'impact des courants marins sur le développement d'une espèce dans un contexte de changements climatiques (Wernberg *et al.*, 2012). Les études doivent donc avoir une **portée plus large** et s'intéresser aux interactions entre les espèces selon le principe de l'approche écosystémique, ce qui inclut les écosystèmes, les habitats, les communautés écologiques et leurs réponses aux changements climatiques, puisque ces réponses sont encore méconnues et permettraient de meilleures projections dans le temps (IUCN, 2015 ; MPO, 2013).

» 2. EFFORTS DE RECHERCHE IDENTIFIÉS EN MILIEU MARIN

Les espèces pêchées et élevées à des fins commerciales en milieu marin sont sujettes à plusieurs impacts provenant des changements climatiques, mais l'effet de certaines variables est encore méconnu. Plusieurs chercheurs mettent donc de l'avant les différents sujets qui devraient être approfondis dans le futur. Jusqu'à maintenant, les recherches concernant les impacts des changements climatiques ont été axées sur la phénologie et la distribution des espèces. Ceci dit, un plus grand effort devrait être mis sur la dynamique des populations, l'évolution et les interactions interspécifiques (Lynch *et al.*, 2016).

Le MPO (2013) relève différentes lacunes dans la recherche en milieu marin qui portent principalement sur :

- les conséquences reliées aux changements dans la synchronisation, l'intensité et la durée des cycles saisonniers et les cycles de nutriments;
- les effets des changements climatiques au niveau de la stratification, de la distribution des masses d'eau et de la circulation océanique;
- les processus écologiques faisant intervenir les glaces de mer;
- la capacité adaptative des espèces au niveau génétique;
- la façon dont les espèces s'adapteront à ces changements et les conséquences de cette adaptation sur la productivité régionale.

De plus, des études sont nécessaires sur l'altération des propriétés physico-chimiques de l'eau par les changements climatiques et leurs impacts sur les différentes populations d'espèces commerciales. Par exemple, il y a un besoin de connaissances sur l'interaction entre l'acidification et l'ontogénèse, soit le développement complet d'un individu, ainsi que sur l'acidification et son impact biologique sur les poissons et les invertébrés du golfe du Saint-Laurent et de l'Atlantique (IUCN, 2015 ; MPO, 2013 ; Shackell *et al.*, 2013). En effet, la capacité d'adaptation des espèces marines à l'acidification des océans est largement inconnue et devrait être étudiée de façon plus approfondie (Reid & Gurney-Smith, 2016). D'autres facteurs comme l'hypoxie sont encore mal connus, et surtout l'ampleur de ses répercussions sur la distribution des espèces (Shackell *et al.*, 2013).

En plus des variables physico-chimiques, les espèces exotiques envahissantes (EEE) devraient également faire l'objet d'efforts de recherche puisque différents agents infectieux pourraient émerger dans les zones de pêche et ils pourraient être dommageables pour plusieurs espèces exploitées (Shackell *et al.*, 2013). Également, de nouveaux tests diagnostiques devront être développés afin de détecter la présence d'EEE et assurer la qualité des produits pêchés, vendus et consommés (Shackell *et al.*, 2013).

Il apparaît également important de mieux comprendre l'influence que les changements climatiques auront autant sur la qualité des espèces pêchées ou élevées (par exemple sur leurs teneurs en protéines) que sur la pêche ou l'aquaculture en soi (par exemple les revenus et les coûts de la pêche, les emplois et les salaires et plus généralement sur les retombées économiques générées par les pêches et l'aquaculture) (Sumaila *et al.*, 2011).

» 3. EFFORTS DE RECHERCHE IDENTIFIÉS EN EAU DOUCE

Les impacts des changements climatiques en eau douce sont très peu documentés. En effet, les études reliées à la température des rivières nécessitent des séries de données historiques sur de longues périodes et ces dernières sont rares (Hebert, 2013). De plus, il est également important de prendre en compte les cycles annuels et journaliers des températures de l'eau en rivière puisqu'ils sont importants dans la détermination des températures estivales maximales, ce qui demande également de collecter beaucoup de données (Hebert, 2013).

Dans le cas des espèces anadromes (p. ex. saumon de l'Atlantique) et catadromes (p. ex. l'anguille d'Amérique), des efforts de recherche à long terme sont primordiaux puisque ces espèces ont trois milieux de vie distincts : en eau douce, en eaux saumâtres (estuaire) et en mer. Ainsi, elles font face à une grande variété d'impacts des changements climatiques (Russell *et al.*, 2012). En particulier, plus de connaissances sont nécessaires sur le saumon de l'Atlantique, surtout en ce qui a trait à l'influence des changements climatiques sur la taille des alevins, leur recrutement et leur survie en mer, en plus des différences de température qu'ils subissent quand ils transitent entre les milieux marin et d'eau douce (Russell *et al.*, 2012).

Un système de suivi de la biodiversité aquatique est également primordial afin, entre autres, de prévenir l'introduction d'espèces exotiques envahissantes en eau douce et de surveiller leur progression pour intervenir rapidement en cas d'intrusion (Gouvernement du Québec, 2012).



» RÉFÉRENCES

Benoît, H. P., Gagné, J. A., Savenkoff, C., Ouellet, P., & Bourassa, M. (2012). Rapport sur l'état des océans pour la zone de gestion intégrée du golfe du Saint-Laurent (GIGSL) Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques , 2986. Rapport pêches et océans Canada.

Gouvernement du Québec. (2012). Le Québec en Action Vert 2020 : Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Québec.

Hebert, D. (2013). Trends of temperature, salinity and stratification in the upper ocean for different regions of the Atlantic Canadian shelf. Dans J. W. Loder, G. Han, P. S. Galbraith, J. Chassé, & A. van der Baaren (Éd.), Aspects of climate change in the Northwest Atlantic off Canada (p. 33-42). Dartmouth, Nova Scotia: Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.

IUCN. (2015). Bridging the gap between ocean acidification impacts and economic valuation: Regional impacts of ocean acidification on fisheries and aquaculture. (S. Hilmi, N., Allemand, D., Kavanagh, C., Laffoley, D., Metian, M., Osborn, D., Reynaud, Éd.).

Lynch, A. J., Myers, B. J. E., Chu, C., Eby, L. A., Falke, J. A., Kovach, R. P., ... Whitney, J. E. (2016). Climate Change Effects on North American Inland Fish Populations and Assemblages. *Fisheries*, 41(7), 346-361. <http://doi.org/10.1080/03632415.2016.1186016>

MPO. (2013). Risk-Based Assessment of Climate Change Impacts and Risks on the Biological Systems and Infrastructure Within Fisheries and Oceans Canada'S Mandate - Atlantic Large Aquatic Basin. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Science Response 2012/044, (June 2013), 40.

Reid, G., & Gurney-Smith, H. (2016). Bulletin of the Aquaculture Association of Canada 2015-2. Dans Proceedings of the Atlantic and Pacific Climate Change and Aquaculture Workshops (p. 95).

Russell, I. C., Aprahamian, M. W., Barry, J., Davidson, I. C., Fiske, P., Ibbotson, A. T., ... Todd, C. D. (2012). Marine Survival. *ICES Journal of Marine Science*, 69, 1563-1573.

Shackell, N. L., Greenan, B. J. W., Pepin, P., Chabot, D., & Warburton, A. (2013). Climate Change Impacts , Vulnerabilities and Opportunities Analysis of the Marine Atlantic Basin. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 3012, xvi + 366 p.

Sumaila, U. R., Cheung, W. W. L., Lam, V. W. Y., Pauly, D., & Herrick, S. (2011). Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. *Nature Climate Change*, 1(9), 449-456. <http://doi.org/10.1038/nclimate1301>

Wernberg, T., Smale, D. A., & Thomsen, M. S. (2012). A decade of climate change experiments on marine organisms: procedures, patterns and problems. *Global Change Biology*, 18(5), 1491-1498.

» ANNEXE 1 - TABLEAU DES PRINCIPAUX MINISTÈRES, ORGANISATIONS, INSTITUTS ET CENTRES DE RECHERCHE AU QUÉBEC ACTIFS EN RECHERCHE SUR LES PÊCHES ET L'AQUACULTURE

ORGANISATION	ACTIVITÉS PRINCIPALES
Centre de recherche sur les biotechnologies marines (CRBM)	Centre de R&D et de transfert dans les biotechnologies marines
Centre de transfert et de sélection des salmonidés (CTSS)	Amélioration génétique des ombles et vente de poissons exempts de maladie à l'industrie piscicole québécoise
Centre de recherche du Nunavik (Société Makivik)	Mène des recherches afin de développer une industrie viable de pêche à la crevette dans le détroit d'Hudson et le détroit de Davis. Au cours des années, les Pêcheries UNAAQ ont formé des équipages inuits et ont développé des partenariats avec d'importantes entreprises de pêche nationales et internationales.
Génome Canada, Génome Québec, Génome Atlantique	Société sans but lucratif qui sert de catalyseur de la mise en valeur et de l'application de la génomique et des technologies qui s'y rattachent au profit de la population canadienne et provinciale qui en retirera des avantages économiques et sociaux.
Institut des sciences de la mer (ISMER) de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR)	Recherche et formation spécialisées et multidisciplinaires dans le domaine des ressources, sciences et technologies marines
Innovation maritime (IMAR) – Institut maritime du Québec	Centre pour soutenir la compétitivité des entreprises, pour stimuler l'excellence et pour favoriser la croissance du secteur maritime grâce à l'innovation technologique
Merinov	Centre d'innovation de l'aquaculture et des pêches du Québec, centre R&D, de transfert et d'appui à l'innovation dans le secteur des pêches, de l'aquaculture et de la transformation des produits aquatiques.
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ)	Favorise le développement durable et la compétitivité du secteur des pêches et de l'aquaculture au Québec. Contribue, avec ses partenaires, à la mise en œuvre de stratégies et de programmes pour favoriser l'innovation. Programme Innovamer : La réalisation de projets d'innovation des entreprises du secteur des pêches et de l'aquaculture commerciales est au premier plan des actions soutenues par ce programme.
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs	Ministère provincial ayant pour but d'assurer la conservation et la mise en valeur de la faune et de ses habitats, de gérer les droits et permis de pêche, de soutenir le développement de l'industrie du secteur faunique et de protéger la faune et ses habitats.

Ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO)	<p>Ministère fédéral ayant pour but d'élaborer et mettre en œuvre des politiques et des programmes au profit des intérêts scientifiques, écologiques, sociaux et économiques du Canada dans les océans et les eaux intérieures. Programmes et services qui appuient l'exploitation et l'utilisation durables des cours d'eau et des ressources aquatiques du Canada :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Programme de recherche sur la réglementation de l'aquaculture (PRRA) • Programme coopératif de recherche et développement en aquaculture (PCRDA) • Le Centre d'expertise sur la santé des animaux aquatiques, recherche et diagnostic (CESAARD) • Initiative de R et D en génomique (IRDG) • Programme des services d'adaptation aux changements climatiques en milieu aquatique (PSACCMA) <p>Institut Maurice-Lamontagne (IML) : Centre de recherche du MPO spécialisé en sciences marines. Fournit au gouvernement fédéral une base scientifique pour la conservation des ressources halieutiques marines, pour la protection de l'environnement marin et pour la navigation maritime sécuritaire, et s'assure de l'application de lois visant la gestion intégrée du milieu marin et de la protection de l'habitat du poisson.</p>
Observatoire global du Saint-Laurent (OGSL)	Organisation dont l'objectif est d'établir et d'exploiter un centre autonome d'intégration et de diffusion de données et d'informations sur le système global du Saint-Laurent.
Québec Océan	Favorise la mobilisation des chercheurs québécois et la formation des étudiants afin d'assurer l'excellence de la recherche en océanographie et la diffusion du savoir.
Réseau Québec maritime (RQM)	Organisme dont la mission est de fédérer et d'animer les forces vives en recherche et en innovation dans différents domaines liés au secteur maritime.
Ressources Aquatiques Québec (RAQ)	Regroupement québécois interinstitutionnel de recherche dont l'objectif est de participer activement au développement durable de l'industrie aquacole et de l'industrie des pêches du Québec.
Technopole maritime du Québec (TMQ)	Réseau d'affaires regroupant les principaux acteurs du secteur maritime chargés de favoriser le développement du secteur et d'assurer sa promotion sur les plans national et international.



550 Sherbrooke Ouest, 19^e étage
Montréal (Québec)
H3A 1B9