



Université du Québec
à Rimouski

**PÊCHES COMMERCIALES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS
L'ESTUAIRE ET LE GOLFE DU SAINT-LAURENT : IMPACTS ÉCONOMIQUES
ET MESURES D'ADAPTATIONS**

Mémoire présenté

dans le cadre du programme de maîtrise en gestion des ressources maritimes

en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences

PAR

© **Fatou WADE**

Février 2020

Composition du jury :

Josée Laflamme, professeure, présidente du jury, Université du Québec à Rimouski

Claude Rioux, professeur, directeur de recherche, Université du Québec à Rimouski

Marcel Lévesque, professeur, évaluateur, Université du Québec à Rimouski

Dépôt initial le [18/11/2019]

Dépôt final le [25/02/2020]

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

À MON PÈRE

REMERCIEMENTS

La motivation qui m'a permis de mener à terme ce projet est en partie due au soutien que j'ai reçu de plusieurs personnes et que je désire remercier très chaleureusement.

D'abord, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon directeur le professeur Claude Rioux pour son encadrement, ses conseils, ses qualités humaines et surtout sa patience. Je le remercie pour m'avoir donné la possibilité de réaliser ce mémoire dans le cadre de ma maîtrise. Grâce à son expertise dans le secteur de la pêche, j'ai pu réaliser ce travail dans un domaine qui m'était jusqu'alors inconnu. Je remercie aussi toutes les professeures et tous les professeurs avec qui j'ai suivi des cours durant ma maîtrise. Chacun de ces cours m'a apporté un plus lors de la rédaction de ce mémoire.

J'exprime également ma gratitude au Docteur Laurent Faucher pour son support financier et moral. Vous m'aviez permis, Docteur, de surmonter plusieurs étapes difficiles durant ce parcours et je vous en suis très reconnaissante. Je remercie aussi tous mes amis de Rimouski, de Québec, de Sherbrooke, de Dakar, et de Clermont-Ferrand pour leurs encouragements.

Enfin, je ne saurais terminer sans pour autant remercier toute ma famille. Mon Papa, qui a toujours été ma source de motivation première. Ce mémoire lui est dédié, et je sais que là où il est, il veille encore sur moi. Ma grand-mère chérie qui vient de nous quitter et qui a toujours été ma référence. Ma mère qui m'encourage tous les jours et me motive à me surpasser. Mes frères, mes sœurs et mes neveux qui constituent pour moi une source infinie d'humour et d'amour.

RÉSUMÉ

Le changement climatique risquerait de modifier les propriétés physico-chimiques des écosystèmes marins. Cela entraînerait des variations de la production halieutique. Selon les zones de pêches et l'espèce pêchée, ces variations se traduiraient par des gains ou des pertes de revenus pour l'industrie de capture. Dans le but d'analyser ces impacts physiques, biologiques et économiques potentiels du changement climatique sur l'industrie de capture et particulièrement celle de la région de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent nous avons utilisé une approche théorique basée essentiellement sur les résultats des études scientifiques. Les pêcheurs, dans notre zone d'étude, exploitent principalement des espèces à hautes valeurs commerciales telles que le homard, le crabe des neiges, et la crevette nordique. Ces espèces étant plus ou moins sensibles au réchauffement des eaux et à ses effets, cela remet en jeu la pérennité économique de cette industrie. Ainsi, notre analyse suggère que si les acteurs des pêches n'intègrent pas les effets du changement climatique dans la gestion de la pêche, cela pourrait ramener l'industrie aux mêmes conditions qui ont mené au moratoire de la pêche aux poissons de fond. Cependant, il existe une multitude de stratégies de gestion pouvant permettre de préserver l'écosystème marin, de conserver les ressources halieutiques, mais aussi de protéger les revenus des pêcheurs et de leurs communautés.

Plutôt que de donner une réponse exacte, ce travail vise plutôt à faire un état de la situation et de l'évolution potentielle des impacts du changement climatique et de ses liens avec les composantes bioéconomiques dans l'écosystème marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Ce travail permet aussi de fournir des outils aux acteurs de la pêche afin d'adapter l'industrie de capture et ceux qui en dépendent aux effets du changement climatique.

ABSTRACT

Climate change could change the physico-chemical properties of marine ecosystems. This would lead to variations in fish production. Depending on the fishing areas and the species fished, these variations would result in gains or losses of income for the catching industry. In order to analyze these potential physical, biological and economic impacts of climate change on the capture industry and particularly that of the Estuary and Gulf of St. Lawrence region, we used a theoretical approach based essentially on the results of scientific studies. Fishers in our study area mainly harvest high-value species such as lobster, snow crab and northern shrimp. These species being sensitive to the warming of the waters and its effects, this puts into play the economic sustainability of this industry. Thus, our analysis suggests that if fisheries actors do not integrate the effects of climate change into fisheries management, this could bring the industry back to the same conditions that led to the moratorium on groundfish fisheries. However, there are a multitude of management strategies that can preserve the marine ecosystem, conserve fisheries resources, and protect the income of fishers and their communities.

Rather than giving an exact answer, this work aims instead to make a state of the situation and the potential evolution of the impacts of climate change and its links with the bioeconomic components in the marine ecosystem of the Estuary and the Gulf of Saint - Laurent. This work also provides tools for fishery stakeholders to adapt the capture industry and those who dependent on it to the effects of climate change.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	v
RÉSUMÉ.....	vi
ABSTRACT	vii
TABLE DES MATIÈRES	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES	xii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	xiii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1. REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'INDUSTRIE DE LA PÊCHE.....	9
1.1. LES IMPACTS PHYSIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉCOSYSTÈME MARIN.....	9
1.1.1. La température des océans.....	10
1.1.2. Le taux de salinité.....	11
1.1.3. Le niveau d'oxygène dissout.....	12
1.1.4. L'acidification.....	13
1.1.5. Autres impacts du changement climatique sur l'océan	14
1.2. LES RÉPONSES DES ORGANISMES MARINS AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	16
1.2.1. Changement de la productivité des organismes marins.....	16
1.2.2. Modification du fonctionnement des organismes marins	18
1.2.3. Changement de la distribution et de l'abondance des espèces.....	20
1.2.4. Autres impacts sur les organismes marins.....	23
1.3. IMPACTS ÉCONOMIQUES POTENTIELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'INDUSTRIE DE LA PÊCHE COMMERCIALE	25
1.3.1. Les effets économiques potentiels du changement climatique sur l'industrie de la pêche.....	26
1.3.2. Les autres effets économiques du changement climatique en lien avec l'industrie de capture.....	34
CHAPITRE 2 LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE SECTEUR DE LA PÊCHE DANS L'ESTUAIRE ET LE GOLFE DU SAINT-LAURENT	37
2.1 LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉCOSYSTÈME MARIN DE L'ESTUAIRE ET DU GOLFE DU SAINT-LAURENT	38

2.1.1.	Caractéristiques de notre zone d'étude : Estuaire et Golfe du Saint-Laurent ..	38
2.1.2.	Les modifications physiques de l'écosystème de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dues au changement climatique	42
2.2.	ANALYSE DES RÉPONSES BIOLOGIQUES DU HOMARD AMÉRICAIN, DU CRABE DES NEIGES ET DE LA CREVETTE NORDIQUE FACE AU RÉCHAUFFEMENT DES EAUX DE L'ESTUAIRE ET DU GOLFE DU SAINT-LAURENT	45
2.2.1.	Impact du changement climatique sur le homard américain.....	46
2.2.2.	Impact du changement climatique sur le crabe des neiges.....	47
2.2.3.	Impact du changement climatique sur la crevette nordique.....	49
2.3.	LES EFFETS ÉCONOMIQUES ATTENDUS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'INDUSTRIE DE LA PÊCHE DANS L'ESTUAIRE ET LE GOLFE DU SAINT-LAURENT	51
2.3.1.	L'industrie de la pêche commerciale dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent	52
2.3.2.	Apport économique de l'industrie de la pêche dans l'économie des régions côtières.....	63
2.3.3.	Les implications économiques du changement climatique sur l'industrie de capture dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent	66
CHAPITRE 3 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LES MESURES D'ADAPTATIONS POUR L'INDUSTRIE DE CAPTURE		
68		
3.1	LES APPROCHES ET STRATÉGIES D' ACTIONS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	68
3.1.1.	La mitigation.....	68
3.1.2.	L'adaptation	70
3.2.	LA GESTION DES PÊCHES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE À TRAVERS DIFFÉRENTES ZONES ÉCONOMIQUES EXCLUSIVES : EXEMPLES DES ÉTATS-UNIS ET DE L'AUSTRALIE.....	73
3.2.1.	Les États-Unis et les mesures d'adaptation de la pêche face au réchauffement des eaux sur l'Atlantique nord-ouest.....	74
3.2.2.	L'Australie et la résilience économique des pêcheurs.....	76
3.3.	GESTION DE LA PÊCHE COMMERCIALE DANS L'ESTUAIRE ET LE GOLFE DU SAINT-LAURENT FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	80
3.3.1.	Les différentes mesures de gestion régissant la pêche aux homards crabes des neiges et crevettes nordiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent	83

3.3.2. Discussion sur les stratégies d'adaptation au changement climatique de l'industrie de capture au homard crabe des neiges et crevette nordique dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.....	87
CONCLUSION.....	95
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	97

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les 10 années les plus chaudes depuis 1880 par rapport à la normale 1901-2000	1
Tableau 2 : Les scénarios de projection RCP.....	8
Tableau 3: Volume des débarquements dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2016 (tonnes métriques, poids vif)	55
Tableau 4: Valeur des débarquements dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2016 (milliers de dollars).....	57
Tableau 5: Principaux indicateurs socioéconomiques des provinces atlantiques du Canada	64
Tableau 6 : Résumé de l'évaluation de la résilience économique montrant la correspondance entre les attributs de résilience et les effets du changement climatique.....	79
Tableau 7: Les mesures de contrôles de la pêche.....	81
Tableau 8 : Les principales préoccupations du Bureau du vérificateur général sur la gestion des pêches au Canada	86

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Série chronologique du contenu calorifique annuel global de l'océan.....	10
Figure 2 : Le golfe du Saint-Laurent et ses particularités physiques.....	40
Figure 3: Volumes de débarquements des principales espèces de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2016 (tonnes métriques, poids vif).....	55
Figure 4: Volume de débarquements des différentes régions maritimes de l'estuaire et du golfe du Saint- Laurent en 2016 (tonnes métriques, poids vif)	55
Figure 5: Valeur des différentes espèces débarquées dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2016 (milliers de dollars).....	57
Figure 6 : Valeur des produits débarqués dans les différentes régions de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2016 (milliers dollars).....	57

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

AFMA	Office australien de gestion des pêches
CO₂	Dioxyde de Carbone
CSMOPM	Comité sectoriel de la main d'œuvre des pêches maritimes
DBEM	Modèle d'enveloppe bioclimatique dynamique
ENSO	El Niño Southern Oscillation
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
GAM	Modèles additifs généralisés.
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MCG	Modèle climatique global
MPO	Ministère des pêches et océans Canada
MSC	Marine Stewardship Council
NAO	North Atlantic Oscillation.
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPEN	Modèle de niche écologique probabiliste non paramétrique
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques

PDO	Oscillation décennale du pacifique
PGIP	Plan de gestion intégrée des pêches
PIB	Produit intérieur brut
QIT	Quotas individuel transférable
RCP	Voies de concentrations représentatives
SRES	Special Reports on Emission
TAC	Taux autorisé de capture
VAN	Valeur actuelle nette
VZGO	Vaste zone de gestion des océans.
VCE	Voie de concentration étendue
ZEE	Zone économique exclusive
ZOM	Zone à oxygène minimum.

INTRODUCTION

Depuis sa création en 1988 tous les rapports du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) s'accordent sur le fait que le changement climatique est le résultat des activités d'origines anthropiques. Les émissions de gaz à effet de serre depuis l'époque préindustrielle ont contribué à un réchauffement climatique sans précédent avec une hausse de la température mondiale de 0.85°C durant le siècle dernier (GIEC, 2013). Ce réchauffement climatique affecterait à l'échelle mondiale de nombreux systèmes physiques et biologiques (GIEC, 2007) et entrainerait des changements significatifs dans les écosystèmes terrestres comme marins (Barange et Perry, 2009; GIEC, 2014). Ces effets risqueraient de s'aggraver dans le futur, car toutes les projections climatiques, selon les différents scénarios d'émissions mondiales de gaz à effets de serre, estiment que les variations futures de la température devraient dépasser 1.5°C d'ici 2100 (GIEC, 2014). Ces projections sont confirmées par les observations de ces dernières années où les températures enregistrées ont été les plus chaudes depuis 1880 (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Les 10 années les plus chaudes depuis 1880 par rapport à la normale 1901-2000

Année	2016	2015	2017	2018	2014	2010	2013	2005	1998	2009
Anomalie de Température en °C	0.98	0.92	0.90	0.82	0.73	0.72	0.67	0.66	0.65	0.64

Source: National Climatic Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration

Les projections climatiques à partir des travaux du GIEC ont entraîné durant ces dernières décennies une augmentation de la littérature scientifique et de la littérature grise sur les impacts potentiels du changement climatique notamment sur les écosystèmes marins et les ressources halieutiques. Les résultats de ces études scientifiques sont tout aussi alarmants que les rapports du GIEC. Selon ces études, le changement climatique serait susceptible de modifier les propriétés physico-chimiques des écosystèmes marins, telles que la température des eaux, la salinité et la stratification des eaux, l'acidification, le niveau d'oxygène dissout, ainsi que le niveau de la mer (Barange et Perry, 2009 ; GIEC, 2014 ; Pörtner *et al.*, 2014). Ces effets du changement climatique viendraient ainsi s'ajouter aux menaces anthropiques (surpêche, mauvaises pratiques de pêche,

pollution marine) qui perturbent déjà l'équilibre naturel des écosystèmes marins. En termes de réponses biologiques, les effets du changement climatique modifieraient à la fois l'aspect physiologique des organismes marins (Brander, 2010 ; Pörtner *et al.*, 2014), la productivité et l'abondance des espèces (Parmesan, 2006 ; Barange *et al.*, 2014) ainsi que leur répartition géographique (Cheung *et al.*, 2010; Porter *et al.*, 2014). Toutefois ces changements seraient différents d'une espèce à une autre et d'un bassin océanique à un autre (Barange *et al.*, 2014).

Le bassin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent a été identifié parmi les écosystèmes marins affectés par le changement climatique. Depuis des décennies la température moyenne des eaux à la surface du golfe du Saint-Laurent a considérablement augmenté (Benoît *et al.*, 2012; Galbraith *et al.*, 2014). Parallèlement, d'importantes variations dans les propriétés physiques et chimiques du bassin ont été mises en évidence par plusieurs études scientifiques (Chabot et Guenette, 2013). Ces changements se traduisent notamment par une stratification accrue des eaux du golfe, une fonte de la banquise entraînant une réduction de la salinité ainsi qu'une augmentation du niveau de la mer, la baisse constante du taux d'oxygène dans l'eau et dans une moindre mesure la réduction du pH des eaux (Gilbert *et al.*, 2005, 2007; Brzeski, 2011; MPO, 2012; Loder *et al.*, 2013; Hutchings *et al.*, 2012; Shackell *et al.*, 2013).

Présentement, les eaux de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent abritent des espèces à hautes valeurs commerciales telles que le homard, le crabe des neiges, et la crevette nordique. Ces espèces soutiennent une pêche lucrative le long des côtes du bassin et ont permis de redonner un nouveau départ aux pêcheurs et à leurs communautés à la suite du moratoire sur les poissons de fonds. Ces trois espèces étant sensibles à différents seuils aux conditions environnementales de leurs milieux naturels (Chabot, Guenette, et Stortini, 2013), le changement climatique influencerait probablement leurs activités métaboliques, leurs croissances et leurs distributions (Sainte-Marie *et al.*, 2005; Hutchings *et al.*, 2012; Chabot, Guenette, et Stortini, 2013; Hare *et al.*, 2016).

Par ailleurs, la variation de ces conditions naturelles n'affecterait pas seulement la production halieutique, mais modifierait fortement les coûts et les avantages nets tirés de la pêche (Hannesson, 2007). Cependant très peu d'études ont été effectuées pour évaluer les conséquences économiques du changement climatique sur l'industrie de capture dans le golfe du Saint-Laurent. Or de telles études seraient nécessaires pour orienter les acteurs de la pêche (pêcheurs, gestionnaires, et gouvernants) dans leurs décisions futures. D'autant plus que les conséquences de

ces changements remettraient en jeu la viabilité socioéconomique de toute l'industrie de capture, et particulièrement celle des communautés pour qui la pêche constitue souvent la première activité génératrice de revenus. Par conséquent, notre principale question de recherche serait de savoir quelles seraient les stratégies d'adaptation au changement climatique qui pourraient être incluses dans la gestion des principales espèces commerciales de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Notre réponse à cette question de recherche apportera une contribution sociale significative en aidant les gestionnaires de pêches et les gouvernants à garantir une pérennité économique aux pêcheurs et à leurs communautés.

Dans le but de répondre à cette question, nous nous sommes fixés comme objectif d'analyser les liens entre le changement climatique et l'industrie de capture. Cet objectif principal sera scindé en quatre objectifs spécifiques à savoir :

- Identifier les impacts du changement climatique sur l'écosystème marin notamment celui de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent et leurs évolutions probables.
- Analyser les réponses biologiques des organismes marins, particulièrement celles du homard, du crabe des neiges, et de la crevette nordique.
- Analyser les conséquences économiques probables du changement climatique sur les revenus de ces trois flottilles.
- Élaborer des recommandations sur les stratégies d'adaptations pour l'industrie de capture face au changement climatique.

La démarche méthodologique adoptée consiste d'une part à une synthèse exhaustive de la littérature grise et scientifique concernant les relations complexes qui existent entre le changement climatique et les paramètres physiques biologiques et économiques de l'industrie de captures, et d'autre part à une analyse qualitative de ces relations et de leurs implications au niveau de la gestion de la pêche dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. La littérature sur les effets biophysiques du changement climatique étant assez récente, notre revue a été la plus inclusive possible, sans limite de période, afin de recueillir les résultats empiriques les plus pertinents pour notre analyse. Cependant pour les effets économiques et les stratégies d'adaptations nous nous sommes concentrés sur les études effectuées dans les pays développés, en prenant notamment deux exemples d'études de cas portants sur les États-Unis et l'Australie.

Dans le premier chapitre, nous allons décrire à travers une revue de la littérature scientifique les impacts du changement climatique sur les propriétés physico-chimiques des océans et sur les organismes marins, et montrer comment ces changements peuvent modifier les revenus de l'industrie de capture. Dans le deuxième chapitre nous allons nous focaliser sur notre zone d'étude en décrivant comment les impacts identifiés dans le premier chapitre se manifestent au niveau de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent et discuter quant à l'avenir des pêcheries de nos trois espèces. Dans le troisième et dernier chapitre, nous présenterons d'abord les différentes approches d'adaptation de la pêche face au changement climatique, puis analyserons les mesures de gestion mise en place dans la pêche au homard, au crabe des neiges et à la crevette nordique et enfin nous élaborerons des pistes de solutions sur les mesures de gestion pour adapter l'industrie de capture commerciale face au réchauffement des eaux de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

Pour mettre en contexte notre travail, nous proposons de dresser dans ce qui suit un portrait de l'évolution de l'industrie des captures mondiales, de même que l'évolution et les projections des conditions climatiques. La situation de ces deux paramètres permet de mieux cerner la problématique soulevée dans ce travail.

➤ **Évolution de l'industrie des captures marines**

Le progrès technique a engendré une évolution rapide des captures marines mondiales au lendemain de la deuxième Guerre mondiale (Parsons, 1995). Ce progrès technique associé à l'extension des zones économiques exclusives (ZEE) à 200 miles et la découverte de nouvelles zones d'exploitation ont considérablement accru les possibilités de captures marines à l'échelle du globe. Ces dernières sont ainsi passées de 19 millions de tonnes en 1950 à près de 85 millions de tonnes à la fin des années 1980. Aujourd'hui, selon le dernier rapport de la FAO sur la situation mondiale de la pêche, les débarquements de produits halieutiques ont été estimés en 2014 à près de 93.4 millions de tonnes dont 81.5 millions de tonnes provenant des captures marines, et 11.9 millions de tonnes des eaux intérieures (FAO, 2016). Ces statistiques ne prennent pas en compte la pêche artisanale et la pêche illicite difficile à comptabiliser selon Pauly et Zeller (2016).

En analysant les statistiques de la FAO nous remarquons que depuis 1990 les taux d'évolutions des captures, qui tournaient autour de 6 à 7% par an après la Deuxième Guerre mondiale, sont restés quasi nuls, ce qui laisse supposer que les océans ont atteint en moyenne leur production maximale (Garcia et Moreno, 2003). De nombreuses études expliquent cette situation

comme étant une conséquence de la surexploitation des stocks de poissons. Toutefois cette stagnation des captures ne se présente pas dans toutes les ZEE. Selon la FAO (2016) l'évolution des débarquements diffère d'une région à une autre. Elle distingue d'abord les régions de l'Atlantique Centre-Est, Pacifique Nord-Est, Pacifique Centre-Est, Atlantique Sud-Ouest, Pacifique Sud-Est et Pacifique Nord-Ouest où les niveaux ont fluctué autour d'une valeur globalement stable. Ensuite les régions de l'Atlantique Nord-Est, Atlantique Nord-Ouest, Atlantique Centre-Ouest, Méditerranée et mer Noire, Pacifique Sud-Ouest et Atlantique Sud caractérisées par une tendance globale à la baisse après qu'elles aient atteint des niveaux historiques. Et enfin les régions du Pacifique Centre-Ouest, de l'océan Indien Est et de l'océan Indien Ouest où les captures sont en augmentation constante depuis 1950.

La composition des captures n'a néanmoins pas changé durant ces dernières décennies et nous retrouvons principalement dans les débarquements des poissons, des mollusques, et des crustacés. Une grande partie de ces captures (près de 80% en 2014) est destinée à la consommation humaine directe, le reste de la production sert à la fabrication des produits non alimentaires tels que la farine et l'huile de poisson destinées à la production aquacole. La consommation moyenne de poisson par habitant a augmenté d'une dizaine de kilogrammes entre 1960, où elle était à 9.9 kg, et 2013 où elle a atteint les 20 kg (FAO, 2016). Les produits halieutiques constituent ainsi une source alimentaire importante non seulement pour les pays sous-développés, mais aussi pour les pays développés et fournissent à plus de 3,1 milliards de personnes près de 20 pour cent de leur apport moyen en protéines animales (OCDE, 2017).

En plus de satisfaire les besoins alimentaires, les captures marines soutiennent le développement économique de plusieurs régions côtières par la création d'emplois et de revenus. La valeur des débarquements mondiaux de la pêche industrielle marine a été estimée à plus 130 milliards USD en 2016 (Barange *et al.*, 2018). Même si elle représente la plus faible valeur ajoutée des secteurs d'activités liés à la mer (moins de 1%), l'industrie de capture marine reste le premier employeur dans le domaine maritime. En 2014, l'emploi dans les secteurs de la production primaire était d'environ 38 millions (FAO, 2016) soit près de 36% de la main d'œuvre mondiale dans le domaine maritime (OCDE, 2017).

Cependant l'industrie de captures marine est considérée aujourd'hui comme étant sous performante dans le sens où les ressources sont mal exploitées. Pour la FAO (2010), 80% des

stocks mondiaux sont pleinement exploités ou surexploités. Bien qu'étant une ressource naturelle renouvelable, certaines menaces peuvent compromettre la pérennité des produits halieutiques. De même les ressources sont mal gérées, ce qui engendre des pertes de revenus pour les industries. Selon la Banque Mondiale la différence entre les bénéfices économiques nets potentiels et réels des pêcheries marines mondiales est de l'ordre de 50 milliards de dollars par an (Kelleher, Willmann, et Arnason, 2009) (réestimée à une perte annuelle de 83 milliards en 2012 (Arnason, Kobayashi, et De Fontaubert, 2017)). Outre la mauvaise gestion, d'autres menaces non moins graves pèseraient sur les ressources halieutiques. Parmi ces menaces nous avons la surpêche, la pollution marine, la dégradation de l'habitat naturel des ressources par les mauvaises pratiques de pêches, et à cela s'ajoutent les effets du changement climatique (Sumaila *et al.*, 2011). Ce dernier est considéré par le GIEC (2007) comme la plus grande menace à long terme sur les écosystèmes marins.

➤ **Évolution et projection du changement climatique**

Selon la définition du glossaire GIEC (2013), le changement climatique est une « *variation de l'état du climat, qu'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus* ». Il résulterait de l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote, et les gaz fluorés. La présence du phénomène d'effet de serre constitue un processus naturel permettant à la terre de garder une température moyenne vivable. Toutefois, les activités anthropiques, de l'époque préindustrielle jusqu'à nos jours, ont accentué la concentration de ces gaz dans l'atmosphère, dont la plupart ont même doublé de volume. Ce surplus de gaz aurait provoqué l'accélération du réchauffement climatique.

Au fil du temps, des effets de ce réchauffement climatique ont été mis en évidence à l'échelle mondiale grâce à des observations directes et indirectes, aux reconstitutions historiques millénaires et aux bilans radiatifs et thermiques. Ces effets incluent entre autres une augmentation de la température moyenne de la terre, une réduction de la couverture neigeuse, la modification des régimes de précipitations et la modification de l'intensité et de la fréquence des catastrophes naturelles (GIEC, 2007). Cependant les récentes études ont révélé que ces changements ne se limiteraient pas seulement au système atmosphérique, mais affecteraient aussi les systèmes

océaniques. Cela se traduirait entre autres par une augmentation de la température de surface des eaux, une élévation du niveau de la mer, et une acidification des eaux (GIEC, 2013).

Aujourd'hui les scientifiques et les dirigeants sont conscients de la nécessité de mettre en place des stratégies d'atténuation pour limiter l'évolution du réchauffement climatique. Pour cela la mission est donnée aux scientifiques de fournir des prévisions sur l'évolution future du climat. Afin d'effectuer ces prévisions, les experts du GIEC utilisent des modèles climatiques globaux (MCG) qui sont des outils qui prédisent les impacts à la fois du forçage anthropique et naturel sur les différentes composantes du système climatique. Les MCG se basent sur des scénarios d'impacts potentiels du changement climatique, qui décrivent les conditions climatiques futures. Lors de son dernier rapport d'évaluation (AR5) le GIEC a élaboré un ensemble de nouveaux scénarios appelé « voies de concentrations représentatives » (RCP) en remplacement des scénarios SRES développés en 2000. Les scénarios RCP représentent des trajectoires d'émissions de concentration de gaz à effet de serre résultant des activités anthropiques. Quatre scénarios ont été élaborés à savoir RCP8.5 RCP6.0 RCP4.5 ET RCP2.6. Chaque scénario représente la quantité de chaleur produite en watts par mètre carré (W.m⁻²) d'ici 2100 sous certaines hypothèses socio-économiques telles que : la démographie, l'activité économique, le progrès technique, les politiques climatiques, etc, (*Tableau 2*). Ainsi à travers ces scénarios les scientifiques ont pu projeter une variation de la température mondiale de 1.5°C d'ici 2100 pour tous les RCP à l'exception de RCP 2.6 (Barange *et al.*, 2018).

Tableau 2 : Les scénarios de projection RCP

Scénarios	Descriptions
RCP 8.5	Voie d'émission élevée pour laquelle le forçage radiatif atteint plus de 8,5 Wm ⁻² d'ici 2100 et continue d'augmenter par la suite. Ce RCP est cohérent avec un avenir sans changement de politique supplémentaire visant à réduire les émissions et se caractérise par une augmentation des émissions de GES (développé par l'Institut international pour l'analyse de systèmes appliqués en Autriche; Riahi et al. 2011).
RCP 6.0	Voie de stabilisation intermédiaire dans laquelle le forçage radiatif est stabilisé à environ 6,0 Wm ⁻² après 2100 à travers l'application d'une gamme de technologies et de stratégies de réduction des émissions de GES (développée par l'Institut national d'études environnementales du Japon; Masui et al. 2011).
RCP 4.5	Voie de stabilisation intermédiaire dans laquelle le forçage radiatif est stabilisé à environ 4,5 Wm ⁻² après 2100 grâce à des réductions d'émissions relativement ambitieuses (développée par le Pacific Northwest National Laboratory aux États-Unis; Thomson et al. 2011).
RCP 2.6	Voie où le forçage radiatif culmine à environ 3 Wm ⁻² avant 2030, puis chute à 2,6 Wm ⁻² d'ici 2100. Ce scénario est également appelé RCP3-PD (pic et déclin). Pour atteindre de tels niveaux de forçage, des réductions ambitieuses des émissions de GES seraient nécessaires avec le temps (développé par l'Agence d'évaluation environnementale néerlandaise de PBL; van Vuuren et al. 2011b).

Source : adapté de Quante et Colijn (2016)

CHAPITRE 1.

REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'INDUSTRIE DE LA PÊCHE

Dans ce premier chapitre, nous allons décrire les liens (évolution et prévision) entre le changement climatique et les potentiels économiques de l'industrie de capture. Pour ce faire nous avons effectué une revue de la littérature théorique et empirique dans plusieurs domaines scientifiques tels que la climatologie, l'océanographie, la biologie, l'économie et la gestion. Cette revue pluridisciplinaire est nécessaire pour comprendre comment le changement climatique transforme l'écosystème marin, les impacts qui en découlent sur le processus biologique des organismes marins et enfin les conséquences économiques probables sur l'industrie de capture marine.

1.1. LES IMPACTS PHYSIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉCOSYSTÈME MARIN

Les océans recouvrent 71% de la surface terrestre (Pörtner *et al.*, 2014), il est donc clair qu'avec les échanges thermiques et gazeux du système océan-atmosphère, les effets d'un réchauffement climatique ne se limiteraient pas seulement sur l'écosystème terrestre, mais affecteraient aussi l'environnement marin. Ceci est d'autant plus vrai que, durant ces dernières décennies, les scientifiques ont noté de nombreux changements dans les liens entre le forçage climatique et les indicateurs environnementaux océaniques, et ceci aux échelles spatiales et temporelles (Beaugrand, 2014). Par conséquent l'évaluation de l'impact du changement climatique sur la pêche, ne pourrait se faire sans une analyse approfondie de la relation entre la variabilité climatique et les différents facteurs environnementaux pertinents à la production halieutique. Cette analyse est possible grâce à la modélisation sous différents scénarios climatiques des facteurs environnementaux qui soutiennent l'écosystème marin. Cependant, une grande incertitude caractérise les modèles climatiques, créant ainsi une réticence chez les climato-sceptiques quant aux résultats de ces modélisations. Néanmoins en faisant un rapprochement entre les observations passées (sur l'évolution du climat et des facteurs environnementaux) et les résultats scientifiques il apparaît que la marge d'erreur est de plus en plus restreinte et plusieurs améliorations ont été apportées depuis les premiers modèles climatiques (GIEC, 2013).

L'objectif de cette section est de montrer à partir des récents travaux scientifiques basés sur la modélisation climatique, notamment le rapport du GIEC (2007, 2013); Pörtner *et al.*, (2014), Phillips et Pérez-Ramírez, (2017), Hutchings *et al.*, (2012), Beaugrand, (2014), comment le changement climatique modifie les facteurs physico-chimiques les plus pertinents pour la vie marine ainsi que leurs projections durant le reste de ce siècle.

1.1.1. La température des océans

Les océans emmagasinent une grande partie de la chaleur atmosphérique provenant des émissions anthropogéniques de gaz à effet de serre (GIEC, 2007). Ainsi avec l'évolution climatique de ces dernières années 90 % de ce surplus atmosphérique s'est retrouvé dans les océans (GIEC, 2013). Cela a provoqué, depuis 1955, un réchauffement des océans à l'échelle mondiale à un taux moyen de 0.09°C par décennie (Levitus *et al.*, 2012).

Cette augmentation des températures océaniques présente une grande variabilité. D'abord le réchauffement n'est pas identique à tous les niveaux de la colonne d'eau. Elle est plus répandue et plus intense dans les couches supérieures océaniques qui entrent directement en contact avec l'atmosphère (*Figure 1*, Barange et Perry, 2009). Durant ces dernières décennies le réchauffement de la colonne d'eau a augmenté en moyenne de 0.1°C degré par décennie entre 0 et 75 m (Pörtner *et al.*, 2014) et de 0.18°C entre 0 et 700 m (Levitus *et al.*, 2012). D'autres travaux suggèrent un réchauffement moyen de 0.4°C de la surface de la mer entre 1980 et 2010 (Eggleton, 2017), avec un pic de 0.58°C degré en 2009 (Hoegh-Guldberg et Bruno, 2010). Toutefois par le biais des courants océaniques, des vents et des gyres océaniques, la chaleur commence à atteindre les couches profondes des océans (Barange et Perry, 2009) allant jusqu'à 2000 m dans certaines régions océaniques (GIEC, 2013). Ensuite, il existe une grande variabilité entre les bassins océaniques, le réchauffement étant plus intense dans les hautes latitudes notamment dans l'océan Atlantique-Nord (Dulvy *et al.*, 2010). Enfin, une variabilité temporelle correspondant aux périodes de l'oscillation El Niño - Southern Oscillation (ENSO) ou de l'oscillation décennale du Pacifique (ODP) (Booth *et al.*, 2017)

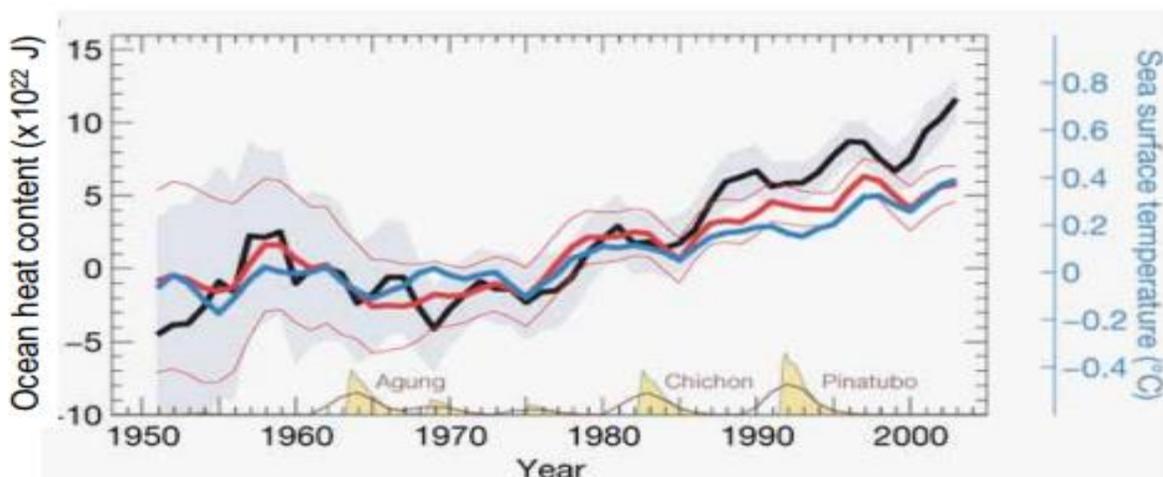


Figure 1: Série chronologique du contenu calorifique annuel global de l'océan (10^{22} J pour la couche de 0 à 700 m (en noir) et de 0 à 100 m (ligne rouge épaisse ; de fines lignes rouges indiquent les estimations d'une erreur d'écart-type) et la température équivalente de la surface de la mer (bleu; échelle de droite). Toutes les séries chronologiques ont été lissées avec une moyenne mobile sur trois ans et sont par rapport à 1961). Source (Barange et Perry, 2009)

En se basant sur les projections des différents scénarios climatiques, il est très probable que le réchauffement des eaux continue tout au long de ce siècle, et cela même en l'absence d'éruption volcanique majeure (GIEC, 2013). Ainsi il est prévu une augmentation de la température moyenne des eaux de surface (0 à 100 m) de $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ sous RCP2.6 à $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sous RCP8.5; ce réchauffement pourrait pénétrer jusqu'aux couches profondes (1000 m) et s'intensifier de $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (RCP2.6) à $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (RCP8.5) (GIEC, 2013).

Dans le système océanique, la température joue un rôle important dans l'équilibre des éléments physico-chimiques de l'eau dans le sens où elle est soit proportionnelle soit inversement proportionnelle à toutes les autres propriétés de l'eau de mer (Beaugrand, 2014). Il est clair donc que l'augmentation prévue de la température océanique entraînera une modification des autres facteurs physico-chimiques de l'eau.

1.1.2. Le taux de salinité

Il existe un contraste entre les niveaux de salinité (quantité de sel dissous) des océans du monde. En effet la surface océanique des régions tropicales est plus salée que celle des régions tempérées (Eggleton, 2017). Cela s'expliquerait par certains mécanismes du cycle hydrologique de la terre tels que l'évaporation des eaux, les niveaux de précipitations ainsi que le débit des

rivières (Burkett et Davidson, 2012). Cependant depuis quelques décennies, des variations majeures sont notées dans les niveaux de salinité des océans (Boyer *et al.*, 2005). Dans les régions tempérées, telles que le golfe de l'Alaska (Royer et Grosch, 2006) et le bassin de l'Atlantique Nord, la fonte des glaces, associée à l'augmentation des précipitations et aux courants marins, ont entraîné une augmentation importante de la quantité d'eau douce des océans réduisant ainsi la salinité à certains endroits (Durack et Wijffels, 2010). Tandis qu'au niveau des régions tropicales, la forte évaporation des océans a conduit à une augmentation de la salinité (Durack et Wijffels, 2010). Cette différence de salinité dans les régions océaniques s'est accentuée durant ces 60 dernières années avec le réchauffement de la couche supérieure des océans (GIEC, 2013).

La salinité détermine la densité des eaux et joue un rôle prépondérant dans les échanges océaniques notamment au niveau des hautes latitudes où elle constitue une variable clé dans la circulation océanique (Eggleton, 2017). Une variation combinée de la température et de la salinité des océans réduirait la densité des eaux de surface et augmenterait la stratification verticale (Sarmiento *et al.*, 2004). La stratification verticale est la superposition des couches d'eau. Une stratification plus importante a pour conséquence immédiate la diminution des échanges entre les eaux de surface et les eaux profondes (Burkett et Davidson, 2012).

1.1.3. Le niveau d'oxygène dissout

Une autre conséquence du changement climatique est la diminution de la solubilité de l'oxygène dans les eaux. Les scientifiques ont constaté que dans presque tous les océans du monde les concentrations en oxygène dissout deviennent de moins en moins importantes et le nombre de zones à oxygène minimum (ZOM) a augmenté depuis 1960 (GIEC, 2013). Les zones à oxygène minimum sont des zones hypoxiques caractérisées par un faible taux d'oxygénation qui rend difficile ou impossible la survie des organismes marins. Selon Keeling, Kortzinger, et Gruber (2010) l'oxygénation des océans a diminué de 5% au cours des dernières décennies.

Cependant la désoxygénation des océans reste très peu étudiée. À l'heure actuelle, les observations permettent d'affirmer la progression du phénomène, mais les études n'arrivent pas encore à identifier clairement leurs causes réelles. Même si Garcia *et al.* (2005) trouvent qu'il y'a une corrélation inverse entre la température de l'eau et sa concentration en oxygène, le

réchauffement des eaux ne constituerait pas la seule cause naturelle de l'hypoxie. En effet dans des régions comme l'océan Pacifique Nord la présence des ZOM serait associée à la stratification accrue de la colonne d'eau (Keeling *et al.*, 2010). La stratification empêcherait les eaux chaudes de surfaces moins denses de diffuser l'oxygène dans les couches profondes (MPO, 2012). Dans d'autres régions, c'est la respiration des organismes aquatiques, poissons et invertébrés, mais aussi des bactéries et des algues toxiques qui réduiraient les concentrations d'oxygène dans les eaux profondes (Gilbert *et al.*, 2005).

Les études sur l'impact futur du changement climatique sur la désoxygénation des eaux étant très récentes, une grande incertitude réside encore dans les modèles de projections, mais elles s'entendent presque toutes sur une diminution future des niveaux d'oxygène (augmentation des zones hypoxiques). Selon le rapport de la FAO (2018) il y aurait une augmentation de 10 à 30% du volume des zones à oxygène minimum d'ici 2100 (Barange *et al.*, 2018).

1.1.4. L'acidification

Chaque jour, une quantité importante de CO₂ est rejetée dans l'atmosphère. Ce CO₂ provenant notamment des activités humaines (combustion des industries fossiles, changements d'utilisation des terres, ainsi que la déforestation), ne reste pas dans l'atmosphère. Ce dernier étant en constant échange gazeux avec les océans, une grande partie de CO₂ est absorbée par les océans (Curran et Azetsu-Scott, 2013). Ainsi au cours des deux derniers siècles, les océans ont absorbé près de 25% du dioxyde de carbone atmosphérique (Sabine *et al.*, 2004). Avec l'industrialisation, la concentration en CO₂ dans l'atmosphère ne cesse d'augmenter, et cela à un taux rapide jamais observé (Doney *et al.*, 2009). Les océans se retrouvent ainsi à emmagasiner plus de CO₂ (Sabine *et al.*, 2004). Selon le GIEC (2013) les océans absorbent actuellement près de 30% du CO₂ anthropique entraînant ainsi une acidification de l'eau (Doney *et al.*, 2009). Comme son nom l'indique, l'acidification traduit un état des océans plus acide causé par la dissolution du CO₂ dans les eaux marines. En effet, le surplus de CO₂ dissout dans l'eau entraîne une augmentation de la concentration d'ions d'hydrogène (H⁺) et une diminution de la concentration des minéraux de carbonate de calcium. Il s'en suit une baisse du pH de l'eau (Roessig *et al.*, 2004). Selon Hoegh-Guldberg et Bruno (2010) la valeur du pH de la surface des océans n'a cessé de baisser de 0.02 unité par décennie entre 1980 et 2010, passant ainsi de 8.2 à 8.1 soit une diminution de 0.1 unité

de pH depuis la période préindustrielle (1870). Même si le niveau d'acidité de l'eau varie naturellement, ce taux de diminution a été 100 fois plus rapide qu'à tout autre moment au cours des 100 000 dernières années (Dulvy *et al.*, 2010).

Il ressort des différents travaux, que l'acidification des eaux diffère selon les régions climatiques. En effet le taux d'absorption du CO₂ étant 50% supérieur dans les eaux froides que dans les eaux chaudes (Olafsson *et al.*, 2009), les variations du pH seraient plus importantes dans les hautes latitudes que dans les régions subtropicales (Doney *et al.*, 2009). De même, du fait des remontées d'eaux froides, et d'autres phénomènes comme les apports d'eau douce, les régimes d'upwelling, etc., l'acidification serait plus accentuée dans les eaux côtières qu'en haute mer (Feely *et al.*, 2008; OCDE, 2017).

Les projections du GIEC (2013) indiquent qu'au taux actuel d'émissions de CO₂ dans l'atmosphère, le changement climatique amplifiera la concentration du CO₂ dans les eaux de surface. Tous les scénarios de RCP prévoient une hausse du taux de CO₂. Celui-ci pourrait augmenter de près de 60 % d'ici 2100 ce qui rendrait les eaux de surface océanique 150 % plus acide, et abaisserait le pH de 0.3 à 0.5 unités d'ici la fin du siècle (Caldeira et Wickett, 2003 ; Beaugrand et Goberville, 2010).

1.1.5. Autres impacts du changement climatique sur l'océan

Outre la modification des propriétés physico-chimiques de l'océan, le changement climatique aurait des impacts sur d'autres facteurs environnementaux en lien avec les océans. Ces derniers même s'ils ne menacent pas directement la vie des organismes marins, pourraient néanmoins transformer radicalement l'écosystème marin.

i. La fonte des glaces

L'un des effets certains et visibles du réchauffement climatique serait le déclin des glaciers de la banquise arctique, et des nappes glaciaires (GIEC, 2013). En effet de l'Arctique à l'Antarctique toutes les étendues glaciaires subissent d'énormes pertes de volumes, avec des vitesses de régression de plus en plus rapide à chaque été (Howard *et al.*, 2013). Selon les données de la NASA, la mer arctique a enregistré en 2007 un recul record de plus 2 millions de km². En cette même année, le rapport du GIEC concluait que la glace arctique estivale pourrait totalement

disparaître d'ici la fin du XXI^e siècle (GIEC, 2007). D'autres études (Wang et Overland, 2009; et Zhang, 2010; citées dans Hutchings *et al.*, 2012) ont ramené cette échéance plutôt vers la fin des années 2030. Ce qui ne laisse que peu de doute sur la diminution future des glaciers au courant de ce siècle. Le dernier rapport du GIEC (2013) suggère que le déclin des glaciers aurait d'importantes conséquences sur la circulation océanique et sur le taux de salinité des eaux dans les hautes latitudes.

ii. Le niveau de la mer

Une autre conséquence de la fonte des glaciers associée au changement climatique est l'élévation du niveau de la mer (GIEC, 2013). Ce dernier a augmenté d'au moins 15 cm durant le siècle dernier et continue d'augmenter d'environ 3 cm par an (Eggleton, 2017). Au niveau des projections, les estimations de (Kopp *et al.*, 2014) suggèrent une augmentation moyenne d'ici la fin du siècle de 0,5 m. à 1,2 m sous RCP8,5, de 0,4 m à 0,9 m sous RCP4.5 et de 0,3 m à 0,8 m sous RCP2,6.

iii. Les catastrophes naturelles

Les scientifiques ont constaté que les catastrophes naturelles telles que les cyclones, les tempêtes, et les inondations d'amplitudes extrêmes ont augmenté en fréquence et en intensité durant ces dernières années, notamment dans l'Atlantique Nord (GIEC, 2013). Ces événements extrêmes ayant une forte influence sur les écosystèmes marins seraient aggravés en partie par le réchauffement climatique. En effet les températures atmosphériques et océaniques plus chaudes fournissent plus d'énergie aux ouragans, créant ainsi plus de dégâts (Brzeski, 2011). Selon les projections les catastrophes naturelles qui apparaissaient une fois par siècle pourraient apparaître une fois tous les 10 ans à partir de 2055 (Brzeski, 2011).

En se basant sur la théorie, les observations et leurs modélisations, il a été possible pour les scientifiques de dégager un lien de causalité entre l'évolution du climat et la modification de plusieurs propriétés physico-chimiques des océans. Les résultats de ces travaux empiriques ont permis de soutenir plusieurs études biologiques. Ces dernières à leurs tours ont tenté de déterminer les principales réponses biologiques des organismes marins à la suite des changements dans les écosystèmes océaniques établissant ainsi un lien entre le changement climatique et le processus biologique des organismes marins.

1.2. LES RÉPONSES DES ORGANISMES MARINS AUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La plupart des organismes marins notamment les poissons et les invertébrés sont dits poïkilothermes ou ectothermes, c'est-à-dire qu'ils sont incapables de réguler leur température corporelle. Par conséquent toute modification de leur milieu naturel pourrait influencer leur fonctionnement (Chabot et Guénette, 2013). Le changement climatique par ses impacts sur les facteurs physiques et chimiques tels que la température, les vents, le mélange vertical, la salinité, l'oxygène et l'acidité modifie l'environnement océanique. Ce qui aurait des effets directs et indirects sur les organismes marins (Parmesan, 2006).

Les effets directs affecteraient les fonctions physiologiques telles que le métabolisme, la respiration et auraient des conséquences sur le développement, la reproduction, le comportement et la survie des organismes marins (Brander, 2010). Tandis que les effets indirects englobent les changements dans les écosystèmes et dans les communautés notamment par les interactions du réseau alimentaire et les interactions biologiques (Brander, 2010). Nous allons voir dans la section suivante les principales réponses biologiques des poissons et invertébrés les plus relevées dans la littérature.

1.2.1. Changement de la productivité des organismes marins.

La production primaire constitue la base de la productivité en milieu marin. Elle se fait à partir de la photosynthèse des phytoplanctons, ou planctons végétaux, qui sont de petites plantes errantes à la surface des eaux. Les phytoplanctons ne se multiplient qu'en présence de lumière et leur croissance dépend largement de la quantité d'hydrogène, d'oxygène, de carbone et d'azote présente dans l'eau (Beaugrand et Goberville, 2010). La production primaire consiste à un transfert d'énergie entre le plus bas niveau du réseau trophique (communauté planctonique) et les groupes trophiques supérieurs appelés producteurs secondaires (invertébrés, poissons, etc.). Elle n'est possible que grâce à la présence dans l'eau d'éléments nutritifs tels que le nitrate, le phosphate et le silicate, etc. (White et Johns, 1997).

De nombreuses études mettent en évidence l'altération de la production primaire due au réchauffement climatique et à la circulation océanique (Griffis et Howard, 2013). En effet en entraînant une stratification plus importante de la colonne d'eau, le réchauffement limiterait l'apport d'éléments nutritifs aux organismes qui en dépendent, réduisant ainsi la productivité des eaux de surface (Brzeski, 2011).

La modification dans l'intensité de la production primaire dans une zone donnée influencerait la production, l'abondance et la distribution des autres espèces qui y vivent notamment les poissons et les invertébrés (Beaugrand, 2014). D'autres effets peuvent aussi être mis en évidence en faisant un rapprochement entre la phénologie des organismes marins (reproduction, mue, migration) et la production primaire (Dulvy *et al.*, 2010). En effet le réchauffement modifierait le calendrier biologique de certains organismes, notamment leur période de reproduction de telle sorte que cette dernière sera en déphasage avec les pics de production planctonique (Durant *et al.*, 2007). Les conséquences d'un tel évènement risqueraient de compromettre la survie des larves qui seront ainsi privées de nourritures suffisantes et appropriées (Cushing, 1982; Cushing, Kinne, et Costlow, 1996).

Pour mettre en évidence la variation de la production primaire nette, certaines études se basent sur les observations satellitaires des concentrations en chlorophylle (Pawlowski, 2004). La chlorophylle constitue une mesure de la biomasse phytoplanctonique qui enregistre les changements dans la pigmentation intracellulaire résultant des réponses physiologiques induites par la lumière et par les nutriments (Cheung et Pauly, 2016). Cependant même si les observations satellitaires révèlent une corrélation inverse entre les températures de surface de la mer et les concentrations de chlorophylle océanique (Dulvy *et al.*, 2010) ils ne permettent pas de dégager une conclusion générale sur le sens de la relation entre le changement climatique et la production primaire. Nous avons retrouvé dans la littérature empirique des résultats contradictoires dans l'évolution mondiale de la production primaire. En effet, les analyses de Boyce, Lewis, et Worm (2010) révèlent une diminution considérable de la biomasse mondiale de phytoplancton durant ces 50 dernières années, tandis que l'étude de Chavez, Messié, et Pennington (2011) l'année suivante suggérait le contraire, à savoir une augmentation globale de la productivité primaire durant ces dernières décennies. Ces contradictions laissent percevoir une incompréhension dans l'ampleur des effets du changement climatique sur la production primaire.

À travers notre revue de la littérature, nous nous sommes aperçus que cet aspect des effets du changement climatique sur les communautés planctoniques, à la base de la productivité marine, n'était pas assez clairement établi. Il serait donc impératif d'effectuer des recherches plus avancées pour la compréhension des relations entre le changement climatique et la production primaire afin de pouvoir prédire avec exactitudes les impacts qui en découleront sur la productivité des niveaux trophiques supérieurs (Burkett et Davidson, 2012). Ceci est d'autant plus important que toute modification future de la production primaire affectera la productivité des organismes marins (Sumaila *et al.*, 2011). À l'instar des mesures empiriques sur l'évolution passée de la production primaire, il existe encore beaucoup d'incertitudes sur leurs projections. Si Kwiatkowski *et al.*, (2017) estiment que la production primaire marine mondiale devrait diminuer de 3% à 6% d'ici à 2100, l'étude comparative de Sarmiento *et al.* (2004) suggère que la production primaire pourrait augmenter entre 0,7% et 8,1% d'ici 2050.

1.2.2. Modification du fonctionnement des organismes marins

Nous avons relevé dans la littérature théorique et empirique (provenant notamment de résultats d'expériences scientifiques en laboratoire) plusieurs effets directs du changement climatique sur la physiologie, la croissance, la reproduction, et le comportement des organismes marins. Ces effets peuvent être bénéfiques (ou néfastes selon l'espèce) pour les organismes et dépendraient de la durée, de la fréquence et de l'exposition au réchauffement des eaux.

À l'instar des animaux terrestres, le fonctionnement optimal des activités biologiques des poissons et invertébrés nécessite des conditions thermiques et chimiques favorables à leurs activités métaboliques. Dans leur intervalle de température favorable et en présence de nutriments nécessaires, toute augmentation de la température pourrait être bénéfique à l'activité biologique des organismes marins (Chabot et Guénette, 2013). Ainsi les larves qui auraient survécu, verraient leur taux de croissance s'accélérer et arriveraient en maturité plus vite (Helmuth *et al.*, 2013). En dehors de cet intervalle, les variations de température non létales créent un stress thermique chez les organismes marins et les conduisent à adopter des réactions comportementales, morphologiques, physiologiques et biochimiques afin de s'adapter à la température de l'eau (Griffis et Howard, 2013). Ce stress thermique accélère la respiration des organismes, ce qui augmente leur besoin énergétique (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999). Pour

satisfaire ces besoins, les organismes détournent l'énergie des autres activités métaboliques tels que la croissance, le potentiel reproductif (Dulvy *et al.*, 2010), et limitent aussi leur besoin en oxygène (Pörtner *et al.*, 2001). Toutefois cette adaptation n'est possible que si la variation thermique est non létale (Barange et Perry, 2009).

De même, les variations dans les propriétés chimiques de l'eau pourraient aussi entraver certaines activités métaboliques des organismes marins si elles ne sont pas à des niveaux létaux. Ainsi une exposition à une eau hypoxique pourrait réduire la capacité des organismes à extraire l'oxygène de l'eau, ce qui rendrait difficile leur respiration et limiterait leur taux de croissance (Chabot et Guénette, 2013). De plus l'exposition à l'hypoxie limiterait la locomotion des organismes ce qui a pour conséquence d'inhiber les comportements d'évitement des proies et de réduire la capacité des prédateurs à attraper leurs proies (Chabot et Claireaux, 2008). Le long de la côte de l'Oregon, par exemple, des épisodes de faible teneur en oxygène ont causé la mort de poissons et de crabes au fond des océans au cours des dernières années, événements qui n'avaient pas été observés au siècle précédent (MPO, 2011; cité dans Hutchings *et al.*, 2012). Ces mêmes conséquences peuvent être aussi causées par une acidité accrue de l'eau. Cette dernière entraînerait une augmentation des taux de CO₂ dans l'organisme des poissons ce qui nuirait à leur métabolisme (Curran et Azetsu-Scott, 2013). De même l'acidification fragiliserait les coquilles des organismes qui produisent leurs coquilles à partir du carbonate de calcium (Doney *et al.*, 2009). Récemment des études ont montré que l'acidité altérerait aussi la qualité des crustacées et des mollusques (Dupont *et al.*, 2014).

Au niveau des projections les scientifiques prévoient comme autre effet direct du changement climatique, un rétrécissement de la taille des poissons et des invertébrés. Ces derniers connaîtraient une diminution importante de leur taille corporelle maximale à leur première maturité (Gardner *et al.*, 2011; Cheung *et al.*, 2013). L'étude menée par Cheung *et al.* (2013) sur les réponses biologiques de plus de 600 espèces suggèrent que le poids maximum des poissons devrait diminuer de 14 à 24% en moyenne entre 2000 et 2050. Les auteurs expliquent ce phénomène par « la théorie de la limitation de l'oxygène des branchies ». En effet selon Pauly (1997) la surface des branchies des poissons limiterait leur approvisionnement en oxygène, par conséquent la taille des branchies détermine toute chose étant égale par ailleurs la croissance des poissons. Ainsi le ralentissement de la croissance individuelle des poissons constitue une réponse

physiologique à la diminution de la concentration en oxygène dissout dans l'eau (Cheung et Pauly, 2016). Dans une étude plus récente, Pauly et Cheung (2018) ont mis à jour ces estimations suggérant une diminution de 20 à 30% de la taille des poissons si les températures continuaient à grimper. Cette diminution de la taille des poissons et des invertébrés pourrait augmenter leur taux de mortalité naturelle (Anderson *et al.*, 2008; OCDE, 2017) et leur taux de prédation (Fabry *et al.*, 2008).

Comme précisé au début de cette section, l'habitat des organismes marins est défini par une gamme de conditions thermiques en dehors de laquelle toute variation pourrait leur être fatale. Ainsi leur survie face à l'évolution climatique dépendra notamment de leur capacité à s'adapter ou à se déplacer vers des habitats plus favorables (Roessig *et al.*, 2004).

1.2.3. Changement de la distribution et de l'abondance des espèces

Face au changement climatique, l'une des réponses biologiques des organismes marins les plus fréquentes et les plus observées dans la littérature est la modification de leur distribution spatiale et cela à tous les niveaux trophiques (Cheung, Lam, et Pauly, 2008; Cheung *et al.*, 2009; Cheung *et al.*, 2010; Pörtner et Knust, 2007; Poloczanska *et al.*, 2013). À travers tous les océans du monde les scientifiques ont noté plusieurs migrations d'espèces marines en raison du réchauffement des eaux (Beaugrand *et al.*, 2002). Selon les espèces ces déplacements se font en latitude et/ou en profondeur (Cheung, Watson, et Pauly, 2013). Plusieurs exemples de ces migrations climatiques peuvent être cités.

Ce sont Parmesan et Yohe (2003) qui ont pour la première fois mis en évidence le changement de la distribution des organismes marins, des zones tempérées vers les pôles, à la suite du réchauffement des eaux (Beaugrand et Goberville, 2010). En étudiant la distribution spatiale de 36 espèces de poissons démersales entre 1977 et 2001, Perry *et al.*, (2005) ont constaté un déplacement en latitude pour 15 d'entre eux en raison du réchauffement des eaux de la mer du Nord. Dans la même zone, Dulvy *et al.* (2008) ont noté un déplacement en profondeur de 3.6 m par décennie des poissons démersaux depuis 1981. Sur les côtes de l'Atlantique Nord-Ouest c'est plus de 70% des espèces marines qui se sont déplacées vers le nord entre 1968 et 2007 (Bourduas Crouhen, Siron, et Blondot, 2017). Au niveau de l'Atlantique-Est, une migration très rapide des

zooplanctons des eaux chaudes du golfe de Gascogne vers les latitudes plus fraîches des côtes islandaises a été observée, pendant que d'autres espèces tropicales faisaient leur apparition dans le golfe du Gascogne (Beaugrand et Goberville, 2010). Sur le littoral Atlantique américain Nye *et al.*, (2009) ont constaté un déplacement vers les pôles d'un nombre important d'espèces de poissons expliqué par le réchauffement des eaux. Dans le Pacifique Nord-Est, Weatherdon *et al.*, (2016) ont projeté les distributions futures de 98 espèces de poissons et d'invertébrés d'importance commerciale pour les premières nations. Leurs résultats suggèrent un déplacement futur de ces espèces vers les pôles; ces déplacements se feraient d'ici 2050 sur une distance de 10.3 km par décennie pour un scénario de faibles émissions à 18 km pour un scénario de fortes émissions.

Notons aussi que même si la plupart de ces déplacements s'expliquent par une augmentation de la température des eaux, il n'est pas exclu qu'une baisse extrême de la température puisse être à l'origine d'une modification de la distribution. En effet, entre 1986 et 1996 les températures extrêmement froides de la couche intermédiaire ont attiré les espèces arctiques et boréales jusqu'au sud du golfe du Saint-Laurent (MPO, 2012) et auraient entraîné par la même occasion le déclin de la morue (Drinkwater, 2002; Parsons, 2010).

Ces changements dans la distribution qui se font sur plusieurs kilomètres, entre 30 et 130 km (Quante et Colijn, 2016), modifient déjà la composition et la biodiversité de plusieurs zones économiques exclusives. Les projections selon les futurs scénarios climatiques vont dans le même sens. En effet, au niveau des projections, les modélisations effectuées à l'échelle mondiale par Cheung *et al.* (2009) montrent une redistribution future de plusieurs espèces de poissons et d'invertébrés à cause du changement climatique. À l'aide d'un modèle d'enveloppe bioclimatique dynamique (DBEM) les auteurs ont pu projeter les distributions futures de plus de 1 066 espèces commercialement importantes au niveau mondial. Leurs résultats suggèrent un déplacement global de ces espèces vers les latitudes plus élevées et vers des eaux plus profondes.

- **Le modèle d'enveloppe bioclimatique dynamique**

Les modèles d'enveloppe bioclimatique permettent de projeter, sous différents scénarios climatiques, la répartition d'une espèce donnée en tenant compte des préférences dans les conditions physiques et biologiques de l'espèce (Cheung *et al.*, 2009). Ils ont déjà été utilisés dans le passé pour prédire les effets potentiels des changements climatiques sur la répartition naturelle des espèces terrestres (Pearson et Dawson, 2003; Peterson *et al.*, 2002).

Cheung *et al.* (2008; 2009; 2010) ont apporté une contribution majeure aux modèles d'enveloppe bioclimatique en y incluant la dynamique dans la dispersion et la croissance des espèces marines commercialement importantes. Le modèle d'enveloppe bioclimatique dynamique (DBEM) qu'ils ont conçu permet ainsi de simuler comment les changements climatiques affectent la distribution, l'abondance et les captures de chaque espèce. En d'autres termes il permet une évaluation quantitative des impacts du changement climatique sur les biomasses de poissons et d'invertébrés marins.

Plusieurs composantes entrent dans la modélisation DBEM notamment : les changements de température des eaux de mer (en surface et en profondeur), la concentration en oxygène (représentée par la concentration en O₂ en surface et en profondeur), la salinité, le pH (représenté par la concentration en ions hydrogène H⁺), ainsi que d'autres variables telles que la configuration des courants océaniques, l'étendue de la glace de mer, la productivité primaire nette, la croissance et la distribution passée des poissons et des invertébrés marins (Cheung *et al.*, 2009; 2010; Cheung, Watson et Pauly, 2013).

Afin de tester la viabilité et la robustesse de la modélisation DBEM, des comparaisons ont été effectuées, d'une part entre la simulation des distributions antérieures et les observations des changements historiques (Cheung, Watson et Pauly, 2013) et d'autre part avec d'autres modèles d'enveloppe bioclimatique qui projettent la distribution des espèces notamment les modèles AquaMaps et Maxent (Jones *et al.*, 2012). Les résultats de ces comparaisons permettent de valider la modélisation DBEM et confirment la robustesse de ce modèle dans la projection des distributions futures (Cheung, Watson et Pauly, 2013).

Toutefois les modèles DBEM présentent plusieurs incertitudes structurelles (Cheung *et al.*, 2009). D'abord, l'une des hypothèses du modèle qui stipule que les distributions actuelles des espèces reflètent leurs préférences environnementales est réfutée par plusieurs auteurs (Quante et Colijn, 2016). Ensuite ces modèles omettent les effets des interactions biologiques entre les espèces. Fernandes *et al.* (2013) ont palier à cette limite en intégrant, dans une version améliorée du modèle DBEM, la modélisation des interactions trophiques entre les espèces. Enfin les modèles DBEM n'intègrent pas les changements dans l'évolution des espèces (Cheung *et al.*, 2009) or les observations du passé montrent que certaines espèces ont une grande capacité d'adaptation face aux changements qui affectent leur habitat naturel.

Outre la modélisation DBEM, d'autres approches sont utilisées pour prédire la distribution future des poissons et invertébrés. Parmi ces modèles nous pouvons citer les modèles additifs généralisés (GAM) (Rutterford *et al.*, 2015), le modèle de niche écologique probabiliste non paramétrique (NPPEN) (Beaugrand *et al.*, 2011; Lenoir, 2011) qui permet juste de cartographier les répartitions spatiales futures des espèces marine (Quante et Colijn, 2016). Cependant, comme pour les modèles climatiques, ces modèles utilisent des résolutions relativement grossières (larges échelles), il serait donc nécessaire pour ces modèles de réduire l'échelle régionale de leur modélisation afin d'obtenir des prévisions précises des changements océaniques.

1.2.4. Autres impacts sur les organismes marins

Le changement climatique ne constitue pas la seule menace qui pèserait sur les organismes marins. Même si cela ne constitue pas l'objet de ce travail, il serait tout autant utile de mentionner les autres¹ effets anthropiques ayant des impacts sur les organismes marins, tels que la surexploitation des ressources halieutiques et l'invasion des espèces envahissantes. Nous allons brièvement montrer comment ces effets mettent en péril la viabilité des organismes marins en exacerbant les impacts du changement climatique.

i. Effets biologiques de la surexploitation

La FAO considère qu'un stock est biologiquement surexploité lorsqu'il est réduit à un niveau d'abondance inférieur au rendement maximal durable (FAO, 2016). En 2013, 31.5% des stocks mondiaux, toutes espèces confondues, étaient surexploités (FAO, 2016). Cette surexploitation crée une pression supplémentaire sur les stocks. Elle affecte non seulement les caractéristiques biologiques des espèces et des communautés, mais aussi modifie la structure des écosystèmes marins (OCDE, 2017). Les impacts sur les espèces surexploitées se traduisent par une modification de leur capacité à se reproduire, une réduction de l'âge et de la taille à la maturité, et un ralentissement de leur taux de croissance (Hutchings, 2005). Au niveau des communautés les effets de la surpêche se reflètent par une réduction du potentiel de rétablissement des stocks après épuisement (Hutchings et Baum, 2005). Les espèces surexploitées dans un écosystème donné

¹ Le changement climatique est aussi considéré comme un effet anthropique avec l'impact des activités anthropiques sur le renforcement des gaz à effet de serre.

perdraient leur prédominance au niveau de cet écosystème et seraient remplacées par d'autres espèces (OCDE, 2017). Ces effets de la surpêche sur les organismes marins augmentent la sensibilité de ces derniers face aux impacts du changement climatique (Brander, 2005).

L'exploitation de la morue (*Gadus morhua*) dans l'Atlantique Nord-Ouest durant la deuxième moitié du 20^e siècle constitue un exemple édifiant sur les conséquences de la surpêche. En effet comme le montre l'étude de Hutchings (2005) la surpêche de la morue a entraîné une réduction de l'âge à la maturité des morues qui est passée de 6 à 4 ans ainsi qu'une réduction de leur poids et de leur taille. De même le stock de morue a eu du mal à se rétablir à son niveau d'avant ce qui implique aujourd'hui une prédominance des crustacés depuis 1990. Outre la surexploitation, les technologies de pêche peuvent aussi avoir des incidences directes sur l'abondance des organismes marins (Beaugrand, 2014). Dans les côtes sud du littoral sénégalais, la pêche au dynamitage constitue l'une des premières causes de la diminution de l'abondance des ressources halieutiques.

ii. Effets biologiques des espèces envahissantes

Les activités anthropiques exercées sur le milieu marin telles que la pollution agricole et le déversement des eaux usées non traitées accélèrent le phénomène d'eutrophisation. L'eutrophisation de l'eau dégrade la vie marine en rendant le milieu aquatique propice à la prolifération d'espèces envahissantes (Stachowicz *et al.*, 2002) telles que la végétation aquatique et les algues toxiques (Warren et Lemmen, 2004). Cette végétation entre directement en compétition avec les autres espèces natives en les privant d'oxygène et de nourriture, ce qui perturberait la composition du milieu (Dale, 2009; Hallegraeff, 2010). En parallèle, l'exposition aux toxines libérées par les algues peut menacer l'abondance des organismes marins par la détérioration de leurs habitats, et la modification de leurs comportements et de leur mode de reproduction (Warren et Lemmen, 2004). Le transport maritime constituerait aussi une autre source de dispersion des espèces envahissantes. La prolifération de ces espèces envahissantes a mené à un déclin de la population de perchaude entre 2002 et 2013 au niveau du Lac Saint-Pierre (Groupe de travail suivi de l'état du Saint-Laurent, 2014).

À côté de ces activités anthropiques, le réchauffement des eaux associé à d'autres effets naturels tels que les catastrophes naturelles, les précipitations et les maladies peuvent induire diverses réponses pouvant affecter les caractéristiques biologiques des poissons et invertébrés (Beaugrand, 2014).

Évaluer les impacts du changement climatique sur les océans ainsi que les réponses des organismes marins notamment les poissons et les invertébrés permettent aux scientifiques de projeter de manière exacte les distributions futures de ces espèces. Cela laisse un aperçu sur les taux de captures futurs et les modifications socioéconomiques qu'ils impliqueraient pour les pêcheurs et les communautés côtières. Dans la prochaine section, nous allons montrer comment le changement climatique en déplaçant l'aire de répartition des poissons et invertébrés, et en modifiant leur croissance et leur abondance pourrait affecter les rendements de l'industrie de la pêche particulièrement l'industrie de capture et les effets socioéconomiques qui pourraient en découler.

1.3. IMPACTS ÉCONOMIQUES POTENTIELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'INDUSTRIE DE LA PÊCHE COMMERCIALE

L'industrie de pêche joue un rôle important dans plusieurs économies insulaires et côtières. Elle satisfait non seulement les besoins alimentaires de plusieurs communautés, mais apporte aussi une contribution notable à la création d'emplois et de revenus. L'industrie de pêche à laquelle nous nous intéressons dans ce travail concerne particulièrement les captures marines. Les changements projetés dans la distribution et l'abondance des stocks de poissons commerciaux modifieraient la répartition des avantages et des coûts de la pêche (Hanna, 2010). En d'autres termes le changement climatique entraînerait des perdants et des gagnants dans l'industrie selon l'espèce ou la zone de pêche.

Dans la littérature scientifique comme dans la littérature grise, des auteurs tels que Roessig *et al.* (2004) et Sumaila *et al.* (2011) se sont basés sur des événements comme ENSO pour décrire les effets économiques du changement climatique sur l'industrie de capture. Ces effets se mesurent à travers la variation des coûts et des revenus de la pêche, mais aussi par le nombre d'emplois que fournit l'industrie. Cependant les études empiriques projetant les pertes et gains monétaires réels sont encore rares, la plupart démontrent juste une direction des variations. Néanmoins il reste

primordial pour les autorités de comprendre comment le changement climatique serait susceptible de modifier les revenus de leur industrie de pêche nationale s'ils souhaitent mettre au point des politiques socio-économiques efficaces permettant d'atténuer les effets du changement climatique ou de s'y adapter (Lam *et al.*, 2016a). Dans les sections suivantes, nous décrivons comment le changement climatique affecte le potentiel économique de l'industrie de capture.

1.3.1. Les effets économiques potentiels du changement climatique sur l'industrie de la pêche

L'industrie de la pêche est l'industrie de production alimentaire la plus touchée par la variabilité climatique dans le sens où ce dernier modifie directement la production (Laevastu, 1993). Comme toutes les industries, les effets économiques qui en découlent peuvent être mesurés par la valeur des impacts sur les biens et les services marchands, mais aussi non marchands tels que les services écosystémiques. Dans le secteur de la capture, la plupart des études se limitent aux impacts sur les biens marchands. Elles évaluent l'impact économique du changement climatique sur les activités de pêche en utilisant des modèles économétriques et/ou des modèles bioéconomiques. Leur méthodologie consiste à simuler, selon un scénario climatique définie au préalable, la dynamique naturelle de la biomasse de l'espèce étudiée et ensuite déterminer les coûts et les avantages futurs correspondant à ces niveaux de captures potentielles. Cette méthodologie peut aisément s'expliquer avec l'équation de la fonction de production du modèle de ressource renouvelable (Monette, 1986).

$$X = f[EF, ST, t]$$

Où

X : est la quantité pêchée

EF : l'indice de l'effort de pêche (quantités d'intrants de la production en travail et en capital, peut inclure le nombre d'équipage et de jours de pêche, la quantité de carburant utilisé, la quantité d'appât, etc.)

ST : le stock de poissons et d'invertébrés

t : le progrès technique

f : fonction de forme alternative : CES, Cobb-Douglas, Léontieff

À partir de cette équation à la forme bioéconomique plusieurs approches ont été élaborées pour décrire et prédire l'impact économique du changement climatique sur l'industrie de la pêche. L'utilisation du modèle bioéconomique est intéressante en ce sens qu'il associe la dynamique biologique des stocks de poissons (ST) avec la dynamique économique de la pêche (EF). Ceci permet de capter d'une part la variation des stocks, de déterminer l'offre de produit, et d'autre part la variation des coûts de production et implicitement le niveau de revenu futur. Selon Collins, Stapleton, et Whitmarsh (1998), le revenu des pêcheurs (ou la rente de la ressource) pourrait être défini comme la différence entre la valeur des captures de poisson et les coûts d'opportunités du travail et du capital pour la produire. Cependant l'utilisation de la modélisation bioéconomique reste limitée à cause notamment des hypothèses utilisées qui ne reflètent pas souvent la réalité (linéarité des prix, comportement homogène des pêcheurs, etc.). Néanmoins il permettrait de bien mettre en évidence les effets du changement climatique sur les volumes de débarquement et ses répercussions sur les revenus des pêcheurs.

En introduisant dans l'équation de la fonction de production le facteur climatique (SST : température à la surface de la mer) comme variable additionnelle explicative Garza-Gil *et al.* (2011) ont utilisé ce type de modèle bioéconomique pour analyser les effets économiques du réchauffement des eaux sur la pêche aux Anchois dans le nord-ouest de l'Espagne. Cette approche leur a permis de mesurer les taux de capture d'Anchois en fonction des scénarios de variation future de la température des eaux. Le résultat de leur étude suggère que l'augmentation de la température des eaux entraînerait une diminution des captures et des bénéfices moyens réalisés dans la pêche aux anchois.

Lam *et al.* (2016a) ont quant à eux utilisé le DBEM pour projeter à l'échelle mondiale le potentiel de capture maximal de 887 espèces de poissons et invertébrés marins d'ici le milieu du XXI^e siècle. Les résultats de leurs modélisations suggèrent que les recettes mondiales de la pêche pourraient chuter de 10,4% (\pm 4,2%) d'ici 2050 (par rapport à 2000) dans un scénario de fortes émissions (RCP8.5). Toutefois leur étude confirme la disparité des variations des recettes de la pêche selon les régions. Par conséquent certaines communautés s'attendent à une augmentation de leurs revenus de pêches tandis que d'autres verront une nette diminution de leurs profits.

Une revue globale de la littérature nous a permis de relever les principaux éléments à travers lesquelles le changement climatique pourrait modifier les revenus de l'industrie de capture.

i. La variation du revenu de la production

Le changement climatique affectera le revenu brut (valeur des débarquements) des pêcheurs à travers le volume de poissons et invertébrés débarqué (quantité), la valeur de ces produits (qualité) ainsi que leur prix (Sumaila *et al.*, 2011). Selon les auteurs ces trois variables constituent les déterminants du revenu des pêcheurs et toutes modifications se répercuteront sur ce dernier. La variation du revenu des pêches ne sera pas identique partout dans le monde. Les prévisions de Sumaila et Cheung (2010) estiment que les bénéfices sur les valeurs des débarquements de poissons, pour les régions d'Asie centrale et d'Europe s'élèveront à plus de 0.01 G\$ d'ici 2050, tandis que l'Est de l'Asie et le Pacifique enregistreront des pertes de 10.9 milliards \$, et en moindres mesures les pertes s'élèveront à 2.2 milliards \$ en Amérique Latine et dans la région des Caraïbes. Ces disparités s'expliquent d'une part par le fait que les zones de pêches (tropicales ou hautes latitudes) et les espèces exploitées seront déterminant dans la répartition des volumes de capture futurs. Et d'autre part le contexte de la pêche dans chaque région notamment le degré de dépendance de l'économie à la pêche et la disponibilité des produits de substitution influenceront la variation des revenus (Hanna, 2010). En d'autres termes, le revenu des pêcheurs serait d'autant plus affecté par la variation dans les volumes et les valeurs de débarquement lorsque les pêcheurs n'exploitent qu'une seule espèce à haute valeur commerciale.

➤ Modification des volumes de débarquements

Une estimation des volumes de débarquement futurs est possible grâce à la modélisation du potentiel de capture maximal sous différents scénarios climatiques. Considéré comme un proxy du rendement maximal durable des poissons, le potentiel de capture maximal, est obtenu par une simulation de l'exploitation des ressources à un niveau de rendement maximal durable idéal, tout en tenant compte des projections de la productivité de l'écosystème et du changement climatique (Cheung et Pauly, 2016). Dans plusieurs travaux empiriques, les auteurs associent les projections de la production primaire nette à l'abondance et la distribution future des espèces afin de modéliser le rendement maximal durable. Selon les projections de (Cheung *et al.*, 2010) le changement climatique pourrait conduire à une redistribution à grande échelle du potentiel de capture maximale mondiale entre 2005 et 2055 avec une augmentation moyenne de 30 à 70% des captures dans les régions de haute latitude (au nord de 50 ° N dans l'hémisphère nord), et un déclin de 40% au niveau des tropiques.

Des simulations récentes dans les différents ZEE viennent confirmer les conclusions de Cheung *et al.* (2010), à savoir qu'il y aurait des gagnants et des perdants dans les prises futures. Au niveau de l'océan Pacifique Nord les projections de la production primaire nette dans le scénario SRES A2 (RCP6.0 à 8.5) suggèrent que les captures maximales devraient augmenter de 26% tandis qu'elles pourraient diminuer de 38% dans les eaux tempérées et de 15% dans les régions équatoriales (Polovina *et al.*, 2011). Les prises futures augmenteraient très légèrement au niveau de la mer du Nord et seront plus accentuées en Norvège et en Islande (Quante et Colijn, 2016) à l'horizon 2055. Elles diminueraient au niveau du Royaume-Uni d'ici 2050 (Jones et Cheung, 2015). Dans ces études l'utilisation de la modélisation des réponses biologiques reste utile pour obtenir le sens de la direction des changements de la productivité primaire nette, de l'abondance et de la distribution des espèces en réponse au changement climatique. En revanche les estimations quantitatives spécifiques de ces modèles restent très imprécises à cause notamment des modèles climatiques qui les sous-tendent.

➤ **Modification de la valeur des débarquements**

Les revenus de la pêche dépendent non seulement du volume débarqué, mais aussi de la valeur des produits débarqués. Le changement dans la répartition des espèces entraînerait une modification de la composition des captures. Certaines régions pourraient voir l'apparition dans leur ZEE d'espèces à hautes valeurs commerciales (ou d'espèces de moindres valeurs). Dans le passé la baisse exceptionnelle de la température des eaux entre 1991 et 1996 au niveau de la côte Atlantique canadienne a été associée à l'arrivée massive des invertébrés (espèces à hautes valeurs commerciales) et la disparition des poissons de fond (MPO, 2012).

De même, comme nous l'avons vu dans la deuxième section, l'une des réponses biologiques des espèces marines lorsque la distribution ne compense pas complètement les effets du changement climatique serait une diminution de leur taille corporelle. Les poissons et invertébrés sont souvent vendus par tonnage, ainsi une diminution de leur poids impliquerait une diminution de leur valeur. L'exemple souvent cité est la composition des débarquements au niveau de la mer Celtique où les espèces de poissons plus petites et à faible valeur économique ont dominé les captures à la suite du réchauffement des eaux (Pinnegar *et al.*, 2002).

Au Mexique, Ibarra *et al.* (2013) ont utilisé un modèle d'estimation en panel dynamique pour estimer l'impact de la hausse des températures sur la valeur actuelle nette (VAN) des

débarquements de crevettes et de sardines en 2030. Leurs résultats suggèrent que pour chaque augmentation de 1% de la température, la production de crevettes diminuera de 1.1% et la production de sardine augmentera de 4%. L'impact monétaire en VAN est estimé à 1.153 milliards \$ de pertes pour la pêche aux crevettes et 347.9 milliards de gains pour la pêche à la sardine sous le scénario d'une augmentation de la température à limite supérieure (scénario pessimiste), tandis qu'une augmentation à la limite inférieure (scénario pessimiste) entraînera des variations moindres de la VAN estimées à 73.2 millions \$ de pertes pour la pêche aux crevettes et 37.3 millions de gains pour la pêche à la sardine.

Au Royaume-Uni, Fernandes *et al.* (2017) ont utilisé des données d'observations et expérimentales ainsi que des approches théoriques et la modélisation pour quantifier les effets potentiels du réchauffement et de l'acidification des océans sur les captures, les revenus et l'emploi selon différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre. Leur étude estime que la biomasse des stocks devrait diminuer de manière significative d'ici 2050 et le principal facteur de cette diminution serait l'élévation de la température de la surface de la mer. Dans l'ensemble, les pertes de revenus seraient estimées entre 1% et 21% à court terme (2020 à 2050).

ii. La modification des coûts de production

La structure des coûts dans l'industrie de la pêche se compose des coûts variables et des coûts fixes. Ces derniers qui incluent l'achat du bateau, l'achat du ou des permis de pêche, l'assurance du bateau ainsi que les frais administratifs, ne dépendent pas directement des volumes de captures, ce qui fait qu'ils auront tendance à moins varier. En revanche les coûts variables incluant, l'approvisionnement en carburant, en glace, en appâts, et en vivre, de même que les salaires, l'entretien et les réparations du bateau dépendent des quantités débarquées, et toute variation de ces dernières entraîneront forcément une variation des coûts de production. La base de données mondiale élaborée par Lam *et al.* (2011) regroupe tous les coûts associés à l'industrie de capture. Plusieurs effets du changement climatique pourraient altérer la structure des coûts soit à travers des réponses biologiques des espèces marines soit des impacts sur l'effort de pêche.

➤ Coûts variables

Une distinction peut être faite au niveau des coûts variables. Les coûts variables par sortie en mer, tels que le salaire de l'équipage, l'achat de carburant, de nourriture, de glace, d'appât, et d'autres frais liés au volume de débarquements. Et les autres coûts variables notamment les frais de réparation et d'entretien des bateaux qui ne sont pas traités par sortie, mais répartis sur une durée plus longue (Kébé et Horemans, 1998). L'un des effets les plus évidents du changement climatique sur les ressources halieutiques à savoir le déplacement des poissons loin des côtes et vers des eaux plus profondes entraînerait des coûts de sortie en mer plus élevés (Brzeski, 2011).

La pêche compte parmi les activités de production alimentaire les plus énergivores (FAO, 2010). Entre 1990 et 2005 la diminution des prix du carburant a encouragé les flottilles à utiliser des moteurs surpuissants (Gulbrandsen, 2015 ; Hanel et Niosi, 1998). Depuis une dizaine d'années, le prix du carburant ne cesse d'augmenter, influencé entre autres par une offre de pétrole brut limitée à cause de l'absence de nouveaux gisements et une demande croissante tirée surtout par les pays en développement (Gulbrandsen, 2015). Or le déplacement des espèces inciterait les pêcheurs à aller chercher la ressource plus loin en mer ou à y rester plus longtemps. Cela augmenterait certainement les dépenses en carburant, qui constituent selon le type de pêcherie entre 10 et 25% du coût d'exploitation des navires soit le deuxième coût le plus important après la rémunération de l'équipage (Kelleher *et al.*, 2009). Selon Hanna (2010) les coûts de consommation d'énergie constituent les coûts de pêche les plus sensibles aux effets biologiques du changement climatique.

De même, avec des durées de sorties en mer plus longues, les pêcheurs seront obligés d'augmenter non seulement leurs dépenses en nourriture, mais aussi la quantité de glace à emporter. Un volume de glace plus important sera nécessaire pour conserver les captures, à cause d'un temps de voyage plus long, mais aussi le réchauffement aura tendance à altérer les produits plus rapidement. Ces dépenses peuvent devenir ainsi des coûts non négligeables lors des sorties en mer.

Une grande partie des producteurs utilisent leurs prises accessoires comme appâts. Ce sont en général des espèces moins commercialisées ou à faible valeur économique comme le hareng, le maquereau (Brzeski, 2011). Or ces derniers ne sont pas épargnés par les effets du changement climatique. Ainsi pour avoir la quantité d'appâts nécessaire, les pêcheurs seraient obligés d'en

importer. Les frais de transport et de réfrigération des appâts viendront accroître le prix de ces derniers qui ne cesse aussi d'augmenter par rapport à leur valeur d'il y a une dizaine d'années (Brzeski, 2011).

Un autre effet du réchauffement sur les coûts variables réside au niveau du coût de rémunération de l'effort de pêche. Ce coût est le plus important dans le secteur de la capture et peut représenter jusqu'à 50% des coûts d'exploitation. Dans certaines flottilles l'équipage est rémunéré en fonction du volume de débarquement. Le changement dans l'abondance des espèces, résultant du changement climatique, pourrait modifier les niveaux de rémunération de l'équipage. En fonction de l'effet du changement climatique sur l'abondance de l'espèce cible, les dépenses en salaire seraient ainsi plus ou moins élevées. Enfin avec l'augmentation de la fréquence des ondes de tempêtes et autres catastrophes naturelles les frais d'entretien et de réparation des navires, qui représentent 5 à 10% des coûts d'exploitation (Kelleher *et al.*, 2009), pourraient accroître les coûts variables.

➤ **Coûts fixes**

Dans les coûts fixes nous distinguons deux composantes : les coûts en capital (5 à 25%, (Kelleher *et al.*, 2009) constitués du coût d'amortissement et du coût d'intérêt sur le capital emprunté ; et les coûts liés à des services indépendants du niveau d'activité tels que l'acquisition du navire des engins et du moteur de pêche, l'assurance de ces équipements, ainsi que les licences de pêche (Kébé et Horemans, 1998). Ces coûts fixes, même s'ils ne varient pas en fonction des volumes de captures peuvent être modifiés sous l'influence du changement climatique. En effet avec un déplacement des poissons d'une zone à une autre, les pêcheurs seraient amenés à changer leurs technologies de récoltes (Yazdi et Shakouri, 2010). Cela impliquerait de changer leurs embarcations ou à les équiper avec de nouvelles installations afin de suivre la ressource ou de changer l'espèce exploitée (Grafton, Hilborn, et Squires, 2010). Durant la période El Nino entre 1997 et 1998 les pêcheurs péruviens ont modifié leurs types d'engins de pêche afin de s'adapter à de nouvelles prises (Roessig *et al.*, 2004). Ces changements dans les espèces cibles entraîneraient aussi des dépenses afin d'acquérir de nouveaux permis de pêche.

De même la recrudescence des événements extrêmes (cyclones et tempêtes) pourrait amener les institutions financières à augmenter les montants d'assurance des bateaux (Hanna,

2010) ce qui constituerait des coûts supplémentaires pour les pêcheurs. D'autres frais jusque-là absents des coûts d'exploitation des pêcheurs pourraient apparaître, notamment la taxe carbone pour compenser les émissions de gaz à effet de serre à cause de la surconsommation de carburant (Hanna, 2010).

iii. La modification des prix

Comme tous les biens marchands, la variation des prix de poissons est influencée par l'interaction entre l'offre et la demande du marché. Une abondance dans le volume des prises à la suite du changement climatique pourrait tirer vers le bas le prix du produit selon les lois de l'offre et de la demande du marché. En 2012 la vague de chaleur dans l'Atlantique Nord-Ouest a entraîné un prolongement de la saison de pêche et une augmentation des débarquements de homards provoquant ainsi un effondrement du prix du produit (Mills *et al.*, 2013). Cependant plusieurs autres paramètres tels que la présence de produits de substitution, la préférence des consommateurs et le développement d'autres secteurs d'approvisionnement comme l'aquaculture pourraient être déterminants sur le prix des produits halieutiques (Lam, Cheung, et Sumaila, 2016b). Signalons toutefois que dans la plupart des études sur les impacts économiques potentiels l'hypothèse des prix constants est souvent utilisée ((Bell *et al.*, 2011; Lam *et al.*, 2012; Armstrong *et al.*, 2012) du fait de la complexité du modèle de projection des prix (Lam *et al.*, 2012). Cependant selon les projections, il faudrait s'attendre à une augmentation du prix des produits halieutique d'ici 2050 (Barange *et al.*, 2018).

Outre les réponses biologiques, d'autres effets du changement climatique peuvent avoir des conséquences sur les volumes de captures futures et implicitement sur le revenu des pêcheurs. L'augmentation de la fréquence des catastrophes naturelles pourrait entraîner la suppression ou la réduction des jours de pêche, ce qui affecterait aussi le niveau de production des pêcheurs (Mahon, 2002).

1.3.2. Les autres effets économiques du changement climatique en lien avec l'industrie de capture

Dans certains pays l'industrie de la pêche est considérée comme « Economic base industrie » (Roy, Arnason, et Schrank, 2009) en ce sens où elle soutient pratiquement toute l'économie du pays. Dans notre revue de la littérature, nous avons rencontré très peu d'études portant sur les effets au niveau des indicateurs macroéconomiques que soutient l'industrie de la pêche. La majeure partie des études se focalise juste sur les impacts microéconomiques, à savoir les effets sur la rente des pêcheurs et le profit des industries de pêche et à des niveaux très locaux (Aaheim et Sygna, 2000; Eide et Heen, 2002; Eide, 2007). Or il serait tout aussi intéressant de mesurer les impacts sur le plan national, car plusieurs indicateurs comme le niveau de l'emploi, les taxes et les subventions de l'État pourraient être modifiés à la suite du réchauffement. Dans la section suivante, nous allons énumérer quelques-uns de ces effets.

i. Marché de l'emploi

Dans plusieurs pays, l'industrie de la pêche constitue le premier employeur dans les régions maritimes. Ceci est d'autant plus vrai pour les pays insulaires et les pays maritimes (Béné, Hersoug, et Allison, 2010). Les statistiques de la FAO montrent que l'industrie de la pêche soutient directement ou indirectement les activités de près de 200 millions de personnes. Cette main d'œuvre est plus concentrée dans les pays en développement où les pêcheries artisanales dominent le secteur de la pêche, tandis qu'elle est relativement plus faible dans les pays industrialisés. Le faible niveau d'emploi du secteur des captures dans les pays développés s'expliquerait non seulement par les investissements dans des équipements de bord économes en main-d'œuvre (Kelleher *et al.*, 2009), mais aussi par le progrès technique dans les méthodes de capture qui nécessite une main-d'œuvre plus qualifiée (Hanna, 2010).

L'effondrement des stocks ou le déplacement de certaines espèces pourrait affecter les opportunités d'emplois dans les différentes industries de pêche pour les communautés qui en dépendent (Hanna, 2010). Par exemple au Royaume-Uni et en Irlande du Nord, Friedland et Hare (2007) estiment que les effets potentiels du réchauffement et de l'acidification des océans pourraient entraîner des pertes d'emplois totaux (pêche et industries associées) de 3 à 20% entre 2020 et 2050. S'il n'est pas évident de trouver un chiffre précis de pertes d'emploi associé au changement climatique, du fait des activités connexes qui dépendent de l'industrie de la pêche

comme la transformation et la commercialisation et ceux qui leur fournissent les intrants, certains auteurs ont tenté quand même de quantifier les pertes d'emploi à la suite d'événements climatiques. Selon Roessig *et al.* (2004), les événements de ENSO au Pérou sont toujours suivis d'une forte hausse du taux de chômage, jusqu'à 100 000 emplois perdus à la suite de l'évènement d'ENSO de 1972- 1973. Pour les auteurs, ces pertes d'emplois temporaires suites aux événements ENSO pourraient devenir permanentes s'il y a une recrudescence de ces événements. De même l'augmentation de l'intensité des catastrophes naturelles associées au changement climatique pourrait décourager les travailleurs à cause des risques élevés et des difficiles conditions de travail. Durant ces dernières années, les intempéries ont causé plus de la moitié des accidents mortels en mer, notamment aux États-Unis, Danemark et au Royaume-Uni (Quante et Colijn, 2016).

Dans les pays industrialisés, ces pêcheurs ayant perdu leur emploi auront plus de mal à être transférés dans un autre secteur dans le sens où il serait difficile pour cette main-d'œuvre très spécialisée de s'intégrer dans d'autres secteurs (Hanna, 2010), ce qui constituerait un vrai casse-tête sur le marché du travail. En restant sans emploi, l'assurance-chômage que l'état leur verse pourrait être considérée aussi comme un des impacts du changement climatique sur le plan macroéconomique.

ii. Revenu national

Les activités de pêches génèrent d'importantes recettes fiscales pour les régions maritimes, mais aussi au niveau national. La plupart de ces recettes proviennent des taxes sur le volume de débarquement des navires. Il est clair donc que toute variation des stocks entrainerait une modification des recettes fiscales. Selon Arnason (2007) à travers les recettes de la pêche, le changement climatique pourrait accroître de 4% et de 40% les PIB respectifs de l'Islande et du Groenland à l'horizon 2054. Au niveau du Royaume-Uni, le réchauffement des eaux entrainerait des pertes économiques estimées à 87 millions de livre d'ici 2050, même si cela représente une faible proportion par rapport au PIB national, la perte devient apparente si on y associe les secteurs connexes (Fernandes *et al.*, 2017).

La modification des volumes de débarquement serait susceptible aussi de changer les courants commerciaux des produits halieutiques. Toujours en fonction de l'orientation des changements certains pays exportateurs pourraient perdre les recettes d'exportation, tandis que d'autres seraient obligés d'en importer pour assurer les besoins du marché. Enfin l'élévation du

niveau de la mer et la recrudescence des catastrophes naturelles pourraient entraîner des dommages matériels au niveau des infrastructures portuaires, et des pertes économiques de 111.6 milliards sont prévues d'ici 2050 (OCDE, 2017). Toutefois la fonte des glaces pourrait ouvrir des voies maritimes et améliorer ainsi le réseau de transports maritimes (Sumaila *et al.*, 2011).

iii. Effets sur les communautés

Dans la plupart des régions côtières, les entreprises de pêche sont souvent des entreprises familiales. Cela sous-entend que les impacts économiques se reflèteront au niveau des ménages. En possession de l'information sur les prévisions de gains ou de perte de revenu, les ménages auraient à faire face à plusieurs choix économiques difficiles (décisions d'investissements, de retrait du marché, etc.). De même la modification de la répartition des ressources (Perry *et al.*, 2005) et les extrêmes climatiques (Herr, 2009) pourraient provoquer un déplacement des communautés de pêcheurs. Ces derniers pourraient se déplacer soit pour suivre la ressource, soit pour être candidat à l'exode en changeant de métier. Plusieurs autres impacts économiques peuvent découler des effets du changement climatique sur la pêche. Notamment les effets économiques indirects sur les industries connexes à l'industrie de captures telles que la transformation et la commercialisation des produits marins, mais aussi et sûrement les impacts sur les services écosystémiques et les services océaniques (Himes-Cornell *et al.*, 2013).

CHAPITRE 2

LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE SECTEUR DE LA PÊCHE DANS L'ESTUAIRE ET LE GOLFE DU SAINT-LAURENT

L'écosystème de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent fait partie de la vaste zone du grand bassin Atlantique. Connues pour leur grande productivité, les eaux du grand bassin Atlantique abritent de nombreuses espèces marines qui soutiennent les pêcheries des régions côtières. Jusqu'en 1990, le secteur était caractérisé par un nombre élevé de pêcheurs et de grandes quantités de poisson de fond dans les débarquements. Aujourd'hui, le visage de la pêche a complètement changé notamment au niveau du golfe du Saint-Laurent. Une combinaison de changements naturels et anthropiques a été notée sur l'écosystème marin du golfe durant ces dernières décennies. Ces changements menaceraient non seulement la productivité des espèces commerciales du golfe, mais affecteraient aussi les revenus de l'industrie de capture.

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, l'utilisation de la modélisation biologique et économique est nécessaire pour quantifier les variations futures dans l'industrie de la pêche dues à l'évolution climatique. À notre niveau, il nous a été difficile de rassembler le matériel ainsi que le personnel nécessaire afin d'effectuer cette modélisation. Toutefois nous allons, comme dans Allison *et al.* (2009) et dans bien d'autres travaux récents sur les impacts régionaux du changement climatique dans l'industrie de la pêche, nous focaliser sur l'analyse de la vulnérabilité de la pêche dans notre zone d'étude.

La vulnérabilité d'un système est le degré auquel il est sensible au changement climatique, et est incapable de faire face à ses effets négatifs (GIEC, 2007). Elle se mesure à l'aide de trois principales variables que sont l'exposition, la sensibilité, et la capacité d'adaptation (Allison *et al.*, 2009). Le degré d'exposition ainsi que le niveau de sensibilité représentent les impacts potentiels sur un système sans pour autant tenir compte de sa capacité d'adaptation. Dans ce chapitre nous allons analyser l'exposition et la sensibilité de l'industrie de la pêche dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent face au changement climatique.

Le chapitre est ainsi divisé en trois grandes sections et est exclusivement consacré à notre zone d'étude. Dans la première section nous allons d'abord définir cette zone d'étude, puis décrire les connaissances actuelles sur la manière dont le changement climatique affecte son écosystème, ainsi

que les réponses biologiques de nos trois espèces cibles à savoir le homard le crabe des neiges et la crevette nordique et enfin montrer les prévisions tirées de la littérature scientifique. Dans la deuxième section, nous allons décrire l'industrie de pêche au niveau de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent et son impact économique sur les régions côtières. Pour finir, dans la dernière section nous discuterons des effets économiques potentiels du changement climatique sur l'industrie de capture aux homards, crabes des neiges, et crevettes nordiques.

2.1 LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉCOSYSTÈME MARIN DE L'ESTUAIRE ET DU GOLFE DU SAINT-LAURENT

L'une des conclusions principales des études d'impacts du changement climatique est que ses effets sur les écosystèmes et les ressources halieutiques dépendent des caractéristiques physiques de l'écosystème marin, mais aussi de la nature biologique des espèces qui y évoluent. À cet effet, nous avons jugé important de débiter cette section par une description physique et biologique du bassin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

2.1.1. Caractéristiques de notre zone d'étude : Estuaire et Golfe du Saint-Laurent

i. Cadre géographique

Les côtes canadiennes longues de 243 000 km s'ouvrent sur trois océans à savoir l'océan Pacifique sur la Côte-Ouest, l'océan Arctique sur la Côte-Nord et l'océan Atlantique sur sa Côte-Est. La Côte-Est avec son littoral de 42 000 km, représenté par le grand bassin aquatique de l'Atlantique, est composée de trois zones ou sous bassin qui se distinguent par leurs propriétés physiques, notamment leur bathymétrie et leur température (Chabot et Gilbert, 2013). Ces trois bassins sont le talus néo-écossais, la plate-forme et le talus de Terre-Neuve-et-Labrador, l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Ce dernier bassin qui représente notre zone d'étude dans le cadre de ce travail constitue l'un des écosystèmes estuariens et marins les plus grands et les plus productifs du monde (Dufour et Ouellet, 2007). Situé entre les Grands Lacs et l'Atlantique, le bassin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent couvre une superficie de 240 000 Km². Il est délimité à

l'échelle terrestre par cinq provinces : le Québec, Terre-Neuve-et-Labrador, l'Île-du-Prince-Édouard, le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse (*Figure 2*).

Grâce à des caractéristiques physiques qui lui sont propres, le système que forme le bassin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent est considéré comme un écosystème unique (MPO, 2005). Parmi ces caractéristiques distinctives (énumérées dans White et Johns, 1997; et dans MPO, 2005) nous pouvons citer entre autres :

- Une couverture de glace en hiver qui se forme tous les ans, dans les parties peu profondes de l'estuaire et du nord du golfe et qui dérive vers les Iles-de-la-Madeleine et le détroit de Cabot.
- Un estuaire qui débouche sur un golfe et non sur l'océan comme la plupart des estuaires du monde
- Une isolation partielle du reste du grand bassin Atlantique qui fait que le système peut être considéré comme une mer intérieure.

Toutefois l'une des caractéristiques physiques les plus importantes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent reste la présence de trois chenaux à savoir le chenal d'Esquiman, le chenal d'Anticosti, et le chenal Laurentien (MPO, 2005). Ce dernier, le plus important, constitue une dépression qui s'étend sur une distance de 1500 km allant du plateau continental de l'océan Atlantique à Tadoussac dans l'estuaire du Saint-Laurent. Le chenal laurentien est caractérisé par une profondeur allant de 300 à 535 m tandis que les deux autres chenaux ne dépassent pas 345 m de profondeur (White et Johns, 1997).

➤ **L'estuaire du Saint-Laurent (ESL)**

L'estuaire du Saint-Laurent est le plus grand estuaire au monde. Situé en aval du fleuve Saint-Laurent, l'estuaire débouche sur le golfe, à travers le détroit de Jacques-Cartier au nord de l'île d'Anticosti et le détroit d'Honguedo au sud de l'île. Il se compose de l'estuaire moyen et de l'estuaire maritime qui se sépare de façon naturelle grâce à leur salinité et à leur bathymétrie (White et Johns, 1997). L'estuaire moyen, qui part de l'est de l'île d'Orléans jusqu'à Tadoussac, présente des profondeurs allant de 20 à 50 m avec une largeur de 2 à 24 km. L'estuaire maritime s'étend sur 200 km avec une largeur de 30 à 50 km et part de Tadoussac à Pointe-des-Monts. Il présente des profondeurs de 50 à 300 m allant de la tête du chenal au golfe. Les eaux de l'estuaire moyen

sont caractérisées par une faible salinité, tandis que celles de l'estuaire marine sont plus salées du fait de la présence du chenal qui permet à l'eau de l'océan atlantique de pénétrer dans l'estuaire (Dufour et Quellet, 2007).

➤ **Le golfe du Saint-Laurent (GSL)**

Le golfe couvre une superficie de 226 000 km². La profondeur de ses eaux varie entre 75 m au sud du golfe dans le plateau Madelinien à plus 500 m dans certains fonds du chenal Laurentien (White et Johns, 1997). Il s'ouvre sur l'océan Atlantique par le détroit de Belle-Isle et le détroit de Cabot. Le golfe du Saint-Laurent est considéré comme une mer semi-fermée à cause de son isolation partielle de l'océan Atlantique. Toutefois, ses eaux restent fortement influencées par les variabilités climatiques et océaniques de l'Atlantique notamment par le biais du courant du Labrador et du Gulf Stream (Hutchings *et al.*, 2012).



Figure 2 : Le golfe du Saint-Laurent et ses particularités physiques (en bleu foncé : profondeur supérieure à 200 m). (Source MPO, 2013)

ii. Cadre biologique

La composante biologique d'un écosystème marin se répartie souvent en sept grands groupes que sont les : macrophytes, les planctons, les invertébrés, les reptiles, les poissons, les oiseaux marins et les mammifères marins. L'estuaire et le golfe du Saint-Laurent constituent un écosystème très productif, grâce à la grande diversité de ses conditions environnementales, mais aussi à ses différents processus océanographiques (Dufour et Quillet, 2007). Ainsi la présence d'une très grande variété d'espèces appartenant à chacun de ces groupes y est répertoriée. Toutefois certains groupes, tels que les planctons et les invertébrés, sont plus représentés que d'autres. Les informations recueillies dans les différents rapports scientifiques du MPO et dans d'autres articles nous ont permis de dresser les différents groupes présents au niveau de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

➤ Planctons

Ils constituent la base du réseau trophique de l'écosystème de l'estuaire et du golfe et jouent un rôle primordial dans la chaîne alimentaire des organismes marins. Ils se différencient selon leur taille, leur durée de vie, leur appartenance au règne animal ou végétal. Les deux principales espèces de planctons présentes dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent sont les phytoplanctons et les zooplanctons (MPO, 2005). Les communautés planctoniques sont pélagiques, en d'autres termes ils se retrouvent dans la partie supérieure des eaux. Cette partie est caractérisée par des températures plus élevées et un apport en lumière plus importante, éléments essentiels pour la croissance des planctons.

➤ Invertébrés

À la différence des pélagiques, les invertébrés vivent dans les fonds marins et constituent la communauté benthique. Ils représentent la plus grande population d'organisme marin présent au niveau de l'écosystème de l'estuaire et du golfe (MPO, 2005). Ils se divisent principalement en trois grandes catégories : les macrobenthos, les macroinvertébrés et la microfaune. Les macrobenthos notamment les crustacés (homards, crevettes nordiques, crabes des neiges, crabes communs, etc.) et les mollusques constituent les principales espèces exploitées au niveau de l'estuaire et du golfe, cela grâce à leur haute valeur commerciale. Les autres espèces de la communauté benthique sont toutes aussi importantes, car participant à la chaîne alimentaire.

➤ **Poissons**

Le caractère unique de l'écosystème de l'estuaire et du golfe en fait une zone très productive avec une forte densité de poisson (Benoît *et al.*, 2012). La communauté de poisson est composée d'une population de poissons de fonds tels que la morue, le sébaste, le flétan, et de poissons pélagiques, tels que le hareng le thon le maquereau. Une vingtaine d'espèces de poissons y faisait l'objet d'une exploitation commerciale.

➤ **Oiseaux marins**

Il existe plusieurs espèces d'oiseaux marins qui se distinguent par leurs proies, leur lieu de chasse et leur durée de présence dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Ils se répartissent en quatre catégories; les oiseaux côtiers, les oiseaux extracôtiers ou pélagiques, les Sauvagine et les oiseaux de rivage.

➤ **Autres groupes**

En plus des communautés benthiques et pélagiques, nous pouvons citer aussi la présence d'un reptile marin, la tortue Luth, et des mammifères marins principalement des baleines et des phoques. Ces derniers se retrouvent au niveau supérieur de la chaîne alimentaire dans l'écosystème de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

Cette grande diversité des organismes marins présente dans le bassin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent est rendu possible grâce aux caractéristiques physico-chimiques de cet écosystème (Benoît *et al.*, 2012). Toutefois cette diversité pourrait être menacée par les différentes pressions environnementales découlant du changement climatique. Nous allons voir dans la section suivante les principales menaces climatiques qui pèsent sur notre zone d'étude.

2.1.2. Les modifications physiques de l'écosystème de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dues au changement climatique

Comme décrit dans le premier chapitre les principaux facteurs physico-chimiques influençant la productivité la croissance et l'abondance des organismes marins sont la température, la salinité, l'acidification et l'hypoxie. Dans cette section nous allons décrire comment ces facteurs ont évolué avec le changement climatique au niveau de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

i. Température des eaux de l'estuaire et du golfe

La température des eaux au niveau de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent présente non seulement une variabilité saisonnière, mais aussi des fluctuations au niveau de la colonne d'eau. En hiver la température est à peu près la même dans tout le golfe et est inférieure à 0°C (Hutchings et al., 2012). En été trois couches d'eau se superposent dans la colonne d'eau de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (Chabot et Gilbert, 2013). Une première couche de surface chaude (inférieure à 50 m) où la température varie entre 4°C et 6°C au début de l'été et 12°C à 16°C à la fin de l'été, mais qui peut toutefois aller jusqu'à 20°C dans le sud du golfe. Une couche intermédiaire froide (entre 50 et 150m) où la température de l'eau à l'été varie entre -1°C et 3°C. Et enfin une couche profonde (supérieure à 200m) constituée d'eaux chaudes avec des températures peu variables comprises entre 3°C et 10°C (MPO, 2012).

Cependant ces dernières décennies les scientifiques ont relevé d'importants changements de températures dans les différentes couches d'eaux du golfe du Saint-Laurent avec le même constat que les eaux se réchauffaient. Ainsi entre 1981 et 2010 la température des eaux de surface en été a augmenté de 1.5°C (Benoît *et al.*, 2012) soit 0.38°C par décennie (Loder *et al.*, 2013). Plus récemment Galbraith *et al.* (2014) ont observé un pic de 2.5 °C de plus au niveau des eaux de surface en 2013. Au niveau de la couche intermédiaire froide et la couche profonde, même si des températures exceptionnellement très froides ont été observées entre 1986 et 1998, les eaux se sont réchauffées pour se rapprocher de leur température moyenne annuelle (MPO, 2012). Outre les fluctuations de la température dans la colonne d'eau des variations des températures saisonnières sont aussi observées (Rice *et al.*, 2017).

Le réchauffement des eaux devrait se poursuivre selon les projections de presque tous les modèles climatiques mondiaux. Ainsi au niveau de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent les températures moyennes saisonnières devraient augmenter de 1°C à 4°C (sous le modèle RCP 8.5) pour les prochaines décennies (Chabot et Gilbert, 2013). Ce réchauffement atteindrait toutes les couches d'eaux, avec une intensité plus marquée au niveau de la couche d'eau chaude (Hutchings *et al.*, 2012). Avec le réchauffement des eaux, la disparité climatique entre la couche intermédiaire froide et la couche profonde pourrait être moins marquée. Cela risquerait de modifier l'épaisseur et le volume de ces deux couches d'eaux et menacer ainsi les espèces qui les occupent (Rice *et al.*, 2017).

ii. La salinité des eaux

En réponse au réchauffement des eaux, la couverture de glace au niveau du golfe a diminué de 3.9 % par décennie depuis 1980 (Hutchings *et al.*, 2012). Cette fonte de la banquise a augmenté la quantité d'eau douce présente dans le golfe. Cela expliquerait en partie la réduction de la salinité des eaux de surface au niveau du golfe du Saint-Laurent (Galbraith, Plourde et Starr, 2014). La salinité varie très peu entre les différentes couches d'eaux du golfe et est assez identique avec le reste du bassin Atlantique, sauf au niveau des eaux de surface où elle est moins élevée dans le golfe (Chabot et Gilbert, 2013).

La diminution continue de l'épaisseur et du volume de la banquise du golfe entrainerait aussi l'augmentation du niveau des eaux. Selon les projections climatiques, le niveau de l'eau dans le golfe augmentera de 45 cm en 2055 et 1.1 m en 2100 (Brzeski, 2011). De même les projections suggèrent une diminution globale de la salinité dans tout le bassin atlantique (Rice *et al.*, 2017). Cela accentuerait probablement la stratification saisonnière de la colonne d'eau du golfe. Une forte stratification limiterait les mélanges d'eau réduisant ainsi la pénétration de l'oxygène dans les eaux plus profondes.

iii. Hypoxie

Depuis les années 80 les eaux de la couche profonde de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent sont constamment en état d'hypoxie (Galbraith *et al.*, 2014), avec des concentrations inférieures à 2mg O₂/L (Gilbert *et al.*, 2005). Plusieurs mécanismes sont à l'origine de ce phénomène. Selon Gilbert *et al.* (2007) une grande partie de ces faibles concentrations d'oxygène serait due aux changements dans les masses d'eaux chaudes de la pente continentale qui pénètrent au niveau du chenal laurentien. Cela expliquerait le fait que les eaux à la tête des chenaux Laurentien, Anticosti et Esquiman présentent les cas d'hypoxie les plus graves (MPO, 2012). Une autre partie de cette hypoxie serait causée par l'augmentation de la demande d'oxygène provenant non seulement des organismes marins, mais aussi de la respiration bactérienne (Genovesi *et al.*, 2011).

Au niveau des projections, l'augmentation prévue de la température des eaux de surface entrainerait une légère diminution de la concentration d'oxygène dans les couches superficielles

(Chabot et Gilbert, 2013). Le réchauffement qui atteindra aussi les eaux profondes risquerait d'aggraver l'état d'hypoxie de ces eaux (*ibid*).

iv. Acidification

Les faibles concentrations d'oxygène s'accompagnant d'une augmentation du CO₂ (Rice *et al.*, 2017), il n'est pas rare de retrouver des zones de faible pH dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent notamment au niveau des chenaux et dans l'estuaire (Chabot et Gilbert, 2013). Toutefois même s'il n'y a pas eu un changement significatif pour le pH des eaux de surface du golfe (Benoît *et al.*, 2012), au niveau des eaux profondes (entre 170 et 335 mètres) les scientifiques ont noté une diminution du pH de 0,2 à 0,3 unité entre 1934 à 2007 (MPO, 2012). Cette acidification des eaux du fond est attribuable en grande partie à l'accumulation du CO₂ métabolique, à l'apport des masses d'eaux et à la décomposition de matière organique dans les eaux profondes (*ibid*).

Cette situation risquerait peu de s'améliorer à l'avenir. Selon les projections de Chabot et Gilbert (2013) à court terme l'acidification devrait s'aggraver dans les eaux du fond, et à long terme elle toucherait toutes les couches d'eau.

2.2. ANALYSE DES RÉPONSES BIOLOGIQUES DU HOMARD AMÉRICAIN, DU CRABE DES NEIGES ET DE LA CREVETTE NORDIQUE FACE AU RÉCHAUFFEMENT DES EAUX DE L'ESTUAIRE ET DU GOLFE DU SAINT-LAURENT

Des facteurs de stress anthropiques, tels que la surpêche, ont entraîné dans les années 1990, le déclin de la population de poissons de fond notamment, la morue, dans le bassin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Toutefois des études (Hutchings *et al.*, 2012; Cheung, Zeller, et Pauly, 2011) suggèrent que ce déclin a été exacerbé par les variations de la température des eaux du golfe. L'estuaire et le golfe du Saint-Laurent abritent actuellement des communautés d'invertébrés à hautes valeurs commerciales telles que le homard, le crabe des neiges et la crevette nordique. Ces dernières soutiennent une importante industrie de pêche commerciale pour les régions côtières. Le changement climatique serait susceptible de modifier leur abondance et leur distribution future.

Nous allons analyser dans les sections suivantes les réponses biologiques de ces trois espèces en fonction des changements et de l'évolution des propriétés physicochimiques de leur écosystème.

2.2.1. Impact du changement climatique sur le homard américain

La principale espèce de homard que nous retrouvons au niveau de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent est le homard d'Amérique (*homarus americanus*). Ce dernier n'est présent que dans le nord-ouest de l'océan Atlantique allant du sud du Labrador jusqu'à la Caroline du Nord, avec une abondance marquée dans certaines zones notamment le sud du golfe du Saint-Laurent. Son aire d'extension s'étend des eaux côtières jusqu'au talus continental. Le homard est une espèce marine benthique qui vit à des profondeurs inférieures à 50 m; et selon la saison, il peut se retrouver à des zones intertidales plus ou moins profondes allant de 50 m à plus de 100 m (Phillips, Pérez-Ramírez, et De Lestang, 2017).

Le cycle vital du homard est caractérisé par trois phases larvaires et une phase post larvaire. Pendant la phase larvaire qui dure plus ou moins deux mois, les larves sont pélagiques et se nourrissent de phytoplancton et de zooplancton (Hare *et al.*, 2016). Ils se dispersent dans les couches superficielles de l'eau jusqu'à leur phase post larvaire où ils descendent au fond de la mer pour y poursuivre leur maturité tout en gardant le même régime alimentaire (Chabot *et al.*, 2013). Le homard atteint la maturité entre 3 et 8 ans. Cette période est marquée par un changement de son habitat (Wahle *et al.*, 2013) et de son régime alimentaire, composé entre autres de moules et de mollusques. Les conditions climatiques jouent un rôle important dans l'évolution de l'espèce.

Le homard américain évolue dans une large gamme de température allant de 0°C à 25°C (Chabot *et al.*, 2013). Des températures plus chaudes auraient des impacts non seulement sur la physiologie du homard américain, mais aussi sur le comportement de l'espèce. En effet, selon Aiken et Waddy (1986) le réchauffement des eaux pourrait accélérer la croissance des homards, en même temps cela engendrait une diminution de leur taille à la maturité. De même le réchauffement serait associé à l'accroissement de maladies chez le homard, telles que des lésions touchant la coquille des homards (Phillips *et al.*, 2017), et la Gaffkemie des homards (Chabot *et al.*, 2013). Outre les impacts sur sa physiologie, plusieurs études démontrent l'impact que peut avoir le réchauffement sur le comportement du homard. En effet face à une hausse de la

température de l'eau les colonies de homards migrent vers les baies et les estuaires en recherche de zones plus fraîches (Phillips *et al.*, 2017). Ces déplacements modifient la répartition de l'espèce. Cela pourrait expliquer d'ailleurs le déclin de l'abondance des populations de homard juvénile sur une partie la côte-Est américaine et même sa disparition dans sa limite septentrionale (Wahle *et al.*, 2015).

Pouvant détecter de faibles variations de salinités (Phillips *et al.*, 2017) les larves et les homards adultes seraient capables de se déplacer d'une profondeur à une autre afin d'éviter des zones de faible salinité (Chabot *et al.*, 2013), ce qui pourrait aussi modifier leur répartition saisonnière (Phillips *et al.*, 2017). De même l'hypoxie des eaux du golfe pourrait influencer sur la répartition et le déplacement des homards (Phillips *et al.*, 2017). Comme pour la salinité, les homards adultes arrivent à tolérer de faibles niveaux d'oxygène dissout (Hare *et al.*, 2016). Toutefois une grande exposition pourrait limiter le succès des phases de mue et les déplacements qui nécessitent une grande consommation d'oxygène dissout (Chabot *et al.*, 2013).

Contrairement au niveau de salinité et d'oxygène, la réaction du homard est différente face à une acidification de l'eau. En effet les larves du homard américain à la différence des autres espèces de homard sont sensibles à la variation du pH et ceci à tous les stades larvaires (Phillips *et al.*, 2017) . Ces derniers accusent des taux de croissance plus lente (McLean, 2016). D'autres conséquences sont aussi notées sur la formation de leur carapace qui s'avère plus petite en environnement acide. De même pour Keppel, Scrosati et Courtenay (2012) les intervalles inter mues seraient plus longs lorsque les homards sont exposés à un pH de 7.7 (par rapport à un niveau témoin de 8.1). Toutefois Ries, Cohen, et McCorkle (2009) démontrent un effet positif de l'acidification sur le homard dû à la minéralisation précoce des coquilles de juvénile qui rendrait ces dernières plus épaisses.

2.2.2. Impact du changement climatique sur le crabe des neiges

Il existerait dans le monde plus de 5000 espèces de crabes dont seulement une dizaine ferait l'objet d'une exploitation commerciale. Le crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) figure parmi ces espèces exploitées. Sa distribution s'étend de l'ouest du Groenland jusqu'au Maine dans l'Atlantique Nord, de l'Alaska à la Sibérie dans le Pacifique Nord, dans l'océan Arctique et dans

la mer du Japon (MAPAQ, 2017). Au niveau de la côte-Nord Atlantique nous retrouvons principalement le crabe des neiges et dans une moindre mesure le crabe commun (*Cancer irroratus*). Les principales concentrations se trouvent au Cap Breton, à Terre-Neuve, dans l'estuaire et la partie occidentale du golfe du Saint-Laurent (Hare et Dunn, 1993), entre 70 et 280 m de profondeur (MPO, 1985).

Le crabe des neiges est une espèce particulièrement sensible aux variations de la température. Il affectionne les eaux très froides, mais non tempérées comprises entre -1°C et 2°C (Sainte-Marie *et al.*, 2005). Au stade larvaire il peut se développer dans des eaux de température comprise entre 5°C et 15°C . En dehors de cet intervalle, la survie des larves serait fortement menacée. De plus cette plage de température se rétrécit avec le développement du crabe. En effet, le benthique juvénile ne peut tolérer, que sur une courte période, des températures inférieures à -1°C ou supérieures à 3°C (Sainte-Marie *et al.*, 2005). Une fois adulte, le crabe se retrouve en profondeur dans des eaux froides comprises entre -1°C et 4°C (Chabot *et al.*, 2013). Du fait qu'il ne tolère que de faibles écarts de sa température optimale, le réchauffement des eaux pourrait avoir des impacts sur la répartition et la reproduction du crabe des neiges (Warren et Lemmen, 2004). En revanche, ces effets seraient différents selon le stade de vie de l'espèce, dans le sens où les intervalles de températures optimales sont nettement différents entre les larves et les benthiques

De même les effets de la variation de la salinité sur le crabe des neiges dépendent sensiblement de son stade de vie. À l'état larvaire, ils peuvent tolérer, sur de courtes périodes, des variations importantes de la salinité (Sainte-Marie *et al.*, 2005). En revanche dans sa phase benthique le crabe des neiges serait moins tolérant à la baisse de la salinité, car vivant dans un environnement à forte salinité (Chabot *et al.*, 2013). Au niveau de l'acidification, les réponses biologiques du crabe des neiges face à une variation du pH restent très peu documentées. Cependant les recherches effectuées sur les autres espèces de crabes (crabe cancéreux, crabe tanneri) concluent que ces derniers présentent des réponses négatives face une acidification des eaux (Long *et al.*, 2013). Comme les autres espèces de crabes, le crabe des neiges serait tolérant à l'hypoxie. Néanmoins une exposition prolongée pourrait limiter certaines de ses fonctions telles que les déplacements et l'alimentation (Chabot *et al.*, 2013).

2.2.3. Impact du changement climatique sur la crevette nordique

La crevette nordique (*Pandalus borealis*) est un crustacé qui se retrouve dans les eaux canadiennes profondes (150 m – 350 m) et froides (2°C et 6°C). Dans l'Atlantique Ouest sa distribution s'étend de la baie de Cap Cod, dans le golfe du Maine, au détroit de Davis, entre le Groenland et la Terre de Baffin (MAPAQ, 2015). De par sa biomasse, elle figure parmi les espèces de crustacés dominantes dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent et constitue la principale espèce de crevette benthique. C'est une espèce dite hermaphrodite protérandrique, c'est-à-dire qu'elle naît, mûrit et se reproduit une ou deux fois en tant que mâle puis devient femelle vers 3 à 5 ans. Le frai, qui ne dure que quelques semaines, commence souvent vers la fin de l'été pour se terminer au début de l'automne, et se produit dans les eaux du large (Hare *et al.*, 2016). Après le frai, les femelles portent sous leur abdomen, les œufs fécondés, durant tout l'hiver. À l'éclosion, au printemps, les larves migrent vers les couches superficielles (5 – 30 m) où ils se nourrissent de phytoplanctons et des œufs de copépodes (Chabot *et al.*, 2013). Une fois adulte, les crevettes nordiques consomment, de jour les planctons et les invertébrés benthiques et la nuit elles se déplacent dans la colonne d'eau pour se nourrir de crustacés planctoniques tels que les copépodes et les krills (Hare *et al.*, 2016). Leur durée de vie peut atteindre 5 à 6 ans pour les mâles et 8 ans pour les femelles (Daoud, 2008).

Plusieurs observations ont révélé des changements dans le cycle vital de la crevette nordique. Ces changements, qui affectent la croissance, la longueur et la taille maximale des crevettes, pourraient s'expliquer par les contraintes environnementales exercées sur l'habitat de la crevette, notamment la variation de température, de salinité et de la disponibilité de la nourriture (Daoud, 2008). Une brève revue de la littérature sur les liens entre le *Pandalus borealis* et la température de l'eau nous montre que cette dernière constitue un facteur important à toutes les étapes du cycle de vie de la crevette. Elle influence notamment la ponte des œufs, leur incubation et leur éclosion, mais aussi leur croissance leur taille et leur longévité (Nunes, 1984). Par exemple, les résultats des études (Shumway *et al.*, 1985; Savard et Parsons, 1990; Savard, Parsons, et Carlsson, 1994; et Garcia, 2007; citées dans Daoud, 2008) montrent que la longévité, la taille lors du changement de sexe ainsi que la taille maximale des mâles et des femelles sont plus élevées pour les populations de crevettes dans le détroit de Davis (où la température est souvent comprise entre 2°C à 4°C) que celles dans le golfe du Maine (où la température peut avoisiner les 9°C). En

revanche le taux croissance des populations de crevette, dans la limite sud, est plus élevée que celle dans la limite nord. Les auteurs concluent que ces changements sont probablement dus à l'écart de température entre les deux régions (Daoud, 2008). Outre les effets sur la croissance, le réchauffement serait associé à la diminution de l'abondance des populations de crevettes en Alaska (Anderson et Piatt, 1999), à son déclin dans le golfe du Maine (Richards *et al.*, 012) et à la modification de son aire de répartition dans le Groenland (Hare *et al.*, 2016).

La tolérance des crevettes nordique pour de faibles niveaux de salinité dépend non seulement de la température de l'eau, mais aussi de leur stade de croissance (Denis Chabot *et al.*, 2013). Les adultes préfèrent les eaux relativement plus salées, tandis que les juvéniles toléreraient des eaux moins salées (Allen, 1959; cité dans Laflamme, 1991). L'impact de l'acidification des océans sur la crevette nordique n'est pas clairement établi au niveau de sa zone de distribution. Toutefois des expériences effectuées en laboratoires (Dupont *et al.*, 2014) suggèrent que la baisse du pH des eaux pourrait affecter la qualité des crevettes notamment au niveau du goût. Selon les résultats de Dupont-Prinet *et al.* (2013) la crevette nordique, le mâle particulièrement, est une espèce capable de résister à une hypoxie sévère. Pour les auteurs, cela expliquerait la présence et l'abondance de la crevette dans la couche d'eau profonde de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent où les niveaux d'oxygène dissous y sont très faibles notamment dans le chenal Laurentien et où les taux d'oxygène dissous atteignent souvent 18 % de saturation.

Sur la base de nos lectures, nous pouvons résumer comme suit les prévisions biologiques sur nos trois espèces en réponse aux projections climatiques. Actuellement les conditions thermiques de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en font un environnement favorable au développement du homard, du crabe des neiges et de la crevette nordique. Le réchauffement des eaux de surface prévue à court terme serait en partie bénéfique à ces espèces, car pouvant accélérer leur taux de croissance et leur taille à la maturité. Cependant à long terme la donne serait assez différente. Les scénarios climatiques prévoient un réchauffement plus intense au niveau des eaux de surface qui atteindrait même les eaux du fond de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Cela influencerait les autres facteurs environnementaux tels que la salinité, l'hypoxie et l'acidification et exacerberait leurs effets sur les organismes marins. Nos trois espèces ayant la capacité de se déplacer pourraient modifier leur aire de répartition en migrant vers le Nord à la recherche d'environnement moins hostile à leur développement. De plus, l'abondance des populations de

poisson de fonds, leurs principaux prédateurs, pourrait augmenter. Cela engendrait naturellement une diminution voire un déclin de l'abondance de nos trois espèces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

2.3. LES EFFETS ÉCONOMIQUES ATTENDUS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'INDUSTRIE DE LA PÊCHE DANS L'ESTUAIRE ET LE GOLFE DU SAINT-LAURENT

L'industrie de pêche commerciale dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent se compose de trois secteurs d'activités économiques soient le secteur primaire lié aux activités de capture des produits marins, le secteur secondaire de la transformation de ces produits, et le secteur tertiaire qui comprend les activités de distribution et de commercialisation des produits halieutiques. À ces trois secteurs d'activités s'ajoute le secteur administratif qui gère l'ensemble de l'industrie de la pêche. Le secteur administratif comprend l'administration gouvernementale fédérale qui s'occupe exclusivement de l'exploitation commerciale marine, et l'administration provinciale qui s'occupe du secteur secondaire et tertiaire. Dans le troisième chapitre sur la gestion des pêches, nous expliquerons plus en détail le rôle du secteur administratif dans l'industrie de la pêche au niveau de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

Dans ce travail nous nous intéressons au secteur primaire de la capture. En effet il est plus complexe de quantifier les effets du climat sur le revenu du secteur de la transformation et de la commercialisation dans le sens où les industriels de la transformation ont la possibilité d'importer des produits débarqués dans d'autres régions, de les transformer et de les commercialiser par la suite. Cela se fait déjà avec la transformation de certains crustacés comme le homard. En d'autres termes, ils sont capables de diversifier leurs sources de matières premières, ce qui n'est pas le cas pour les pêcheurs. De ce fait il est plus aisé d'isoler les effets sur la variation des revenus des pêcheurs due aux facteurs climatiques.

Nous allons dans cette section présenter un portrait de l'industrie de la pêche commerciale dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en mettant l'accent sur la pêche au crabe des neiges, à la crevette nordique et au homard. Nous n'insisterons pas sur les différentes mesures de gestions, car elles feront l'objet d'une section entière dans le prochain chapitre. À la fin de cette section, nous exposerons notre propre analyse sur la manière dont les prévisions climatiques affecteraient l'économie du secteur des captures.

2.3.1. L'industrie de la pêche commerciale dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent

i. Historique de l'Industrie de capture dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent

L'exploitation des ressources halieutiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent commence vraisemblablement avec la découverte des concentrations de morues dans les Grands Bancs de Terre-Neuve et Labrador (Parsons, 1995). Toutefois la présence antérieure des Basques et des Bretons dans différentes régions maritimes du golfe laisse supposer à plusieurs historiens que cette ressource fut l'objet d'une grande pêche depuis le 15^e siècle (Gough, 2008). La morue abondante et facile à pêcher constituait à l'époque un facteur de peuplement pour les différentes régions le long du littoral du golfe et conditionnait ainsi le rythme de vie des populations (Mimeault, 1997).

C'est à partir du 18^e siècle que fut créée l'une des premières industries de pêche du golfe du Saint-Laurent par les Britanniques (Mimeault, 1997). Ces derniers installèrent des compagnies dans différentes régions du golfe notamment à Paspébiac, en Gaspésie et en Basse-Côte-Nord. Pendant plusieurs décennies ils exploitent la main-d'œuvre bon marché que représentaient les pêcheurs acadiens et québécois. Cependant le caractère jugé capitaliste de leur industrie révoltait les pêcheurs et les poussait à se regrouper en coopératives de pêcheurs. Grâce aux revenus tirés de la morue, les pêcheurs développent leurs propres activités en créant de petites et moyennes entreprises commerciales. Ils remplacent leurs petites embarcations par des bateaux de pêche et en profitent pour exploiter d'autres espèces telles que le flétan, l'aiglefin, la goberge et le hareng. Cet essor de l'industrie de la pêche continua jusqu'au début du 20^e siècle, où on commence à noter un ralentissement de l'industrie de la pêche due notamment à la conjoncture économique de l'époque avec la crise industrielle de 1929 (Daneau, 1991).

Cependant l'expansion des nouvelles technologies de pêche, combiné à la demande croissante de poissons lors des deux guerres, augmente considérablement l'effort de pêche (Parsons, 1995). L'apparition des chalutiers, considérés comme le véritable ennemi du poisson (Chantraine, 1992) permettait de débarquer des milliers de tonnes de poisson. Ainsi dès la fin de la deuxième Guerre Mondiale les captures de morue au niveau du golfe dépassaient déjà le million de tonnes pour atteindre les deux millions de tonnes en 1968 (Chantraine, 1992). Cette période

d'après-guerre est considérée comme la grande phase d'industrialisation des pêches maritimes au Québec et dans les autres provinces du golfe (Daneau, 1991).

Malheureusement cette expansion de l'industrie se traduisait par une surexploitation des ressources. En effet dès la fin de la deuxième Guerre Mondiale, plusieurs navires européens ont pris d'assaut les côtes Atlantique. L'augmentation des limites territoriales de 3 à 12 miles par le gouvernement fédéral n'empêchait pas les pavillons étrangers de pêcher jusque dans les eaux du golfe (Savoie et Beaudin, 1988). Les conséquences de cette surpêche sur le stock de poissons ne se sont pas fait attendre, et dès le début de l'année 1970 on assiste à une diminution drastique des débarquements dans le golfe. Pour protéger les pêcheurs côtiers qui étaient les premiers à être affecté par cet effondrement des captures, le gouvernement fédéral en 1971 désigna la zone de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent comme zone exclusive canadienne.

Le déclin continu de l'industrie des poissons de fond durant la première moitié des années 1970 incita les pêcheurs à diversifier leurs prises, d'autant plus que des quantités de plus en plus importantes de crustacés composaient les captures (Savard, Bouchard, et Couillard, 2003). Ainsi à partir de 1980 les crustacées constituaient déjà plus de la moitié des valeurs de débarquement même si en volume les poissons étaient encore dominants. Cette tendance resta la même jusqu'au début des années 1990 où la surexploitation et d'autres facteurs environnementaux ont eu raison des stocks de poissons de fonds.

ii. Portrait actuel du secteur des captures commerciales dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent

L'activité de pêche dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent est partagée entre les régions côtières du Québec, du Nouveau-Brunswick, de l'Île-du-Prince-Édouard, de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve-Labrador. Excepté les provinces du Québec et de l'I-P-É, les autres provinces tirent profit des retombés d'autres zones de pêches. Le N-B et la N-É partagent les ressources du golfe du Maine avec les États-Unis, tandis la pêche maritime dans la zone des 200 miles constitue la principale source de revenus de la pêche pour les provinces de T-N-L et de la N-É. Même s'ils

ne représentent pas plus de 1 % des eaux canadiennes les volumes débarqués dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent représentent près de 10 % des débarquements de l'Atlantique-Ouest².

Au Canada Atlantique, les pêcheurs commerciaux ont tendance à se caractériser principalement par les espèces de poissons qu'ils exploitent et la taille de leurs navires (Charles, 1997). On retrouve principalement dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent des homardiens, des crabiers, et des crevettiers. En 2016 plus de 6 800 pêcheurs étaient détenteurs d'un permis de pêche (toutes espèces confondues) et utilisaient près de 5 300 embarcations pour l'exploitation des produits halieutiques dans le golfe (MPO statistique). Ces embarcations souvent de petites tailles (90 % avaient une longueur de moins de 45 pieds - 64'11 pieds) sont très bien adaptées à la pêche côtière ou semi hauturière. Dans l'ensemble les débarquements de poissons et de fruits de mer dans les différents ports des régions de l'estuaire et du golfe ont atteint 134 211 tonnes en 2016 (*Tableau 3*), soit une diminution de plus 7 % par rapport à 2015. Cette tendance à la baisse enregistrée pour la quatrième année consécutive en 2016 est due principalement à la diminution des captures de crustacés. Ces derniers constituent les principales espèces débarquées (*Figure 3*). Les pêcheurs du Québec et du Nouveau-Brunswick se partageaient plus de 70 % des débarquements avec respectivement 54 393 tonnes et 41 745 tonnes suivi de ceux de l'I-P-É avec 24 232 tonnes et de la Nouvelle-Écosse avec 13 841 tonnes (*Figure 4*). Toutefois en analysant l'évolution des débarquements nous remarquons une reprise graduelle des débarquements de poissons de fond notamment le flétan Atlantique et le flétan du Groenland.

² Les données sur les volumes des débarquements dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent sont obtenues en faisant une somme des volumes de débarquements des régions maritimes du Golfe et du Québec. De même nous avons effectué une comparaison avec les volumes de débarquements des divisions 4R 4S et 4T de l'OPANO et les volumes sont quasiment les mêmes.

Tableau 3: Volume des débarquements dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2016 (tonnes métriques, poids vif)

Espèces	N-É (Golfe)	N-B (Golfe)	IPÉ	Québec	Totaux
Poissons de fond	232	78	90	4,349	4,749
Pélagiques et autres	4,722	14,208	5,659	7,688	32,275
Homard	3,735	9,929	13,412	5,183	32,257
Crevette	-	5,848	-	16,529	22,377
Crabe des neiges	4,551	9,786	1,899	14,538	30,774
autres mollusques et crustacés	602	1,897	3,172	6,107	11,778
Totaux	13,841	41,745	24,232	54,393	134,211

Source : Statistique MPO (2017)

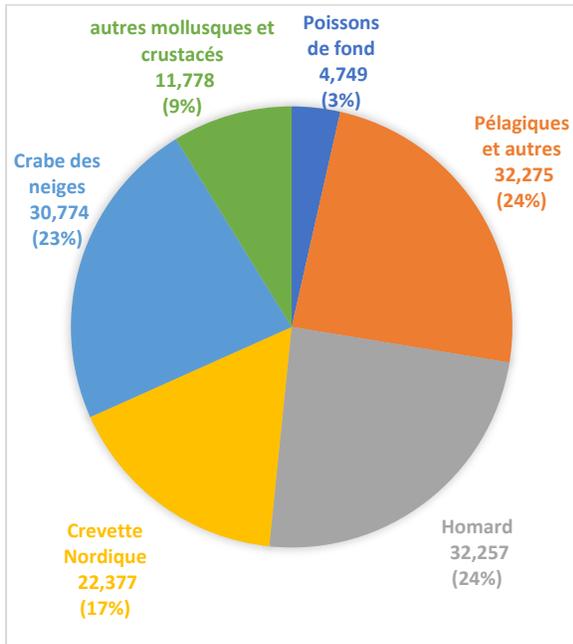


Figure 3 : Volumes des débarquements des principales espèces de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2016 (tonnes métriques, poids vif)
Source : Statistiques MPO (2017)

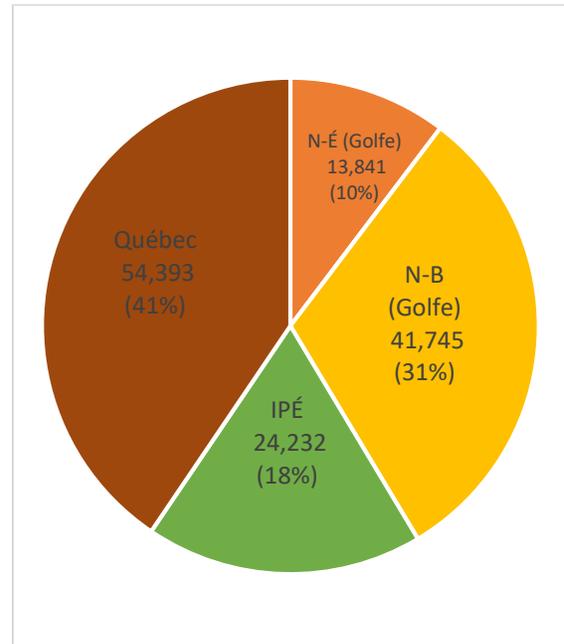


Figure 4 : Volume des débarquements des différentes régions maritimes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2016 (tonnes métriques, poids vif)
Source : Statistiques MPO (2017)

Contrairement au volume débarqué, la valeur globale des débarquements commerciaux dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent a atteint en 2016 la valeur la plus élevée jamais enregistrée. Elle a dépassé la barre des 800 millions de dollars, soit une augmentation de près de 50 % par rapport à 2013 (*Tableau 4*). Ces montants sont largement supérieurs de ceux enregistrés dans les années 80 ou 90 même si les volumes de débarquements étaient deux fois supérieurs.

L'année 2016 constituait ainsi une année exceptionnelle notamment pour les homardiens et les crabiers, la valeur au débarquement du homard et du crabe des neiges étaient respectivement de 445 millions dollars et 246 millions dollars (*Figure 5*). Cette augmentation est due notamment à l'appréciation des prix de 20 % du prix du homard et du crabe des neiges. Les facteurs de variations des prix de chacune de ces espèces sont expliqués en détail dans les sections plus bas. La valeur des débarquements dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent représentaient ainsi en 2016 près de 20 % des débarquements de l'Atlantique-Ouest.

Tableau 4: Valeur des débarquements dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2016 (milliers de dollars)

Espèces	N-É (Golfe)	N-B (Golfe)	IPÉ	Québec	Totaux
Poissons de fond	821	631	797	18,038	20,286
Pélagiques et autres	4,683	8,013	8,148	3,296	24,139
Homard	54,796	131,462	182,775	76,303	445,338
Crevette	-	16,307	-	48,889	65,196
Crabe des neiges	38,537	80,721	15,708	111,222	246,187
Autres mollusques et crustacés	911	2,712	5,287	12,642	21,552
Totaux	99,747	239,846	212,715	270,390	822,698

Source : Statistiques MPO (2017)

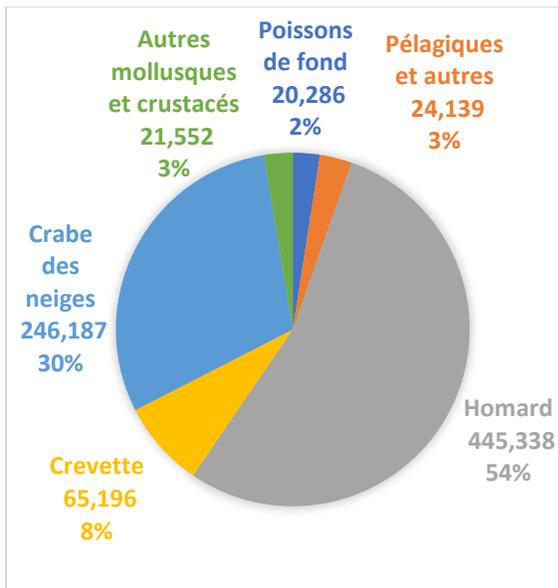


Figure 5 : Valeur des différentes espèces débarquées dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2016 (milliers de dollars)

Source : Statistique MPO (2017)

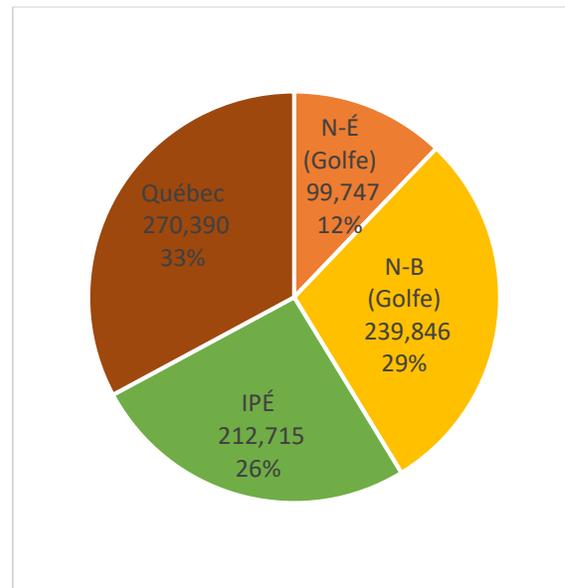


Figure 6 : Valeur des produits débarqués dans les différentes régions de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2016 (milliers de dollars)

Source : Statistique MPO (2017)

➤ **L'industrie de pêche du homard américain**

Aussi loin que remontent les données et nos informations disponibles, nous constatons que le homard américain a depuis longtemps été présent dans les eaux du golfe du Saint-Laurent. Les Amérindiens suivis des premiers colons furent les premiers à les pêcher à des fins de subsistance (Hanlon, 2012). Ils consommaient la chair et utilisaient la carapace comme engrais pour les cultures de maïs et de pomme de terre (Mimeault, 1997). À partir du milieu du 19^e siècle la pêche au homard pris une autre tournure avec le début de son exploitation commerciale. L'abondance du homard dans les côtes du golfe et l'appréciation de sa valeur marchande conduit à l'installation de conserveries dans plusieurs régions maritimes du golfe, notamment au Nouveau-Brunswick en 1845, à l'Île-du-Prince-Édouard en 1870 et plus tard aux Iles-de-la-Madeleine en 1874 (Dewolf, 1974). Ce fut le début d'une industrie commerciale qui allait connaître au fil du temps une succession d'épisodes d'abondance et de déclin.

En effet plusieurs changements ont suivi l'ouverture de la pêche commerciale du homard. L'expansion des flottilles a entraîné des modifications dans les techniques de pêche qui deviennent de plus en plus sophistiqués avec l'utilisation des casiers qui remplacent les captures manuelles à l'aide d'hameçons, de harpons, et du verveux (Dewolf, 1974). L'augmentation des conserveries nécessitant des volumes de débarquements plus importants s'est traduite par une exploitation intensive du homard. Les premières règles de conservation, notamment la détermination des saisons de pêches et l'interdiction de la capture des femelles œuvées et des homards à carapace molle sont mise en place dès 1874. Toutefois, ces règles de conservation n'ont pas empêché une diminution continue des stocks à partir de 1886 qui dura plusieurs décennies.

La pêche au homard reprit de l'importance après la période des deux guerres. La croissance de la demande du homard vivant et l'ouverture du marché européen ont entraîné une augmentation des débarquements et du prix du homard. Entre 1970 et 1990 la tendance resta la même jusqu'en 1990 où les débarquements avaient atteint la barre des 25 000 tonnes dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent pour une valeur de 95 millions de dollars. Avec le moratoire sur la pêche des poissons de fonds en 1994, les débarquements de crustacés dépassèrent pour la première fois en volume ceux des poissons de fond. Dès lors la pêche aux homards devenait une activité économique importante pour l'industrie et les communautés côtières de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Entre 1990 et 2008 les captures de homards n'ont pas vraiment évolué en volume

et la moyenne annuelle tournée autour de 20 000 tonnes. Cependant la valeur des captures a plus que doublé et est passée de 95 millions en 1990 à 221 millions en 2008. La crise économique mondiale de 2008 créa une baisse de 30 % de la valeur du homard américain en 2009, néanmoins la demande était telle qu'elle a amorcé un nouveau cycle de croissance dès 2010. La situation de 2009 montre à quel point le marché international influence la valeur des débarquements des crustacés et notamment le homard. Plusieurs autres facteurs exogènes entrent dans la détermination du prix au débarquement du homard dans la région du golfe notamment le volume de débarquement au niveau des États-Unis et des Maritimes, mais aussi le taux de change du dollar et le niveau de la demande (MAPAQ, 2017).

Depuis 2010 nous assistons à une évolution sans précédent des débarquements de homard dans la région. D'une part, une forte croissance des volumes de débarquements qui ont dépassé la barre des 30 000 tonnes soit une augmentation de plus 20 % par rapport à la période 1990 et 2008. Plusieurs hypothèses expliquent cette évolution des volumes. D'abord les conditions environnementales, notamment les courants, la température et la diminution de la quantité de glace, qui sont très favorables à l'éclosion et la survie des larves de homard (MAPAQ, 2017). Ensuite, le déclin du stock de poissons de fonds aurait entraîné une réduction de la prédation des larves et juvéniles de homard. Et enfin les mesures de gestion relatives à la baisse de la flottille de pêche et à l'augmentation de la taille minimale de captures auraient évité la surpêche comme ce fût le cas des poissons de fonds. Actuellement les scientifiques de MPO considèrent que les stocks de homard dans le golfe sont en bonne santé ce qui pourrait laisser croire à un avenir meilleur.

D'autre part la valeur des débarquements a aussi considérablement augmenté passant de 193 millions en 2010 à plus de 445 millions en 2016. Cette hausse spectaculaire s'explique non seulement par la hausse des débarquements, mais aussi par une appréciation du prix du homard qui reprend lentement son niveau d'avant la crise économique. L'abondance exceptionnelle du homard, notamment dans le sud du golfe du Saint-Laurent et sa haute valeur marchande acquise au fil du temps font aujourd'hui de l'industrie du homard, l'industrie de pêche la plus lucrative non seulement dans la région du golfe, mais aussi dans toute l'Atlantique canadien.

➤ **L'industrie de pêche du crabe des neiges**

Les premières prises accessoires de crabe des neiges ont été constatées dans le golfe du Saint-Laurent vers la fin de l'année 1959. À l'époque certains pêcheurs se contentaient de démailler leurs prises et de les rejeter à la mer. Tandis que d'autres conservaient leurs prises ou les revendaient aux deux entreprises qui tentaient à l'époque de commercialiser le crabe des neiges à savoir la National Sea Products et l'entreprise familiale de Saint-Omer à Bonaventure au Québec (Chaussade, 1983). Constatant l'augmentation continue des prises de crabe, une pêche commerciale aux crabes des neiges a été ouverte dans le sud golfe au milieu des années 1960 et déjà en 1967 plus de 500 tonnes de crabes des neiges ont été débarquées par une quinzaine de bateaux. Dans l'estuaire et le nord du golfe l'ouverture a été plus tardive et ne s'est développée que vers la fin des années 1960.

La pêche aux crabes des neiges a réellement pris une envergure à partir des années 1990 avec le déclin des poissons de fonds. De près de 14 000 tonnes en 1990 les quantités débarquées dans l'estuaire et le golfe étaient déjà à plus de 31 000 tonnes en 1995 passant ainsi de 1 % à 5 % du volume total des produits débarqués toutes espèces confondues. Cependant du fait des fluctuations du cycle biologique de l'espèce, les débarquements ont commencé à baisser en 1996 et n'ont repris leur croissance qu'à partir des années 2000 atteignant un sommet de plus 43 000 tonnes en 2005. Un autre déclin s'est installé, en 2005 du fait du cycle biologique de l'espèce, et en 2010 à la suite d'une diminution imposée des quotas de pêche, notamment dans le sud du golfe, réduisant ainsi les débarquements à 18 000 tonnes. Ce n'est qu'en 2012 qu'ils ont repris leur niveau d'abondance avec près 30 000 tonnes. De légères baisses sont constatées dans les volumes de débarquements depuis 2013, mais elles ne reflètent pas la tendance dans les différentes zones de pêche. En effet dans la division 4T où les plus grandes quantités de crabes sont débarquées la tendance est à la hausse notamment dans les principaux ports du Québec et du Nouveau-Brunswick.

Même s'il est difficile de dégager une tendance nette dans l'évolution des volumes de débarquements, nous pouvons constater une nette croissance dans les prix de débarquement de crabes des neiges depuis 2010, entraînant ainsi une hausse graduelle de leur valeur qui passe de 70 millions à près 250 millions en 2016.

Aujourd'hui l'industrie du crabe des neiges constitue une industrie aussi lucrative que l'industrie du homard, se plaçant en deuxième position en termes de valeur et de quantité. Plus de 400 bateaux exploitent le crabe des neiges dans le golfe chaque année d'avril à septembre et fournissent ainsi près de 1500 emplois dans les régions côtières du golfe et l'estuaire.

➤ **Les captures commerciales de crevettes nordiques**

À l'instar du crabe des neiges, la pêche commerciale à la crevette nordique a commencé elle aussi au milieu des années 1960 dans le golfe du Saint-Laurent. Savard, Bouchard et Couillard (2003) décrivent l'historique de l'industrie de la crevette nordique sur quatre périodes :

D'abord la période d'apprentissage et d'exploration qui marque le démarrage de l'industrie entre 1960 – 1981. Les programmes exploratoires menés à partir des années 1960 ont permis la découverte de sites de concentrations d'abord au niveau du fjord du Saguenay, et plus tard dans le golfe du Saint-Laurent. La diminution des stocks de poissons de fonds dans les années 1970 incita les pêcheurs à se tourner vers l'exploitation de la crevette nordique pour en faire une source complémentaire de revenu. Plusieurs permis d'exploitation furent distribués aux pêcheurs de poissons de fond du Québec, du Nouveau-Brunswick et de l'ouest de la Terre-Neuve. Par la suite l'exploitation s'intensifia et en 1976 le gouvernement dû définir des unités de gestion afin de répartir l'effort de pêche et protéger les zones de reproduction.

Ensuite la période de développement entre 1982 et 1989, où différentes mesures de gestion furent mises en place. La première était la fixation d'un total admissible de capture (TAC) en 1982 pour les différentes unités de gestion. D'autres restrictions suivirent notamment l'imposition d'un maillage minimal de 40 mm en 1986, puis la mise en place des programmes de contingentement individuels. Toutefois ces restrictions n'ont pas empêché l'augmentation des débarquements durant cette période. Cette période de développement a permis aux pêcheurs et aux gestionnaires d'approfondir leurs connaissances sur la crevette nordique afin de faciliter sa pêche aux uns et de permettre aux autres de fixer les saisons de pêche.

Puis la période de consolidation entre 1990 et 1994 qui débuta avec l'effondrement des poissons de fond poussa les pêcheurs à se focaliser sur l'exploitation de la crevette nordique. Ce fut l'occasion pour les gestionnaires de la pêche de redéfinir les règles de cette industrie d'autant plus que des changements furent notés dans l'abondance et la répartition des concentrations de

crevettes. De même des objectifs de maximisation du profit des pêcheurs furent combinés aux mesures de conservation du stock afin de faire face aux baisses des rendements commerciaux à partir 1992.

Enfin à partir de 1995 on assiste à la phase d'expansion de l'industrie de la crevette nordique. La reprise des stocks de crevettes s'est traduite par une hausse des débarquements. Ces derniers qui tournaient autour de 14 000 tonnes en 1990 ont augmenté de près de 50 % en 1996. De même le prix des crevettes lui aussi passa de 1.21 dollar le kg à 1.87 en 1996.

Par la suite les débarquements de crevettes nordiques ont lentement évolué, alternant des périodes de hausse et de baisse des débarquements. En 10 ans les volumes ont juste augmenté de 10 %, passant de 26 000 tonnes en 2000 à 29 000 tonnes en 2010. Durant cette même période les prix ont nettement chuté, et en 2006 le kilo s'échange à moins de 1\$ au Québec. Depuis 2010 les volumes de débarquement ont peu fluctué tournant autour de 30 000 tonnes, même si la tendance est à la baisse depuis 2013. Le prix au débarquement ayant augmenté de 60 % entre 2010 et 2016, les valeurs de débarquements ont doublé à la même période passant de 31 millions en 2010 à 65 millions en 2016. Actuellement plus d'une cinquantaine de flottilles exploite les stocks de crevettes nordiques dans le golfe du Saint-Laurent, et les régions de la Gaspésie (Québec) et du Gloucester (Nouveau-Brunswick) constituent les principaux ports de débarquements. De par ses volumes et ses valeurs de débarquements, l'industrie de capture de la crevette nordique est aujourd'hui la troisième industrie de pêche commerciale dans la région du golfe.

2.3.2. Apport économique de l'industrie de la pêche dans l'économie des régions côtières

L'écosystème marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent fournit de nombreux biens et services pour les communautés côtières des cinq provinces. En 2016, ces cinq provinces comptaient près de 10.7 millions d'habitants (*Tableau 5*) soit près de 30 % de la population du Canada. Une grande partie de cette population se concentre dans les zones urbaines, caractérisées par une légère croissance démographique durant ces dernières années. Dans les régions maritimes, notamment celle du Québec du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, nous assistons à une décroissance démographique et cela à cause de l'exode rural et du vieillissement de la population. Ce déclin continu de la population des régions maritimes a une double incidence sur l'économie de ces régions. Non seulement cela diminue le nombre de consommateurs de biens et services, mais réduit la main-d'œuvre disponible. À l'instar de la croissance démographique, les provinces atlantiques ont connu en 2016 une légère croissance économique tirée surtout par l'industrie tertiaire (Statistique Canada). Toutefois la production de bien constitue une part non moins importante pour l'économie des régions rurales, notamment l'agriculture et la pêche.

Pour apprécier l'impact économique direct de l'industrie de la pêche commerciale sur l'économie de ces provinces nous allons analyser deux indicateurs économiques clés que sont le produit intérieur brut, et le niveau d'emploi. Le PIB de l'industrie de capture représente la valeur ajoutée de la production de poissons et fruits de mer. Il permet de mesurer son impact économique sur l'économie nationale. Le PIB de l'industrie des pêches est loin derrière les autres industries de production alimentaire telles que la production végétale et la production animale. Dans l'ensemble, l'industrie de capture des cinq provinces atlantiques affichait en 2016 un produit intérieur brut (PIB) de plus de 980 millions de dollars. Ce PIB se répartissait comme suit: 71 millions de dollars pour la province du Québec et la province de l'Île-Prince-Édouard, 161.7 millions de dollars pour le Nouveau-Brunswick, 186 millions de dollars pour Terre-Neuve-Labrador et enfin 417.3 millions de dollars pour la Nouvelle-Écosse (Statistique Canada, 2017). Ces données représentent la valeur ajoutée totale de la production de l'industrie de toute l'Atlantique et ne tiennent pas compte des différentes régions de pêche³. Pour avoir un aperçu du PIB reflétant uniquement l'apport de l'industrie du golfe, nous nous sommes basés sur les travaux de (Pinfold, 2009). Ce dernier a

³ Nous nous sommes alors inspirés du rapport de Gardener Pinfold (2009) qui reste à ce jour UNE référence sur l'étude d'impact économique de l'industrie de la pêche au Canada.

effectué une analyse de l'impact économique des activités maritimes dans les vastes zones de gestion des océans (VZGO) du Canada dont la VZGO du Golfe qui regroupe l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. En comparant avec les données de 2009 de Statistiques Canada nous pouvons en déduire que le PIB de l'industrie de pêche commerciale de la VZGO du Golfe représenterait 35 % du PIB de l'industrie de pêche commerciale de l'Atlantique. Ainsi, en 2016, le PIB de cette industrie tournait autour de 343 millions de dollars. Ce chiffre peut paraître dérisoire si nous le comparons au PIB du pays, mais représente quand même près de 30 % du PIB de toute l'industrie de la pêche du Canada.

Tableau 5: Principaux indicateurs socioéconomiques des provinces atlantiques du Canada

2016	Québec	I-P-É	N-B	N-É	T-N-L	Canada
Population totale	8 321 888	149 472	757 384	948 618	530 305	35 151 728
PIB de la province (M\$)	345 024	5 355	29 594	35 426	31 308	1 684 239
PIB de l'industrie de la pêche (M\$)	95	79	159	434	213	1 051
Emploi dans le secteur primaire de la pêche	3 069	4 199	6 008	12 649	9 410	44 342

Source : Statistiques Canada.

Tableau 17-10-0081-01 : Estimation démographique annuelle par région économique, âge et sexe, basées sur la Classification géographique type (CGT) 2011

Tableau 36-10-0402-01 : Produit intérieur brut (PIB) au prix de base, par industries, provinces et territoires (x 1 000 000)

Table 16-10-0117-01 : Statistiques principales pour les industries manufacturières, selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) (x 1 000) Les données sur l'emploi de toutes les provinces sont estimées par le MPO pour 2014.

Au niveau de l'emploi, l'industrie des pêches maritimes dans les provinces de l'Atlantique comptait quelque 35 000 employés (Tableau 5), soit plus 75 % du nombre d'emplois de l'industrie primaire de pêche au Canada. En suivant le même raisonnement que pour le PIB, nous pouvons déduire que près de 12 500 emplois concernaient l'industrie de pêche du golfe du Saint-Laurent. Si nous analysons les données sur l'évolution du niveau d'emploi dans les différentes provinces de l'Atlantique nous remarquons que le taux de chômage est beaucoup plus élevé dans les régions côtières que dans les autres régions (Statistique Canada). Or dans la majeure partie de ces régions, le secteur de la pêche constitue l'un des premiers employeurs. Selon le comité sectoriel de la main

d'œuvre des pêches maritimes (CSMOPM) plusieurs caractéristiques de l'industrie des pêches peuvent expliquer ce taux de chômage croissant. D'abord la saisonnalité des emplois dans le secteur de la pêche n'attire pas la population active. Ensuite l'activité de pêche demande un effort physique non négligeable, alors que la courbe des âges ainsi que le ratio des sexes dans les estimations démographiques de ces régions montrent que la population y est vieillissante et constituée en majorité de femmes. Ces différentes caractéristiques n'attirent pas un grand bassin de main-d'œuvre pour l'industrie de la pêche commerciale dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

L'apport économique de l'industrie de la pêche commerciale dans les régions maritimes est souvent minimisé dans les comptabilités nationales en ce sens que ces dernières ne prennent pas en compte toutes les activités indirectes tributaires du secteur des captures (Dyck et Sumaila, 2010). Par exemple la pêche commerciale dans le golfe soutient plusieurs autres activités économiques telles que la transformation des produits halieutiques (notamment au Québec) leur commercialisation (à l'Île-du-Prince-Édouard où le faible niveau démographique fait qu'une grande partie des débarquements est exportée; celle du homard représente 3.3 % du PIB de l'Île); mais aussi tous les secteurs qui fournissent les intrants à l'industrie de capture (construction navale, fournitures de pêche, etc.); et le personnel administratif du gouvernement (entre autres gestionnaires des pêches, vérificateurs à quai et observateurs en mers). Les retombées économiques ainsi que les emplois générés dans ces secteurs devraient aussi être considérés comme un apport de l'industrie de la pêche.

L'industrie primaire de capture dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent ressemble peu à celle d'il y a une trentaine d'années. Elle représente aujourd'hui une activité économique dominante dans plusieurs régions côtières et constitue un moteur essentiel dans l'économie de ces différentes régions. Les recettes générées par l'industrie des crustacées constituent une source importante de revenu pour les pêcheurs et leurs communautés. Cependant cette activité ne repose que sur les débarquements de homard, de crabe des neiges et crevette nordique ce qui rend les pêcheurs très dépendants de la disponibilité du stock de ces trois espèces.

2.3.3. Les implications économiques du changement climatique sur l'industrie de capture dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent

Dans notre revue de la littérature sur les impacts économiques, nous avons distingué deux types d'analyse. D'une part les études quantitatives qui se basent sur les projections des niveaux de captures futures obtenues à l'aide d'une modélisation bioclimatique (Lam *et al.*, 2012; Garza-Gil *et al.*, 2011). D'autre part les analyses qualitatives qui s'appuient sur les impacts actuels pour projeter une direction des effets économiques (Vilhjálmsson *et al.*, 2005; Bourduas Crouhen *et al.*, 2017). Pour notre travail nous allons effectuer une analyse qualitative en nous servant des informations décrites dans les sections précédentes telles que : la projection des propriétés physico-chimiques des eaux de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent; les réponses biologiques potentielles de nos trois espèces cibles, la nature de notre industrie de capture, et de la préférence des consommateurs. Contrairement aux analyses quantitatives, nous allons considérer que les prix ne seront pas constants et varieront en fonction de leurs déterminants habituels et que l'effort de pêche suivra aussi la quantité de stock disponible.

À court terme les effets du réchauffement pourraient accélérer le taux de croissance et la taille à la maturité du homard, du crabe des neiges, et de la crevette nordique. La pêche au homard n'étant pas contingenté, cela pourrait se traduire par une augmentation des volumes de débarquement. De même en réponse au réchauffement, le taux de capture du crabe des neiges et de la crevette nordique pourrait augmenter si les gestionnaires intègrent la variation du niveau des stocks dans la fixation des quotas. Cependant cette augmentation des volumes ne se traduirait pas forcément par une forte augmentation des revenus. Plusieurs paramètres pourraient tirer vers le bas les retombées économiques. D'abord, **une baisse des prix** à cause d'une offre supérieure à la demande du marché d'une part, et d'autre part d'une augmentation possible de la présence, dans les débarquements, d'espèces non comestibles tels que le homard à carapace molle. Ces deux effets sur les débarquements ont été observés dans l'industrie du homard sur la côte Nord-Ouest-Atlantique des États-Unis en réponse au réchauffement subite des eaux en 2012 (Mills *et al.*, 2013; Lapointe, 2014). Ensuite, une **augmentation des coûts de production**, notamment le coût des appâts, utilisés en grande quantité dans la pêche aux homards et aux crabes des neiges, les coûts de réfrigération, et les coûts de vérification à quai, réduiraient les retombées économiques.

De même, nous assistons actuellement à un retour progressif des stocks de poissons de fond même s'ils sont encore loin de leur niveau d'avant moratoire. Néanmoins si le réchauffement des eaux continue, il pourrait favoriser à court terme leur abondance dans les eaux de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Les poissons de fonds étant les principaux prédateurs de nos trois espèces cibles, leur abondance pourrait compromettre l'augmentation prévue de nos trois espèces.

À long terme, en suivant nos observations au début de ce chapitre, le réchauffement des eaux combiné à l'aggravation des autres propriétés physico-chimiques entrainerait au mieux des cas un déplacement de nos espèces cibles vers des zones de pêches plus au nord du golfe, et au pire des cas un déclin de leur abondance dans toute la zone de l'estuaire et du golfe. Ces deux situations entraineraient certainement de graves conséquences économiques pour l'industrie de pêche de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dans le sens où elle est fortement dépendante de la capture de ces trois espèces.

CHAPITRE 3

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LES MESURES D'ADAPTATIONS POUR L'INDUSTRIE DE CAPTURE

Notre objectif dans ce dernier chapitre sera d'identifier parmi les différentes stratégies d'adaptation au changement climatique celles idoines au contexte de la pêche dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Pour cela nous allons d'abord dans une première section présenter les deux principales approches face à l'évolution climatique à savoir la mitigation et l'adaptation et montrer les différentes stratégies qui y sont associées. Dans la deuxième section nous allons présenter deux études de cas dans l'adaptation des pêches aux États-Unis et en Australie. Enfin dans la troisième et dernière section nous allons d'abord exposer le cadre de gestion de la pêche de nos trois espèces, et ensuite discuter des stratégies appropriées pour adapter ces pêcheries face au changement climatique.

3.1 LES APPROCHES ET STRATÉGIES D' ACTIONS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La mitigation et l'adaptation constituent deux des approches de lutte contre le changement climatique. Ce sont des approches ex ante (mitigation) ou ex post (adaptation) qui permettent respectivement de réduire l'ampleur (les causes) et les effets (les conséquences) du réchauffement climatique.

3.1.1. La mitigation

La mitigation ou l'atténuation du changement climatique consiste à limiter les émissions de gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone, le méthane, les oxydes d'azote et à traiter leurs causes. Selon l'OCDE (2015) une activité économique est considérée comme participant à l'atténuation du changement climatique si elle contribue à la stabilisation des gaz à effet de serre à un niveau qui empêcherait toute perturbation anthropique du système climatique. Les stratégies d'atténuation sont des processus qui visent le long terme et ne peuvent être planifiées qu'à l'échelle mondiale. D'ailleurs c'est dans cette perspective que le protocole de Kyoto a été adopté en 1997. Cet accord international, entré en vigueur en 2005, imposait aux 37 pays membres de l'OCDE de

réduire collectivement leurs émissions moyennes de gaz à effet de serre sur la période 2008-2012 de 5.2 % par rapport à leur niveau de 1990.

Les pays n'ayant pas le même niveau d'industrialisation, le protocole de Kyoto respectait le principe de « responsabilités communes, mais différenciées » qui consistait à allouer des cibles d'émission différente selon les capacités économiques et technologiques des pays. Toutefois, certains auteurs déplorent ce principe basé sur des pourcentages de réduction, et proposent plutôt une réduction basée sur la responsabilité de la quantité réelle d'émissions (Sumi, Fukushi, et Hiramatsu, 2010). De la même manière, les activités économiques émettent des gaz à effet de serre à des niveaux d'émission différents. Selon les estimations de l'OCDE (2008) le secteur électrique avec la production et la transformation d'électricité est le premier émetteur de gaz à effet de serre suivie des industries forestière et agricole et le secteur des transports.

L'utilisation des combustibles fossiles par l'activité de pêche libère des gaz à effets de serre dans l'atmosphère. Selon la FAO (2016) la flotte de pêche mondiale estimée à près de 4.6 millions de navires était à 65 % motorisée et consommait 53.9 millions de tonnes de carburant, émettant ainsi 172.3 millions de CO₂ soit 0.5 % des émissions mondiales totales de CO₂ en 2012. Ces émissions sont bien moindres par rapport aux émissions de gaz à effet de serre des autres industries. Selon leurs niveaux d'émissions, une distinction peut être faite entre la pêche hauturière largement mécanisée et la pêche côtière souvent artisanale et non mécanisée. Cette dernière participe très peu à l'accumulation de l'effet de serre dans l'atmosphère.

Ainsi les stratégies d'atténuation du changement climatique par l'industrie de capture viseraient plus l'industrie de pêche hauturière et en moindre mesure la pêche semi-hauturière. Trois actions ressortent souvent dans la littérature comme stratégies pouvant atténuer l'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère par la pêche à savoir (Joshua et Oyebanjo, 2010; cité dans Magawata et Ipinjolu, 2013) :

- L'utilisation de navires et de méthodes de pêche économes en carburant
- La suppression des obstacles à l'efficacité énergétique tels que les subventions sur les carburants
- La réduction de la capacité excédentaire des flottes de pêches mondiales.

Nous n'insisterons pas sur les stratégies d'atténuation, car la pêche dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent est soit côtière soit semi-hauturière, ce qui n'engendre pas de grandes émissions. Par conséquent, les mesures de mitigation n'y sont pas assez robustes ni assez efficaces pour réduire l'ampleur du changement climatique.

3.1.2. L'adaptation

Auparavant les approches d'adaptations ont été moins présentes dans les discussions et les accords internationaux (tel que le COP15) et cela au profit des stratégies d'atténuation du changement climatique. Toutefois la tendance a commencé à changer depuis 2015 avec les accords de Paris lors du COP 21. Ainsi l'adaptation devient de plus en plus importante dans les négociations sur le climat d'autant plus que les résultats des efforts engagés pour la réduction des gaz à effet de serre ne sont pas immédiats tandis que les effets du changement climatique sont déjà palpables (Pachauri et Meyer, 2014).

Plusieurs définitions ont été données au concept d'adaptation (Smit, Burton, Klein, & Wandel, 2000). Parmi elles, celle revenant le plus souvent dans la littérature est celle du GIEC (2007) qui définit l'adaptation au changement climatique comme un ensemble d'initiatives et de mesures prises pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets réels ou prévus des changements climatiques. Ces mesures prises ou anticipées dans le but d'améliorer ou de maintenir le bien-être face au changement climatique (FAO, 2009) peuvent être appliquées aux systèmes biologiques, économiques et culturels (Stein, *et al.*, 2014).

Dans le secteur maritime, les pêcheurs et leurs communautés, qui très souvent étaient confrontés à des perturbations anthropiques et naturelles telles que la surpêche et les modifications saisonnières des stocks, ont su développer au fil du temps des stratégies d'adaptions spécifiques à ces aléas. Ces stratégies consistaient souvent pour les pêcheurs soit à déplacer les lieux, les heures de pêches et les espèces pêchées (Holbrook et Johnson, 2014); soit à innover et à diversifier les activités génératrices de revenus (Coulthard, 2009). Toutefois les effets du changement climatique pourraient repousser les limites d'adaptation à la fois du système naturel (espèces et écosystèmes) et du système humain (pêcheurs et leurs communautés) (Perry *et al.*, 2011). Par conséquent il est primordial pour les gestionnaires des pêches de très tôt identifier tous les effets potentiels du

changement climatique et les actions pour y répondre afin de préserver les ressources et assurer la sécurité des pêcheurs et de leurs communautés (Noble *et al.*, 2014).

À l'instar des mesures d'adaptation aux effets anthropiques, l'adaptation au changement climatique nécessitera ainsi l'élaboration des stratégies et leurs mises en œuvre à travers différentes actions afin d'éviter les effets néfastes du changement ou tirer parti des avantages potentiels. En d'autres termes, les stratégies d'adaptations doivent viser à réduire la vulnérabilité⁴ du secteur de la pêche face au changement climatique et à renforcer la résilience⁵ de ses différentes composantes (Barange *et al.*, 2018). Elles impliqueraient tous les acteurs du système à savoir les gouvernants, les gestionnaires, les industriels, de même que les pêcheurs. Une revue théorique de la littérature existante sur l'adaptation nous a permis de distinguer diverses approches d'adaptation.

i. L'adaptation progressive / transformationnelle

Selon (Noble *et al.*, 2014) les stratégies d'adaptation peuvent être progressive ou se décliner de manière transformationnelle. Pour l'auteur, l'adaptation progressive consiste à des ajustements mineurs ayant pour objectif principal de préserver l'essence et l'intégrité des systèmes technologiques, institutionnels, de gouvernance et de valeurs existantes (des exemples tels que le changement des engins, de la méthode de pêche ou de la méthode de transformation et de préservation des produits sont cités dans Barange *et al.* (2018)). En revanche l'adaptation transformationnelle consiste à une modification profonde du système en réponse aux effets du climat actuel ou futur, et se planifie souvent à grande échelle (Noble *et al.*, 2014). Comme exemples d'adaptation transformationnelle, nous pouvons citer la migration des communautés de pêcheurs, la modification des moyens de subsistance, l'adaptation à une nouvelle gouvernance (Barange *et al.*, 2018), mais aussi des changements dans les perceptions et les paradigmes concernant la nature du changement climatique, son adaptation et ses relations avec d'autres systèmes naturels (Noble *et al.*, 2014).

⁴Définition vulnérabilité : propension ou la prédisposition à être affectée négativement par un événement (GIEC, 2014).

⁵Définition résilience : capacité d'un système à absorber un choc, une perturbation ou un changement, tout en conservant essentiellement la même fonction et la même structure. Il associe des éléments humains et naturels, liés et dynamiques dans les systèmes socio-écologiques (GIEC, 2014)

ii. L'adaptation réactive ou proactive

Les stratégies d'adaptation de l'industrie des pêches face au changement climatique peuvent se décliner en des mesures de gestion réactives ou proactives en fonction de l'intention des gestionnaires de pêches et du calendrier de mises en œuvre des mesures de gestion (Sumi *et al.*, 2010). Les mesures de gestion réactives, encore appelées mesures adaptatives dans certains documents, sont des stratégies d'adaptation qui permettent d'ajuster la gestion de l'industrie de la pêche en tenant compte du changement climatique actuel (Barange *et al.*, 2018). Ces mesures sont considérées comme moins efficaces, car elles sont souvent élaborées de façon spontanée à la suite d'un changement brusque. Elles pourraient être aussi plus onéreuses à cause d'un calendrier de mises en œuvre à court terme. En revanche les mesures de gestion proactives sont des actions intentionnelles et anticipatoires des effets du changement climatique. Elles reposent sur une modélisation prédictive du climat et incluent des évaluations périodiques. Les mesures proactives permettraient ainsi d'atténuer les conséquences néfastes du changement climatique en améliorant la résilience des espèces, des écosystèmes et des pêcheurs (Morrison et Termini, 2016).

Du fait du caractère incertain du changement climatique et de son évolution, les pêcheurs ne devraient pas se limiter à une seule approche d'adaptation (Shelton, 2014). Ces derniers doivent être flexibles dans la prise de décision et tenir compte de nouvelles informations sur l'évolution du climat afin de pouvoir élaborer des mesures de gestions assez robustes qui permettront d'atteindre les objectifs souhaités (Grafton, 2010).

3.2. LA GESTION DES PÊCHES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE À TRAVERS DIFFÉRENTES ZONES ÉCONOMIQUES EXCLUSIVES : EXEMPLES DES ÉTATS-UNIS ET DE L'AUSTRALIE

Les impacts du changement climatique seraient différents d'une ZEE à une autre. La principale différence résiderait au niveau de la capacité d'adaptation de chaque pays (Allison *et al.*, 2009). Dans les pays sous-développés, la capacité d'adaptation est très limitée pour faire face au changement tandis que dans les pays développés comme le Canada, les capacités techniques, économiques et institutionnelles sont telles qu'elles peuvent fournir des réponses adéquates aux différents impacts du changement climatique notamment sur le système humain.

Pour ce travail nous avons parcouru plusieurs documents présentant des approches d'adaptation de l'industrie des pêches dans différentes régions industrialisées. Toutefois le constat que nous avons fait rejoint celui de Miller *et al.* (2018) à savoir que parmi les documents traitant de la question de l'adaptation au changement climatique par l'industrie des pêches il est très rare de retrouver des exemples d'actions d'adaptation mises en œuvre avec une évaluation de leurs résultats. La majeure partie se limite à des approches conceptuelles, théoriques ou méthodologiques où les auteurs présentent la vulnérabilité et/ou la capacité d'adaptation au niveau de leur zone d'étude. Néanmoins nous avons jugé intéressant de partager deux études de cas dans deux pays à savoir les États-Unis et l'Australie. Pour ces deux exemples, nous avons retrouvé des documents décrivant des mesures d'adaptations concrètes faisant référence à la résilience des systèmes naturels et/ou humains. Le choix de ces deux pays est dicté par le fait que les États-Unis présentent un degré d'exposition au changement climatique identique à notre zone d'étude (Vilhjálmsson *et al.*, 2005). Tandis que l'Australie, qui présente les mêmes capacités d'adaptations que le Canada, l'étude de cas retenue nous fournit un cadre solide dans la sélection des stratégies d'adaptation efficaces pour préserver le revenu des pêcheurs. Dans la première étude de cas, les efforts d'adaptation misent sur le renforcement de la résilience du système naturel avec des mesures d'adaptation concrètes. Dans la deuxième étude de cas, l'accent est mis sur la résilience économique du système humain.

3.2.1. Les États-Unis et les mesures d'adaptation de la pêche face au réchauffement des eaux sur l'Atlantique nord-ouest

En 2016 les États-Unis représentaient le cinquième pays producteur de produits halieutiques derrière la Chine, l'Indonésie, l'Inde, et le Vietnam. Les débarquements commerciaux des pêcheurs américains continentaux étaient estimés en 2016 à 4,3 millions de tonnes pour une valeur de 5,3 milliards de dollars soit 3.5 % des débarquements mondiaux. Le pays dispose de quatre pôles de pêche stratégique à savoir le bassin Atlantique à l'Est, le golfe du Mexique au Sud, le Pacifique sur sa côte-ouest, et l'Alaska.

La zone de pêche du grand Atlantique comprend les États côtiers du Maine, du New Hampshire, du Massachusetts, du Rhode Island, du Connecticut, de New York, du Delaware, du Maryland et de la Virginie. Selon les statistiques de 2015, la valeur des débarquements de cette zone représente près de 40 % du total des débarquements du pays même si en volume ils ne représentent que 13 % des débarquements nationaux. Cela s'explique naturellement par la présence d'espèces à hautes valeurs commerciales (homards américains, etc.) qui caractérise la pêche dans le grand bassin de l'Atlantique.

Cependant selon Pershing *et al.* (2015) le bassin Atlantique du Nord-Est des États-Unis constitue l'une des régions océaniques du monde qui subit le réchauffement le plus rapide avec une intensité accélérée pendant les étés (Friedland et Hare, 2007). Ce réchauffement pourrait s'expliquer non seulement par une variabilité climatique naturelle (les variations du NAO et du MOA) (Pinsky, 2018); mais aussi par un réchauffement d'origine anthropique (réchauffement de l'air). Des études, dirigées en grande partie par la NOAA (responsable de la gestion des pêches du pays), ont évalué les conséquences du changement climatique sur le bassin Atlantique des États-Unis. Elles mettent en évidence un réchauffement des eaux océaniques, une élévation du niveau des mers et une acidification des eaux (Horton *et al.*, 2014).

Ces effets du réchauffement climatique ont eu des implications majeures au niveau de plusieurs espèces de poissons et d'invertébrés d'importance commerciale (Gregg *et al.*, 2016) notamment la modification de la distribution des espèces en latitude et en profondeur (Nye *et al.*, 2009), le changement dans l'abondance, la mortalité, la croissance, et la phénologie de plusieurs espèces notamment le homard américain (Mills *et al.*, 2013). À ces effets du changement climatique s'ajoutent d'autres facteurs non climatiques tels que la pollution des eaux, la surpêche

et les prises accessoires de même que la dégradation et la modification des habitats naturels qui viennent aggraver les effets climatiques.

Pour faire face à ces menaces déjà constatées, les gestionnaires de la pêche du gouvernement fédéral et des États côtiers ont inclus le facteur climatique dans les pratiques de gestion et de gouvernance conventionnelle de la pêche. Par exemple dans la région du grand bassin de l'Atlantique Ouest, à la suite du réchauffement des eaux de 2012, plusieurs mesures d'adaptation ont été formulées afin de préserver la viabilité économique des pêcheurs et de leurs communautés (Mills *et al.*, 2013). Entre autres mesures recommandées par ces derniers nous pouvons citer : **le développement des modèles climat-écosystèmes** afin d'aider les gestionnaires des pêches dans l'identification et l'évaluation des stratégies d'adaptation au climat; **l'amélioration des capacités prédictives pertinentes à la gestion** afin d'appuyer les décisions relatives à la gestion de la pêche face au changement climatique; et enfin **l'identification des besoins d'adaptation dans la gestion des pêches** notamment par l'évaluation des structures de permis pour faciliter l'accès à de nouvelles espèces cibles, la préparation aux nouvelles limites de la gestion (Mills *et al.*, 2013).

Par ailleurs au niveau national, Gregg *et al.* (2016) ont pu rassembler, par le biais d'une enquête nationale, les différentes actions d'adaptations utilisées par les acteurs de la pêche aux États-Unis. Les auteurs ont regroupé ces actions dans quatre approches globales à savoir (Gregg *et al.*, 2016):

- **Le renforcement des capacités** : Selon les auteurs ces stratégies constituent la majeure partie des efforts d'adaptation. Elles comprennent la conduite de recherche et la collecte d'informations supplémentaires, l'investissement et la réalisation d'exercices de formations et de planification, l'amélioration de la sensibilisation et de l'éducation du public, la création et le développement d'outils et de ressources, ainsi que le suivi des impacts et de l'efficacité des mesures d'adaptation.
- **Les politiques** : ces stratégies comprennent l'élaboration de plans et de politiques d'adaptation, la création de nouvelles politiques ou l'amélioration de celles existantes et l'élaboration de stratégies de gestion adaptative.

- **La gestion et la conservation des ressources naturelles** : Elles comprennent l'intégration du changement climatique dans les efforts de restauration, l'amélioration de la connectivité et des zones de protection marines, et la réduction des facteurs de stress non climatiques.
- **Infrastructure, planification et développement** : Ces stratégies comprennent l'amélioration des infrastructures existantes ou la conception de nouvelles infrastructures pour résister aux effets du changement climatique ainsi que la création ou la modification de mesures d'aménagement du littoral.

Pour Gregg *et al.* (2016) ces différentes approches ont pour but d'accroître la capacité de planification, de développement et de mise en œuvre des mesures d'adaptation (renforcement des capacités), de répondre de manière adéquate aux impacts du changement climatique (les politiques), de réduire la vulnérabilité et d'accroître la résilience des écosystèmes (gestion et conservation des ressources naturelles), et enfin d'accroître la résilience des habitats naturels (Infrastructure, planification et développement).

3.2.2. L'Australie et la résilience économique des pêcheurs

L'Australie possède l'une des zones économiques exclusives les plus étendues au monde, cependant ses volumes de production halieutique sont jugés très faibles à l'échelle mondiale (Barange *et al.*, 2018). En 2017, les débarquements totaux de produits halieutiques étaient estimés à 166,022 tonnes (ABARES, 2018). En revanche, du fait de la présence d'espèces à hautes valeurs commerciales dans ces débarquements, tels que le thon, le homard, et la crevette, la valeur des débarquements avoisinait 1,742.4 millions de dollars australiens en 2017 (ABARES, 2018). Depuis plusieurs années la valeur de ces productions ne cesse de diminuer et cela à cause non seulement d'une variabilité dans l'abondance des stocks, mais aussi des facteurs économiques tels que le taux de change, le prix du carburant et le prix des poissons, laissant ainsi les pêcheurs et leurs communautés face à une incertitude économique persistante (Norman-López, Pascoe, et Hobday, 2011).

À l'instar des États-Unis, en Australie chaque État gère ses pêcheries côtières à moins de 3 milles marins. Au-delà et jusqu'à 200 milles marins, la gestion revient au gouvernement australien. Ce dernier a confié la gestion des ressources halieutiques du Commonwealth à l'office australien de gestion des pêches (AFMA). Dans le but d'une gestion durable de ses ressources,

l'AFMA applique plusieurs approches dans la gestion globale de la pêche du Commonwealth notamment l'approche de précaution, l'approche écosystémique et la cogestion. Les principales mesures associées à la gestion de la pêche se basent sur un contrôle des intrants (octroi des licences de pêche, définition des saisons et des zones de pêche, et des règles sur les méthodes de pêches); un contrôle des sorties (définition des quantités à débarquer : TAC et QIT). Cependant ces mesures pourraient s'avérer insuffisantes pour faire face aux effets prévus du changement climatique sur l'industrie de la pêche australienne.

Du fait de la position géographique du pays, les eaux australiennes englobent un large éventail d'écosystèmes incluant des systèmes tropicaux à tempérés et abritant des « hot spots » mondiaux dans le réchauffement des eaux de surface (Madin *et al.*, 2012). Plusieurs conséquences du changement climatique y sont déjà observées (Holbrook et Johnson, 2014). Et selon les prévisions des cent (100) prochaines années (Lenton, McInnes, et O'Grady, 2015; cité dans Barange *et al.*, 2018) la température des eaux de surface australiennes devrait augmenter dans les eaux du nord de 1°C dans le scénario de RCP 2.6 et de 2°C dans le scénario RCP 8.5. Dans les eaux du Sud, notamment dans la région du Tasmanie, le réchauffement serait plus important avec une augmentation de 2°C pour le scénario RCP 2.6 et 5°C pour le scénario RCP 8.5. Ce réchauffement prévu impliquera plusieurs autres effets tels qu'une stratification accrue, une diminution des taux d'oxygène, une modification du pH des eaux et une augmentation du niveau des mers (Barange *et al.*, 2018).

Au niveau biologique plusieurs auteurs ont étudié les réponses probables des organismes marins face à ces prévisions climatiques dans la ZEE de l'Australie. Ces réponses déjà observées dans la plupart des cas (Poloczanska *et al.*, 2012; Pearce *et al.*, 2011) diffèrent d'une région à une autre et incluent des effets positifs et négatifs. Elles comprennent (Holbrook et Johnson; 2014; Hobday et Lough, 2011; Hobday, 2010) : les changements d'aires de répartition de plusieurs espèces, la modification dans l'abondance des espèces et du potentiel de capture donnant accès à l'ouverture et/ou la fermeture d'exploitation, la disparition d'habitats essentiels pour certaines espèces.

Cependant, avec les approches de gestion qu'applique l'AFMA (approche de précaution, approche écosystémique et gestion intégrée et d'autres mesures de conservation telles que les taux de capture cible basés sur l'évaluation du rendement maximal durable, les réserves marines

protégées) le pays dispose d'une vaste gamme de stratégies pour renforcer la résilience du système naturel (espèces et écosystèmes) face au changement climatique. Ainsi une grande partie des pêcheries (par exemple les crevettes géantes, les crabes nageurs bleus et les huîtres) pourraient bénéficier des effets du changement climatique dans plusieurs régions.

Au niveau de la résilience socioéconomique, les incertitudes liées à l'ampleur future des impacts biophysiques du changement climatique freinent encore l'élaboration de stratégies d'adaptation appropriées. Pour passer outre ce manque de donnée, Van Putten *et al.* (2013) ont effectué une évaluation qualitative des options d'adaptation pouvant améliorer la résilience économique de la pêche aux langoustes face au changement climatique. En effet le réchauffement des eaux côtières de la Tasmanie a entraîné des changements significatifs de la biodiversité marine dans ces eaux notamment la diminution de la biomasse des stocks de langoustes (Pecl *et al.*, 2009). La langouste est une espèce à haute valeur commerciale et sa pêche représente une manne financière importante pour plusieurs communautés.

Il existerait une multitude d'attributs économiques pouvant améliorer (ou affaiblir) la résilience économique de toute l'industrie de la pêche aux langoustes face aux effets projetés du changement climatique (*Tableau 6*). Pour Van Putten *et al.* (2013) les principaux attributs de la résilience économique des pêcheurs qui affaiblissent de manière significative la résilience de la pêcherie de langouste au changement climatique sont la rentabilité, la combinaison de produits, et l'accès au capital. Ainsi, selon les auteurs pour améliorer la résilience économique des pêcheurs (ou « propriétaires d'actifs » (asset owners)) il faudrait réduire la dépendance croissante des pêcheurs de la location des quotas, diversifier la préférence des consommateurs pour certaines caractéristiques du produit, réduire l'effet potentiellement négatif de la réduction du quota et l'incertitude accrue des « propriétaires d'actifs » (asset owners). Même si l'étude de Van Putten *et al.* (2013) est spécifique au contexte local de la pêche de langoustes en Tasmanie elle fournit quand même une excellente orientation sur les actions d'adaptation qui doivent être soutenues pour préserver les revenus des pêcheurs d'espèces à hautes valeurs commerciales.

Tableau 6 : Résumé de l'évaluation de la résilience économique montrant la correspondance entre les attributs de résilience et les effets du changement climatique (abondance, distribution et phénologie) et la force de ces attributs de résilience.

Niveau	Catégories	Attribut de la résilience	Abondance	Distribution	Phénologie	Force attribut résilience
i) Entreprises (Micro)	Pêcheurs	1) Rentabilité	✓	✓		Noir
		2) Combinaison de produits	✓		✓	
	« Propriétaires d'actifs » (Asset owners) et pêcheurs	3) Rendement du Capital	✓	✓		Blanc
		4) Accès au capital	✓			Noir
ii) Secteur (Meso)	Marché et chaînes d'approvisionnement	5) Diversification			✓	Noir
		6) Circulation de l'information	✓		✓	
		7) Planification sectorielle du changement climatique	✓	✓		
	Flottes	8) Flexibilité des intrants	✓	✓		Gris
		9) Fournitures d'infrastructures		✓		Blanc
iii) Gouvernance (Macro)	Organismes de gestion et les institutions	10) Droits de propriété	✓	✓		Blanc
		11) Cogestion	✓	✓		Blanc
		12) Partage des ressources	✓	✓		Noir

Blanc : forte résilience, Noir : faible résilience, Gris = : neutre

Source : Van Putten *et al.* (2013)

3.3. GESTION DE LA PÊCHE COMMERCIALE DANS L'ESTUAIRE ET LE GOLFE DU SAINT-LAURENT FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La gestion des pêches renvoie aux activités qui visent à améliorer le maintien et l'utilisation des ressources halieutiques ainsi que la promotion du développement des pêches (Parsons, 1995). Cette définition nous renvoie déjà à la dualité qui existait dès le départ sur les différents objectifs de la gestion des pêches. En effet si les biologistes estimaient qu'une gestion efficace devrait partir d'un objectif de rendement maximum soutenu les économistes de leurs côtés prônaient une maximisation du rendement économique net comme objectif de départ de la gestion des pêches (Parsons, 1995).

Le rendement maximum soutenu (ou production maximale équilibrée) correspond au taux maximal auquel une espèce peut croître et être exploitée de façon indéfinie sans qu'elle ne soit mise en péril (Monette, 1986). En d'autres termes c'est l'équilibre entre les taux de captures et la croissance naturelle d'une espèce. Dès le début de la seconde Guerre mondiale, les gestionnaires des pêches à l'écoute des biologistes s'appuyaient sur le rendement maximum soutenu pour établir la réglementation sur les différentes pêcheries et cela à l'échelle mondiale. Il y avait certes là une volonté de développer et de moderniser les différentes pêcheries (Gough, 2008), mais aussi de satisfaire la forte demande de poissons durant la période de guerre.

Cependant cette approche de gestion avait fait l'objet de plusieurs critiques émanant notamment des économistes. D'abord, plusieurs paramètres biologiques tels que la migration des espèces, la variabilité naturelle et les interactions plurispécifiques entre les espèces ne sont pas prises en compte dans la fixation du stock ce qui peut à la longue conduire à une surpêche (Parsons, 1995). Ensuite, pour les économistes, l'objectif de rendement maximum soutenu n'était pas économiquement optimal, car selon la théorie économique de la pêche cet objectif conduirait soit à un surinvestissement dans la ressource (modèle statique) soit à une surexploitation de la ressource (modèle dynamique) (Munro, 1982). Ainsi pour les économistes le niveau optimal d'utilisation d'une pêche serait celui qui maximiserait le revenu économique net.

Ce bref historique nous montre que les résultats d'une gestion efficace et efficiente de la pêche dépendraient ainsi des objectifs de départ. Ces derniers doivent être clairs et précis afin de permettre aux gestionnaires de choisir parmi les multitudes de mesures et règlements existants (*Tableau 7*) ceux bénéfiques au contexte local et actuel. Toutefois, les gestionnaires utilisent

souvent une combinaison d'activités et de réglementations pour atteindre les objectifs fixés (Grafton *et al.*, 2010).

Tableau 7: Les mesures de contrôles de la pêche

Contrôle de la pêche	Contrôle des entrées	Contrôles techniques et temporels	Contrôles spatiaux
Total admissible des captures (TAC)	Contrôles des licences de navires	Longueur de la saison	Zones de « non prises »
Parts de prises allouées	Quotas d'effort	Spécifications des engins de pêche	Droits d'usage territoriaux dans la pêche
Limites de capture	Restrictions concernant les engins et les navires	Restrictions relatives à la taille et au sexe	Licence spatiale de navire individuel

Source : adapté de Grafton *et al.* (2010)

Au Canada, le gouvernement fédéral en vertu de l'Acte de l'Amérique du Nord Britannique (AANB) de 1867 détient l'autorité législative exclusive sur les pêcheries maritimes et continentales. Il exerce son pouvoir en vertu de la loi sur les pêches de 1868 qui établit la répartition et la conservation des ressources halieutiques, mais aussi en vertu d'autres lois telles que : la loi sur les océans, la loi sur la protection des pêches côtières, la loi sur la mer territoriale et les zones de pêches, la loi sur le développement de la pêche, etc.

La modernisation de l'industrie de la pêche, l'évolution des ressources disponibles, mais aussi les changements de régime politique (libéral ou conservateur) ont amené les gestionnaires à modifier à plusieurs occasions les objectifs de gestion et les mesures réglementaires de la pêche. Toutefois ce n'est qu'après l'effondrement des stocks de poissons de fonds que les principaux changements ont eu lieu. Afin de rester en phase avec le développement des technologies de pêches à l'échelle mondiale, dans la deuxième moitié du 20^e siècle, les gouvernants avaient pour but de rendre compétitive l'industrie de la pêche au niveau national. Cela a poussé les gestionnaires à adopter une approche de conservation de la ressource afin d'éviter la surpêche.

Malheureusement cette approche n'était pas accompagnée de mesures réglementaires. En dehors de la licence à entrée limitée instaurée à la fin des années 1960 pour gérer la capacité de pêche et mettre fin à l'accès gratuit et libre aux ressources ; ce n'est qu'en 1970 que les premières règles de contrôle ont vu le jour avec l'adoption d'un total autorisé des captures (TAC). Il s'en est

suivi par la suite d'autres mesures réglementaires essentiellement axés sur le contrôle du volume et de la composition des prises notamment les quotas de capture globaux et individuels, l'accès et l'allocation des ressources, etc. (Parsons, 2010).

À la suite de l'effondrement des poissons de fond le gouvernement a mis en place un moratoire sur la pêche aux poissons de fond, fermant ainsi la pêche pour plusieurs espèces notamment la morue et le sébaste dans le golfe du Saint-Laurent. Par la même occasion des programmes d'aides financiers destinés aux pêcheurs sont mis en place notamment le programme d'assistance et d'ajustement des pêches de l'Atlantique (AFAP) en 1990, le plan d'ajustement et de reconstitution de la morue du nord (NCARP) et le programme d'assistance au poisson de fond de l'Atlantique (AGAP), la stratégie pour le poisson de fonds de l'Atlantique, ou encore le programme canadien d'aide et de restructuration du secteur de la pêche (CFAR) sans oublier l'assurance-emploi dont bénéficient les pêcheurs. Ces programmes avaient pour but d'inciter les pêcheurs à se retirer de la pêche et à se tourner vers d'autres activités génératrices de revenus, tout en leur assurant le maintien de leur revenu antérieur. Même si des sommes colossales (plus de 4 milliards de dollars) ont été injectés dans l'industrie de la pêche dans le cadre de ces programmes, ils n'ont pas apporté un changement majeur dans le secteur (Gough, 2008). En effet pour des raisons souvent culturelles peu de pêcheurs étaient résignés à quitter la pêche (Vilhjálmsson *et al.*, 2005).

De même dans le but de favoriser l'implication des communautés autochtones (Micmaques et Malécites au Québec) dans la pêche commerciale, le gouvernement a mis en place en 1992 la stratégie relative aux pêches autochtones. À ce titre des licences communautaires ont été accordées à ces derniers, leur donnant droit non seulement à une pêche de subsistance, mais aussi à une pêche commerciale.

L'effondrement des stocks de poisson de fond, considéré comme étant la conséquence d'une part de la confiance excessive dans la gestion des quotas, du processus d'établissement et de division du TAC et d'autre part de la relation conflictuelle entre les gouvernements et les pêcheurs (Charles, 1997) a conduit les autorités à repenser à leur approche de gestion. Cette fois-ci les objectifs de gestion sont plus axés sur la conservation durable de la ressource que sur l'objectif économique.

3.3.1. Les différentes mesures de gestion régissant la pêche aux homards crabes des neiges et crevettes nordiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent

La pêche commerciale au homard, crabe des neiges et crevette nordique est sous la gouvernance du ministère des Pêches et des Océans et les activités de pêche sont soumises à la Loi sur les pêches de 1868, au Règlement de pêche de l'Atlantique de 1985 et au Règlement de pêche. Le MPO définit la gestion globale des pêches maritimes en établissant entre autres les zones géographiques de pêches, les saisons de pêches, les espèces contingentées ou non, les espèces cibles et les espèces menacées, les méthodes et techniques de pêche, le nombre et la délivrance des permis.

Le MPO a divisé le grand bassin Atlantique en quatre régions administratives à savoir la région du Québec, la région du Golfe, la région Maritime-Scotia-Fundy, et la région de la Terre-Neuve et Labrador. Notre zone d'étude est partagée entre la région du Québec et la région du Golfe qui a été constitué officiellement en 1982. Des zones de pêches sont définies dans chaque région administrative afin de soutenir la gestion de la pêche. Dans le but d'associer tous les acteurs de pêches dans sa gestion, un comité consultatif est mis en place pour chaque espèce. Ces comités regroupent des représentants de toutes les entités (Premières nations, pêcheurs, représentants de pêcheurs de chaque zone de pêche, les transformateurs et les agents des gouvernements provinciaux et fédéraux) afin de discuter des questions liées à la gestion globale de la pêche (MPO, 2015).

De même un plan de gestion intégrée des pêches (PGIP) a été mis en place pour le homard le crabe des neiges et la crevette nordique. Le but de ces PGIP est de définir les principaux objectifs de gestion applicables à la pêche de ces trois espèces ainsi que les mesures de gestion pour les atteindre (MPO, 2015). En comparant ces différents plans de gestion, nous remarquons que les objectifs de gestion de ces trois espèces restent globalement les mêmes et sont orientés vers la **conservation des stocks**, la **protection de l'écosystème**, l'**intendance partagée** et la **prospérité économique** de la pêche. Seuls les enjeux et les mesures de gestion diffèrent d'une espèce à une autre et d'une zone de pêche à une autre. Nous avons rassemblé les informations réunies dans les différents PGIP afin de donner un aperçu de la gestion de nos espèces dans les zones exclusives de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

i. Les mesures de gestion de la pêche aux homards

La pêche au homard dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent se déroule à l'aide de casiers appâtés sur fond marin. Elle est gérée sans contingent, en d'autres termes seul l'effort de pêche est limité et non la quantité individuelle ou collective à pêcher. Outre la restriction sur le nombre de permis qui limite l'entrée dans l'industrie de capture, les gestionnaires imposent les limitations suivantes aux homardiers.

- Durée déterminée de la saison et des zones de capture
- Nombre et taille de casier à mettre à l'eau
- Taille minimale de la carapace
- Remise à l'eau des femelles œuvées

L'effort de pêche dans la capture du homard est basé sur une évaluation trisannuelle du stock de homard, cependant il est souvent jugé trop élevé. Selon Parsons (2010), l'exploitation du homard ne pourrait continuer à prospérer sous sa forme de gestion actuelle. Il appuie les recommandations du Conseil pour la conservation des ressources halieutiques (MPO, 2007) sur la nécessité de l'industrie d'ajuster et de contrôler l'effort de pêche afin de maintenir un équilibre avec les ressources disponibles.

ii. Les mesures de gestion de la pêche aux crabes des neiges

À l'instar de la pêche au homard, la pêche au crabe des neiges s'effectue par mise à l'eau de casiers appâtés. Dans le souci de réglementer cette exploitation commerciale, l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent ont été divisés en une vingtaine de zones de pêche aux crabes des neiges (ZPC). C'est une pêche contingentée avec un total autorisé de captures qui est fixé chaque année en fonction de l'état du stock, des points de références biologiques et en tenant compte aussi du cycle biologique de l'espèce. Le TAC est partagé en quotas individuels, pour chaque zone de pêche, entre les flottilles côtières et semi-hauturières qui pratiquent cette pêche dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

Elle ne cible que les mâles adultes ayant subi leur dernière mue la pêche aux femelles étant formellement interdite. Un vérificateur à quai permet de comptabiliser les volumes de débarquement de chaque pêcheur. Les autres mesures de gestion de cette pêche sont:

- Une durée limitée de la saison de pêche
- Une restriction du nombre de casiers et de la taille du maillage
- La remise l'eau des crabes femelles
- Une limite de la taille minimale de la carapace
- Les fermetures des zones où sont abondants des crabes à carapace molle ou blanche

Outre le vérificateur à quai une surveillance en mer est effectuée par des observateurs agréés pour le respect notamment de la protection des espèces en péril ou du rejet sélectif en mer.

iii. Les mesures de gestion de la pêche aux crevettes nordiques

La pêche aux crevettes nordiques constitue aussi une pêche contingentée tout comme le crabe des neiges. De même un total admissible de captures est mis en place et divisé en quotas individuels pour chaque pêcheur. Ces derniers peuvent transférer une partie ou la totalité de leur quota entre eux et de façon temporaire ou permanente. Les autres mesures sont entre autres:

- L'utilisation de maillage minimal
- L'utilisation de la grille Nordmore (pour réduire les prises accidentelles)
- La vérification à quai et la surveillance à bord

Outre ces mesures de gestion des plans d'aide financiers sont souvent mis en place pour aider les pêcheurs de ces trois espèces, notamment en 2009 après la crise économique et en 2006 à la suite de l'ajustement des TAC afin de satisfaire le volume de quotas des Premières Nations participant à la pêche aux crustacés.

Dans le cadre de ces plans de gestion, plusieurs mesures de contrôle à la fois du volume et de la composition des stocks sont mises en place dans l'objectif de conserver les ressources à un niveau d'exploitation durable. Cependant plusieurs insuffisances restent à combler. Le tableau (8) résume des lacunes relevées par le Bureau du vérificateur général dans la gestion globale de la pêche. Ce rapport qui datait de 2011 reste d'actualité, car la plupart de ces préoccupations (à l'exception des aires marines protégées) se retrouvent encore dans le rapport de 2016 du Commissaire à l'environnement et au développement durable.

Tableau 8 : Les principales préoccupations du Bureau du vérificateur général sur la gestion des pêches au Canada

Environnementales :	L'absence de progrès quant à la mise en place des aires marines protégées Le déclin de la santé et de la qualité du milieu marin, y compris, dans certains cas, le déclin des prises
Économiques	La gestion lente et inefficace de la surcapacité de la flotte de pêche;
Ententes de gouvernance :	La confusion relativement au partage des responsabilités avec les gouvernements provinciaux et les partenaires de l'industrie; Les occasions manquées de faire participer les pêcheurs aux décisions sur la gestion de la ressource halieutique;
Surveillance et application de la loi :	La piètre surveillance de l'habitat du poisson; Les lacunes dans le contrôle et la surveillance; Les mécanismes d'application de la loi non adéquats
Lois et politiques :	Les lois qui ne sont pas adaptées aux exigences actuelles; Les objectifs de gestion peu clairs, sans description de résultats précis; L'extrême lenteur des progrès en gestion intégrée des océans, notamment la gestion des compromis entre les utilisations conflictuelles; L'absence de politique clairement énoncée pour assurer la durabilité des pêches

Source : Adapté du Rapport du commissaire à l'environnement et au développement durable (décembre 2011)

Comme nous l'avons mentionné plus haut, les critiques qui ont suivi l'effondrement des poissons de fond ont portés exclusivement sur le système de gestion de la ressource. Même si actuellement des efforts majeurs sont en train d'être effectués pour limiter les effets anthropiques, le changement climatique constituera un défi additionnel pour les gestionnaires de pêche. Par conséquent, il serait primordial d'inclure les approches d'adaptation au changement climatique dans les objectifs et stratégies de gestion de la pêche dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

3.3.2. Discussion sur les stratégies d'adaptation au changement climatique de l'industrie de capture au homard crabe des neiges et crevette nordique dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

L'analyse des impacts du changement climatique sur l'industrie de la pêche dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent révèle des modifications futures tant au niveau du système naturel (ressource et écosystème) qu'au niveau du système humain (pêcheurs, communautés, etc.). Dans plusieurs régions maritimes du globe, les changements subites de la température (vague de chaleur dans le nord-ouest Atlantique en 2012) ou les extrêmes climatiques constituent les facteurs déclenchant des réponses adaptatives (Mills *et al.*, 2013). Cela conduit souvent à des réponses tardives ou inadaptées. À l'opposé de ces régions, les acteurs de la pêche au niveau de notre zone d'étude notamment les gouvernants et les gestionnaires ayant déjà un aperçu sur les changements potentiels devraient dès maintenant intégrer des stratégies d'adaptations dans le cadre de la gestion des pêches.

Dans notre zone d'étude, plusieurs stratégies ont été mises en œuvre ou sont en voie de l'être pour assurer la gestion de la ressource. Cependant ces stratégies n'ont pas suffisamment été évalué pour connaître leur efficacité face aux impacts possibles du changement climatique. Néanmoins, les deux études de cas que nous avons présenté plus hauts nous suggèrent que des stratégies d'adaptation basées sur l'amélioration de la résilience des systèmes naturels et humains ne pourraient qu'être bénéfique pour la ressource et la société (Van Putten *et al.*, 2013). Ainsi en s'inspirant de ces deux études de cas, nous allons dans cette dernière section identifier des orientations possibles qui permettront d'adapter le secteur des captures commerciales face aux effets prévus du changement climatique sur l'écosystème de l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Les réactions d'adaptations ayant tendance à s'ajuster dans le temps (Vilhjálmsson *et al.*, 2005) les orientations tiendront ainsi compte des enseignements tirés de l'expérience des années 90 (avant et après moratoire) afin de ne pas répéter les mêmes erreurs de gestion.

i. Stratégies d'adaptation pour les espèces commerciales

L'objectif de l'adaptation ici sera d'assurer la pérennité des stocks de nos trois espèces commerciales. Il ne s'agira pas de mettre en place de nouveaux outils de gestion, mais d'ajuster ceux existants comme le suggèrent Grafton *et al.* (2010). Concrètement il s'agira d'améliorer les mesures de gestion utilisées dans les approches qu'applique le MPO afin d'accroître la résilience

des espèces et réduire leurs fluctuations face aux effets climatiques. Les gestionnaires pourraient tenir compte des mesures de gestion suivantes, sans toutefois s'y limiter, pour adapter ces trois espèces.

- **Renforcement des capacités** (Gregg *et al.*, 2016) : L'une des principales conclusions de l'étude de Cheung *et al.* (2011) sur les déplacements futurs des espèces dus au changement climatique, dans les écorégions marines du Canada, était que l'incertitude caractérisée les projections. Dès lors le gouvernement devrait investir davantage sur la recherche scientifique afin d'améliorer les connaissances sur les projections climatiques et sur l'ampleur de leurs effets sur l'écosystème. Ensuite, il faudrait multiplier les études sur les réponses biologiques des espèces face à une modification des paramètres environnementaux. Avec les résultats de ces études, les gestionnaires seront plus en mesure d'arrimer les méthodes de gestion en fonction des projections climatiques et des réponses biologiques.
- **Flexibilité des outils de gestion** (Holsman *et al.*, 2019) : La plupart des outils de gestion utilisés dans la pêche de ces trois espèces sont adaptatifs (quotas de pêche, niveau d'allocation, zone de pêche, etc.). Pour répondre efficacement au changement climatique, ces outils devraient être flexibles afin de suivre l'évolution climatique.
 - **Ajustement des points de références et des allocations** (Morrison et Termini, 2016): La gestion des espèces étudiées est basée sur une évaluation du stock pour déterminer l'effort de pêche pour le homard et le niveau des quotas pour le crabe des neiges et la crevette nordique. Ces évaluations n'intègrent pas souvent les éléments spécifiques de la variation climatique. Or les projections stipulent un possible changement de l'abondance des stocks dans le court terme. Les gestionnaires devraient mettre en place un système de surveillance afin de pouvoir ajuster au besoin les points de références pour chaque espèce et implicitement leurs niveaux d'allocations. De même la croissance rapide des espèces due au réchauffement nécessiterait un ajustement des saisons de pêches (Brzeski, 2011).
 - **Ajustement de la gestion spatiale** : Le déplacement des stocks vers le nord en réponse au réchauffement des eaux du sud affecterait les pêcheurs des zones de pêches dans la limite sud du golfe et dans l'estuaire du Saint-Laurent. Pour permettre l'accès aux ressources, l'allocation spatiale des zones de pêches devrait intégrer ces déplacements futurs et réduire le nombre des zones de pêches.

- **Restrictions liées à la taille du homard** (Le Bris *et al.*, 2018) : D'une part les mesures concernant la taille minimale du maillage devraient changer afin de réduire les prises de homard à carapace molle. Et d'autre part, dans le souci de préserver les grands homards reproducteurs, des restrictions concernant la limite supérieure de la taille des homards devraient être imposées. Cette dernière mesure est importante dans le sens où selon Le Bris *et al.* (2018) l'absence de cette mesure a été un des éléments déterminants dans le déclin des homards au niveau de la Nouvelle-Angleterre.
- **Réouverture de la pêche aux poissons de fonds** : le réchauffement des eaux pourrait favoriser le retour de certains stocks de poissons de fonds. Ces stocks tels que le sébaste, le flétan, commencent à montrer des signes de rétablissement avec des hausses constantes de leur niveau de biomasse. Il est donc crucial dès à présent de suivre de près cette évolution afin de pouvoir modifier au besoin leur effort de pêche. Dans le cas où l'augmentation des stocks de poissons de fonds resterait sur la même tendance, il serait important de rouvrir leurs pêcheries. La plupart des poissons de fonds constituent des prédateurs pour les crustacés. Rouvrir leurs pêches permettra de limiter la prédation sur nos trois espèces.

ii. **Stratégies d'adaptation pour l'écosystème de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.**

Les gestionnaires de Pêches et Océans Canada appliquent déjà l'approche écosystémique dans la gestion des pêches de nos trois espèces. L'approche permet d'identifier les interactions entre les principaux composants de l'écosystème notamment les espèces et leurs habitats. Intégrer les facteurs climatiques dans l'approche écosystémique permettra la conservation et la restauration durables des écosystèmes sains et productifs. Cela passera entre autres par :

- **La réduction des facteurs de stress non climatiques sur l'écosystème.** Ceci permettrait de réduire la vulnérabilité de l'écosystème de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent au changement climatique. Par exemple la diminution de la pollution marine pourrait limiter l'eutrophisation de certains milieux et rendrait les eaux de l'estuaire et du golfe moins propice à la désoxygénation. Cela passe par la réduction des déchets domestiques et des déversements des entreprises de transformation marine, mais aussi par le fait de limiter l'introduction des

espèces envahissantes par le transport et la navigation maritime. Par ailleurs pour limiter la pollution marine, il serait aussi important de rendre obligatoire dès à présent l'ajout de l'étiquette « Danger pour le milieu aquatique » aux produits présentant un danger pour l'écosystème marin. Ces produits peuvent souvent se retrouver sur les embarcations des pêcheurs ou utilisés inconsciemment par les usines de transformation et par les communautés côtières.

- **Le progrès technique pour améliorer les pratiques de pêche:** Des navires et des engins de pêche plus performants permettraient de limiter leurs impacts sur l'écosystème notamment : les prises accessoires, la pollution sonore, les accidents avec les mammifères marins (baleines et autres). De même ces engins permettraient de réduire la consommation de carburant et ses effets sur les émissions de gaz à effet de serre.
- **L'écolabellisation :** Encourager les pêcheurs à des pratiques de pêches certifiées (MSC par exemple) pourrait réduire l'impact de la pêche sur les stocks et sur l'écosystème marin.
- **L'élargissement des réseaux d'aires marines protégés :** Cette mesure est aujourd'hui incontournable pour l'adaptation du système naturel face au changement climatique. En limitant les facteurs de stress non climatiques, les aires marines permettraient d'accroître la résilience des espèces et des habitats cibles face au changement climatique. De même elles constituent une occasion édifiante pour comprendre les mécanismes naturels et écologiques du changement climatique (Keller *et al.*, 2009).

iii. Une gestion proactive pour renforcer la résilience économique des pêcheurs de homard de crabe et de crevette dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent

L'effondrement des poissons de fonds dans les années 90 avait laissé plusieurs pêcheurs dans un gouffre financier. Les sommes importantes injectés à l'époque par le gouvernement dans des programmes d'aides financières aux pêcheurs n'ont pas empêché l'industrie de pêche de subir une crise économique sans précédente. Afin de ne pas répéter les mêmes erreurs il serait opportun pour les gestionnaires de mettre en place des stratégies d'adaptations pour renforcer la résilience économique des pêcheurs face une crise éventuelle due au changement climatique. Ces stratégies devraient renforcer la capacité de l'industrie de capture à absorber les perturbations tout en conservant au mieux son mode de fonctionnement. Elles nécessiteront une combinaison à la fois

des actions du gouvernement, mais aussi d'une volonté des pêcheurs. Nous avons retenu des mesures clés sur lesquelles les gestionnaires peuvent s'appuyer sans toutefois s'y limiter.

- **Sensibilisation des pêcheurs et de leurs communautés :** Tout d'abord il incombera aux gestionnaires de sensibiliser les pêcheurs sur les enjeux liés au changement climatique et de s'assurer qu'ils comprennent les risques y afférant. Concrètement il s'agira de les prévenir sur les modifications futures concernant les mesures et règlements dans la gestion des pêches, mais aussi de leur fournir l'information nécessaire concernant les prévisions sur les stocks des espèces exploitées. Ainsi les pêcheurs pourraient intégrer ces informations dans leurs choix d'investissement (achat ou vente de permis, changement de bateaux ou recrutement de main-d'œuvre etc.).
- **Amélioration de la rentabilité de la pêche (prix et coûts) :** Parmi les effets potentiels du changement climatique, il est prévu une hausse des coûts d'exploitation. Afin de préserver au mieux les revenus des pêcheurs face aux effets du changement climatique, le gouvernement pourrait apporter certains ajustements notamment sur les coûts variables et les déterminants du prix des produits. Par exemple, il pourrait agir sur le coût des intrants (diversification des appâts ou diminution du prix des poissons-appâts comme le hareng) et sur les taxes (baisse des coûts de vérification à quai et des observateurs en mer).
De même le gouvernement pourrait agir sur les déterminants du prix des crustacés afin d'atténuer les pertes de revenus dues aux baisses soit du volume soit de la qualité des débarquements. Par exemple dans notre zone d'étude une grande partie des produits débarqués est vendue en dehors du pays. Si le gouvernement arrivait à stimuler la demande locale, ces exportations seraient écoulées sur le marché intérieur. Cela permettrait au gouvernement d'avoir plus de souplesse dans la fixation d'un prix au débarquement qui profiterait aux pêcheurs.
- **La flexibilité de la chaîne d'approvisionnement** (Morrison et Termini, 2016) : L'abondance prévue à court terme dans les stocks de poissons et de crustacés nécessiterait de réadapter la chaîne d'approvisionnement. Cela passera par :
 - Un réaménagement des usines de transformations afin d'accueillir à la fois les surplus de stocks de crustacés, mais aussi des nouveaux stocks de poissons de fonds. Il ne serait pas nécessaire d'en construire de nouvelles dans les régions Nord même s'il est prévu un déplacement des ressources vers ces zones. Néanmoins

l'État pourrait faciliter les itinéraires afin d'acheminer les débarquements des ports aux anciennes usines.

- La mise en valeur des produits dérivés tels que les coquilles de crabe et de homard, grâce à la recherche et à l'innovation.
- **Leçons tirées de la gestion passé :** Les décisions économiques du gouvernement tiennent une place importante dans l'adaptation au changement climatique. La situation actuelle de la pêche ressemble à s'y méprendre à la situation après élargissement à 200 miles de la zone économique exclusive. Dès lors il est important pour le gouvernement canadien de ne pas refaire les mêmes erreurs de gestion qui avaient mené au moratoire sur les poissons de fonds
 - **Délai de réaction (Vilhjálmsson *et al.*, 2005):** L'intervention de l'État dans le déclin des poissons de fonds avait été jugée lente et tardive. Actuellement les premiers signes de changement sur l'environnement commencent déjà à se faire sentir au niveau de la région (réchauffement des eaux, diminution de la biomasse planctonique, augmentation croissante des poissons de fonds). Dès lors il serait justifié pour le gouvernement et les gestionnaires de prendre dès à présent les mesures idoines afin d'accompagner les pêcheurs et leurs communautés pour faire face à cet avenir encore incertain.
 - **Flexibilité des permis de pêche :** Nous avons signalé plus haut la nécessité de surveiller les stocks de poissons de fonds afin de pouvoir rouvrir à temps leurs pêcheries. Cependant cette réouverture ne devrait pas être synonyme de nouveaux arrivants dans la pêche. Les permis de pêche aux poissons de fond devraient être attribués exclusivement aux homardiens, crabiers et crevettiers dans la région de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Cela permettrait aux pêcheurs de pouvoir ajuster les débarquements en fonction de l'abondance des crustacés ou des poissons de fonds et réduire ainsi leur sensibilité socio-économique par rapport au changement climatique (Morrison et Termini, 2016).
 - **Élimination des subventions :** La hausse prévue à court terme dans les stocks de crabes et de homards et/ou le retour potentiel des poissons de fonds ne devraient en aucun cas impliquer un financement de l'expansion du secteur. En effet, même s'il réside encore de l'incertitude dans l'ampleur des effets climatiques dans le long

terme, nous avons déjà un aperçu quant à la direction de ces effets. Il ne serait donc pas nécessaire pour le gouvernement de subventionner l'expansion du capital et de la main d'œuvre dans le secteur de la capture. À la place de ces subventions, le gouvernement pourrait mettre en place des mesures dissuasives comme le programme de rachat incitatif des permis de pêche afin de sortir le plus de pêcheurs de cette activité (Vilhjálmsson *et al.*, 2005).

- **Réduction de la dépendance des communautés à la pêche.** Le secteur de la pêche occupe une place importante dans les régions côtières de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Pour la plupart des pêcheurs, les revenus issus des débarquements constituent leur unique source de revenu, ce qui traduit une grande sensibilité socioéconomique de ces communautés à la pêche. Le développement des structures sociales et économiques dans ces régions pourrait renforcer la capacité économique des pêcheurs et augmenter ainsi leur résilience face aux effets climatiques (Grafton *et al.*, 2010). Ce développement économique passerait par :
 - **Une diversification des moyens de subsistance :** La capture ne constitue pas la seule activité marine à disposition des pêcheurs. Ces derniers pourraient profiter des autres services écosystémiques que procure l'écosystème de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent tels que le tourisme maritime (pêche récréative, observation des baleines, navigation de plaisance, etc.); la culture d'algues pour la production de biocarburants (aujourd'hui possible avec les algues marines (Georgianna *et al.*, 2013). De même le gouvernement pourrait promouvoir la formation des jeunes pêcheurs à d'autres métiers en lien avec leur contexte régional.
 - **Une assurance pour le revenu des pêcheurs** (Morrison et Termini, 2016) : il s'agira pour le gouvernement de développer un régime d'assurance et d'en assurer une accessibilité exclusive aux pêcheurs de telle sorte que ces derniers pourraient maintenir leurs revenus lors des mauvaises saisons.
 - **Aquaculture:** le réchauffement des eaux pourrait accroître les possibilités d'aquaculture (Vilhjálmsson *et al.*, 2005) qui constitue à elle seule une activité pouvant répondre à plusieurs défis que pose le changement climatique. D'abord elle permettrait de générer des revenus stables pour les aquaculteurs, ensuite de satisfaire la demande locale en ressources halieutiques. Le réchauffement des eaux

pourrait permettre l'élevage d'espèces à eaux chaudes. Enfin l'aquaculture pourrait permettre à plusieurs pêcheurs qui pour des raisons souvent culturelles ne voudraient pas sortir de la pêche de rester dans une activité maritime. Toutefois il serait important que le gouvernement et les gestionnaires accompagnent les aquaculteurs (formations des pêcheurs, technologies de culture, choix des espèces élevées) afin de limiter les externalités négatives de l'activité aquacole qui nuiraient à l'écosystème marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

Pour conclure, toutes les stratégies d'adaptations que nous avons formulées rentrent dans le cadre d'une gestion durable de la pêche (conservation de la ressource, préservation de l'écosystème et amélioration de la situation socioéconomique des pêcheurs). En d'autres termes avec ou sans effets du changement climatique ces mesures de gestion ne seraient qu'avantageuses pour l'industrie. Cependant il faudrait que ces mesures soient mises en place avant même que le secteur ne subisse les effets négatifs du changement climatique. Un retard dans leurs mises en place pourrait exacerber les effets du changement climatique notamment sur le plan économique. Ceci démontre de l'urgence actuelle pour la mise en place de ces stratégies de gestion pour adapter l'industrie de capture de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent au changement climatique.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES POUR DE NOUVELLES RECHERCHES

Le changement climatique exacerberait les effets des activités anthropiques sur les écosystèmes et particulièrement les écosystèmes marins. En modifiant les propriétés physico-chimiques qui soutiennent la productivité marine telles que le réchauffement des eaux, le niveau de pH, de salinité et d'oxygène dissout, les effets du changement climatique influenceraient le fonctionnement et la productivité des organismes marins. Ils modifieraient aussi la distribution géographique de plusieurs espèces commerciales et cela dans différentes zones économiques exclusives.

La pêche constitue un secteur économique important dans les régions côtières de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Elle constitue une activité génératrice d'emploi et de revenus pour plusieurs communautés côtières. Pour cette raison, des efforts considérables ont été consentis par les autorités pour préserver non seulement les ressources, mais aussi leurs exploitants afin que ces derniers n'aient plus à subir de décision extrême telle que le moratoire. Cependant, il ne demeure pas moins que le secteur est menacé par les effets probables du changement climatique sur l'écosystème de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent et sur les principales espèces qui y sont exploitées que sont le homard, le crabe des neiges, et la crevette nordique. D'après notre analyse de la littérature scientifique, les principales menaces qui pèseraient sur ces trois espèces seraient susceptibles de modifier à court terme le rythme de production et de croissance de ces espèces, et à long terme leur distribution géographique. Cependant notre analyse théorique ne nous a pas permis d'avoir une mesure des impacts à court terme sur le volume de débarquements futurs, ni les distributions futures dans le long terme pour les différentes zones de pêche de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. La non-utilisation d'un modèle DBEM afin d'effectuer cette évaluation quantitative reste la principale limite de ce travail.

Toutefois grâce aux résultats des études scientifiques nous avons déjà une idée de la direction des effets potentiels du changement climatique sur nos espèces cibles. Dès lors, les autorités de la pêche doivent commencer à examiner des stratégies d'adaptation à inclure dans la gestion des pêches afin d'atténuer les effets négatifs de ces changements sur l'écosystème marin, sur les ressources halieutiques, sur la situation socioéconomique des pêcheurs. Pour ce faire, les autorités devraient commencer par mettre en place une équipe de recherche impliquant à la fois des spécialistes de différents ministères (Pêches et Océans Canada, Environnement et Changement

Climatique, Innovation Sciences et Développement économique Canada, Emplois et Développement Social Canada), mais aussi des différents gouvernements provinciaux (Québec, Terre-Neuve-et-Labrador, Île-du-Prince-Édouard, Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse) afin de s'assurer que les stratégies mises en place traitent les impacts sur les différents secteurs liés, d'éliminer le chevauchement des efforts, et d'arrimer les décisions prises.

Des recommandations ont été formulé dans le cadre de travail quant aux stratégies d'adaptations à mettre en place. Ces stratégies d'adaptations notamment celles pour améliorer la résilience des espèces et de l'écosystème, qui consiste surtout à une gestion durable de ces derniers, peuvent être considérer comme des stratégies « sans regret », car elles seraient aussi bénéfiques avec ou sans les effets du changement climatique. Pour les stratégies pouvant assurer une stabilité économique aux pêcheurs face aux effets du changement climatique nous avons mis l'accent sur le fait que les autorités devraient mettre en place des mesures incitatives pour sortir le plus de pêcheurs de l'activité de pêche. Cela se justifie par le caractère incertain des prévisions sur lesquelles se basent les travaux scientifiques et subséquentement notre analyse. En effet, s'il arrivait que les variations climatiques soient au-delà de celles prévues, les stratégies de gestion risqueraient d'être tout simplement inefficaces pour conserver les ressources mettant ainsi en péril la situation économique des pêcheurs. Cette éventualité devrait amener les autorités à réfléchir dès maintenant sur les futures utilisations possibles de l'écosystème marins de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en dehors de la pêche notamment l'extraction d'hydrocarbures, les énergies marines renouvelables, et le transport maritime.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aaheim, A., & Sygna, L. (2000). *Economic impacts of climate change on tuna fisheries in Fiji Islands and Kiribati*. Retrieved from Oslo, Norway:
- ABARES. (2018). *Australian fisheries and aquaculture statistics 2017*. Fisheries Research and Development Corporation project 2018-134 Canberra December. CC BY 4.0. <https://doi.org/10.25814/5c07b19d3fec4>.
- Aguilar Ibarra, A., Sanchez Vargas, A., & Martinez Lopez, B. (2013). Economic impacts of climate change on two Mexican coastal fisheries: Implications for food security. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 7(2013-36), 1-38.
- Aiken, D., & Waddy, S. (1986). Environmental influence on recruitment of the American lobster *Homarus americanus*: a perspective. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43(11), 2258-2270.
- Allen, J. A. (1959). On the biology of *Pandalus borealis* Krøyer, with reference to a population off the Northumberland coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 38(1), 189-220. doi:10.1017/S002531540001568X
- 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. doi:10.1111/j.1467-2979.2008.00310.x
- Anderson, D. M., Burkholder, J. M., Cochlan, W. P., Glibert, P. M., Gobler, C. J., Heil, C. A., . . . Townsend, D. W. (2008). Harmful algal blooms and eutrophication: examining linkages from selected coastal regions of the United States. *Harmful Algae*, 8(1), 39-53.
- Anderson, P. J., & Piatt, J. F. (1999). Community reorganization in the Gulf of Alaska following ocean climate regime shift. *Marine Ecology Progress Series*, 189, 117-123. doi:10.3354/meps189117
- Arnason, R. (2007). Climate change and fisheries: assessing the economic impact in Iceland and Greenland. *Natural Resource Modeling*, 20(2), 163-197.
- Arnason, R., Kobayashi, M., & de Fontaubert, C. (2017). The Sunken Billions Revisited: Progress and Challenges in Global Marine Fisheries. *Washington DC: World Bank*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1596/978-1-4648-0919-4>.
- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M., Cochrane, K., Funge-Smith, S., & Poulain, F. (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper (FAO) eng no. 627*.
- Barange, M., Merino, G., Blanchard, J., Scholtens, J., Harle, J., Allison, E., . . . Jennings, S. (2014). Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries. *Nature Climate Change*, 4(3), 211-216.
- Barange, M., & Perry, R. I. (2009). Physical and ecological impacts of climate change relevant to marine and inland capture fisheries and aquaculture. In K. Cochrane, C. De Young, D. Soto, & T. Bahri (Eds.), *Climate change implications for fisheries and aquaculture: : overview of current scientific knowledge*. (pp. 7-106). Rome: FAO Technical Paper. No. 530,.
- Beaugrand, G. (2014). *Marine biodiversity, climatic variability and global change*: Routledge.

- Beaugrand, G., & Goberville, E. (2010). Conséquences des changements climatiques en milieu océanique. *VertigO-La revue électronique en sciences de l'environnement*(Hors-série 8).
- Beaugrand, G., Lenoir, S., Ibanez, F., & Manté, C. (2011). A new model to assess the probability of occurrence of a species, based on presence-only data. *Marine Ecology Progress Series*, 424, 175-190.
- Beaugrand, G., Reid, P. C., Ibanez, F., Lindley, J. A., & Edwards, M. (2002). Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science*, 296(5573), 1692-1694.
- Bell, J. D., Reid, C., Batty, M. J., Allison, E. H., Lehodey, P., Rodwell, L., . . . Hobday, A. J. (2011). Implications of climate change for contributions by fisheries and aquaculture to Pacific Island economies and communities. In *Vulnerability of tropical Pacific fisheries and aquaculture to climate change* (pp. 733-801).
- Béné, C., Hersoug, B., & Allison, E. H. (2010). Not by rent alone: analysing the pro-poor functions of small-scale fisheries in developing countries. *Development Policy Review*, 28(3), 325-358.
- Benoît, H. P., Gagné, J. A., Savenkoff, C., Ouellet, P., Bourassa, M. N., & Canada. Ministère des pêches et des, o. (2012). *Rapport sur l'état des océans pour la zone de gestion intégrée du golfe du Saint-Laurent (GIGSL)*. (0706-6589;1488-5468;). Moncton, N.B: Gulf Fisheries Centre ; Mont-Joli, Que.
- Booth, D. J., Poloczanska, E., Donelson, J. M., Molinos, J. G., & Burrows, M. (2017). Biodiversity and climate change in the oceans. *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis*, 1, 63-89.
- Bourduas Crouhen, V., Siron, R., & Blondot, A. (2017). *États des lieux des pêches et de l'aquaculture au Québec en lien avec les changements climatiques*. Montréal, Québec: Ouranos.
- Boyce, D. G., Lewis, M. R., & Worm, B. (2010). Global phytoplankton decline over the past century. *Nature*, 466(7306), 591.
- Boyer, T. P., Levitus, S., Antonov, J., Locarnini, R., & Garcia, H. (2005). Linear trends in salinity for the World Ocean, 1955–1998. *Geophysical Research Letters*, 32(1).
- Brander, K. (2010). Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*, 79(3-4), 389-402.
- Brander, K. M. (2005). Cod recruitment is strongly affected by climate when stock biomass is low. *ICES Journal of Marine Science*, 62(3), 339-343. doi:10.1016/j.icesjms.2004.07.029
- Brzeski, V. (2011). *Comment adapter l'industrie des pêches de la région du Canada atlantique aux changements climatiques?* Retrieved from
- Burkett, V., & Davidson, M. (2012). *Coastal impacts, adaptation, and vulnerabilities: a technical input to the 2013 National Climate Assessment* (V. Burkett & M. Davidson Eds.). Washington, D.C.: Island Press.
- Caldeira, K., & Wickett, M. E. (2003). Oceanography: anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425(6956), 365.
- Chabot, D., & Claireaux, G. (2008). Environmental hypoxia as a metabolic constraint on fish: the case of Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Marine Pollution Bulletin*, 57(6-12), 287-294.
- Chabot, D., & Gilbert, D. (2013). Description of the Atlantic Large Aquatic Basin as a habitat for marine fish and invertebrates. In N. L. Shackell, B. J. W. Greenan, P. Pepin, D. Chabot, & A. Warburton (Eds.), *Climate change impacts, vulnerabilities and opportunities analysis of the marine Atlantic Basin* (Vol. 3012, pp. 1-15). Dartmouth, NS: Pêches et océans Canada.

- Chabot, D., & Guénette, S. (2013). Physiology of water breathers: effects of temperature, dissolved oxygen, salinity and pH. *Climate change impacts, vulnerabilities and opportunities analysis of the marine Atlantic Basin. Sous la direction de NL Shackell, BJW Greenan, P. Pepin, D. Chabot et A. Warburton. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci, 3012*, 16-44.
- Chabot, D., Guenette, S., & Stortini, C. (2013). A review of the physiological susceptibility of commercial species of fish and crustaceans of the northwest Atlantic to changes in water temperature, dissolved oxygen, pH and salinity. In (pp. 83-168).
- Chantraine, P. (1992). *La dernière queue de morue: comment l'ignorance et la cupidité ont mis en péril l'une des plus vastes ressources alimentaires du monde: les Grands Bancs de Terre-Neuve*: Outremont [Québec]: L' tincelle.
- Charles, A. T. (1997). Fisheries management in Atlantic Canada. *Ocean & Coastal Management, 35*(2-3), 101-119.
- Chaussade, J. (1983). *La peche et les pecheurs des provinces maritimes du Canada : Contribution a l'etude du sous-developpement a l'interieur d'un pays riche*. Sillery, Québec Montréal: Presses de l'Université du Québec Presses de l'Université de Montréal.
- Chavez, F. P., Messi , M., & Pennington, J. T. (2011). Marine Primary Production in Relation to Climate Variability and Change. *Annu. Rev. Mar. Sci, 3*, 227-260.
- Cheung, W. W., Lam, V. W., & Pauly, D. (2008). Dynamic bioclimate envelope model to predict climate-induced changes in distribution of marine fishes and invertebrates. *Modelling Present and Climate-shifted Distributions of Marine Fishes and Invertebrates, 16*(3), 5-50.
- Cheung, W. W., Lam, V. W., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., & Pauly, D. (2009). Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries, 10*(3), 235-251.
- Cheung, W. W., Lam, V. W., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., Zeller, D., & Pauly, D. (2010). Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global change biology, 16*(1), 24-35.
- Cheung, W. W., & Pauly, D. (2016). Global-scale responses and vulnerability of marine species and fisheries to climate change. In D. Pauly & D. Zeller (Eds.), *Global atlas of marine fisheries: A critical appraisal of catches and ecosystem impacts* (pp. 86-97). Washington, DC: Island Press.
- Cheung, W. W., Sarmiento, J. L., Dunne, J., Frölicher, T. L., Lam, V. W., Palomares, M. D., . . . Pauly, D. (2013). Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. *Nature Climate Change, 3*(3), 254.
- Cheung, W. W., Watson, R., & Pauly, D. (2013). Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature, 497*(7449), 365.
- Cheung, W. W., Zeller, D., & Pauly, D. (2011). Projected species shifts due to climate change in the Canadian Marine Ecoregions. *A report prepared for Environment Canada*.
- Collins, A., Stapleton, M., & Whitmarsh, D. (1998). Fishery-pollution interactions: A modelling approach to explore the nature and incidence of economic damages. *Marine Pollution Bulletin, 36*(3), 211-221.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement. (1999). *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique — température (eau de mer), dans Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement 1999*. Winnipeg.

- Coulthard, S. (2009). Adaptation and conflict within fisheries: insights for living with climate change. *Adapting to climate change: thresholds, values, governance*, 255.
- Curran, K., & Azetsu-Scott, K. (2013). Ocean acidification. In M. MacLean (Ed.), *State of the Scotian Shelf Report* (pp. 164-182). Dartmouth, Nova Scotia: Fisheries and Oceans Canada.
- Cushing, D. H. (1982). *Climate and fisheries*: Academic press.
- Cushing, D. H., Kinne, O., & Costlow, J. D. (1996). *Towards a science of recruitment in fish populations* (Vol. 7): Ecology Institute Oldendorf/Luhe, Germany.
- Dale, B. (2009). Eutrophication signals in the sedimentary record of dinoflagellate cysts in coastal waters. *Journal of Sea Research*, 61(1-2), 103-113.
- Daneau, M. (1991). *Les pêches maritimes au Québec: enjeux économiques et intervention de l'État*: Presses Université Laval.
- Daoud, D. (2008). *Acquisition et allocation de l'énergie chez la crevette nordique, Pandalus borealis à différentes températures*. Université du Québec à Rimouski,
- Dewolf, A. G. (1974). *La pêche du homard dans les Maritimes : conséquences économiques de la réglementation*. Ottawa: Office des recherches sur les pêcheries du Canada.
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean Acidification: The Other CO2 Problem. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 1, 169-192.
- Drinkwater, K. (2002). *Physical oceanographic conditions on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine during 2001*: Fisheries & Oceans Canada, Science, Canadian Science Advisory Secretariat.
- Dufour, R., & Quellet, P. (2007). *Rapport d'aperçu et d'évaluation de l'écosystème marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent*. Regional Science Branch, Fisheries and Oceans Canada, Maurice Lamontagne
- Dulvy, N. K., Reynolds, J. D., Pilling, G. M., Pinnegar, J. K., Phillips, J. S., Allison, E. H., & Badjeck, M.-C. (2010). Fisheries management and governance challenges in a climate change. In OECD (Ed.), *The economics of adapting fisheries to climate change* (pp. 31-90). Paris: OECD.
- Dulvy, N. K., Rogers, S. I., Jennings, S., Stelzenmüller, V., Dye, S. R., & Skjoldal, H. R. (2008). Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas. *Journal of Applied Ecology*, 45(4), 1029-1039.
- Dupont-Prinet, A., Pillet, M., Chabot, D., Hensen, 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* (Vol. 448).
- 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), 857-862.
- Durack, P. J., & Wijffels, S. E. (2010). Fifty-year trends in global ocean salinities and their relationship to broad-scale warming. *Journal of Climate*, 23(16), 4342-4362.
- Durant, J. M., Hjermann, D. Ø., Ottersen, G., & Stenseth, N. C. (2007). Climate and the match or mismatch between predator requirements and resource availability. *Climate research*, 33(3), 271-283.
- Dyck, A. J., & Sumaila, U. R. (2010). Economic impact of ocean fish populations in the global fishery. *Journal of Bioeconomics*, 12(3), 227-243.

- Eggleton, T. (2017). Climate Change: The Physical Picture. In B. F. Phillips & M. Pérez-Ramírez (Eds.), *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis* (Vol. 1, pp. 1-21). Hoboken, NJ Wiley Blackwell.
- Eide, A. (2007). Economic impacts of global warming: The case of the Barents Sea fisheries. *Natural Resource Modeling*, 20(2), 199-221.
- Eide, A., & Heen, K. (2002). Economic impacts of global warming: a study of the fishing industry in North Norway. *Fisheries Research*, 56(3), 261-274.
- Fabry, V. J., Seibel, B. A., Feely, R. A., & Orr, J. C. (2008). Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*, 65(3), 414-432.
- FAO. (2010). *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2010*. Rome: FAO.
- FAO. (2016). *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2016 : Contribuer à la sécurité alimentaire et à la nutrition de tous*.
- Feely, R. A., Sabine, C. L., Hernandez-Ayon, J. M., Ianson, D., & Hales, B. (2008). Evidence for upwelling of corrosive "acidified" water onto the continental shelf. *Science*, 320(5882), 1490-1492.
- Fernandes, J. A., Cheung, W. W., Jennings, S., Butenschön, M., de Mora, L., Frölicher, T. L., . . . Grant, A. (2013). Modelling the effects of climate change on the distribution and production of marine fishes: accounting for trophic interactions in a dynamic bioclimate envelope model. *Global change biology*, 19(8), 2596-2607.
- Fernandes, J. A., Papathanasopoulou, E., Hattam, C., Queirós, A. M., Cheung, W. W., Yool, A., . . . Merino, G. (2017). Estimating the ecological, economic and social impacts of ocean acidification and warming on UK fisheries. *Fish and Fisheries*, 18(3), 389-411.
- Friedland, K. D., & Hare, J. A. (2007). Long-term trends and regime shifts in sea surface temperature on the continental shelf of the northeast United States. *Continental Shelf Research*, 27(18), 2313-2328.
- Galbraith, P. S., Chassé, J., Gilbert, D., Larouche, P., Caverhill, C., Lefavre, D., . . . Canadian Science Advisory, S. (2014). *Physical oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence in 2013* (Vol. 2014/062.). Ottawa: Canadian Science Advisory Secretariat.
- Garcia, E. G. (2007). The northern shrimp (*Pandalus borealis*) offshore fishery in the Northeast Atlantic. *Advances in marine biology*, 52, 147-266.
- Garcia, H. E., Boyer, T. P., Levitus, S., Locarnini, R. A., & Antonov, J. I. (2005). Climatological annual cycle of upper ocean oxygen content anomaly. *Geophysical Research Letters*, 32(5).
- Garcia, S. M., & Moreno, I. d. L. (2003). Global overview of marine fisheries. *Responsible fisheries in the marine ecosystem*, 1-24.
- Gardner, J. L., Peters, A., Kearney, M. R., Joseph, L., & Heinsohn, R. (2011). Declining body size: a third universal response to warming? *Trends in ecology & evolution*, 26(6), 285-291.
- Garza-Gil, M. D., Torralba-Cano, J., & Varela-Lafuente, M. M. (2011). Evaluating the economic effects of climate change on the European sardine fishery. *Regional Environmental Change*, 11(1), 87-95.
- Genovesi, L., De Vernal, A., Thibodeau, B., Hillaire-Marcel, C., Mucci, A., & Gilbert, D. (2011). Recent changes in bottom water oxygenation and temperature in the Gulf of St. Lawrence: Micropaleontological and geochemical evidence. *Limnology and Oceanography*, 56(4), 1319-1329.

- Georgianna, D. R., Hannon, M. J., Marcuschi, M., Wu, S., Botsch, K., Lewis, A. J., . . . Mayfield, S. P. (2013). Production of recombinant enzymes in the marine alga *Dunaliella tertiolecta*. *Algal Research*, 2(1), 2-9. doi:https://doi.org/10.1016/j.algal.2012.10.004
- GIEC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis*. In (pp. 996): Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom.
- GIEC (2007) Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, . . . , 103 pages.
- 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 [sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.
- GIEC, 2014: 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 [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p
- Gilbert, D., Chabot, D., Archambault, P., Rondeau, B., & Hébert, S. (2007). Appauvrissement en oxygène dans les eaux profondes du Saint-Laurent marin: causes possibles et impacts écologiques. *Naturaliste Canadien*, 131, 67-75.
- 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.
- Gough, J. (2008). *La gestion des pêches au Canada: des premiers jours jusqu'à l'an 2000*: Pêches et Océans Canada.
- Grafton, R. Q. (2010). The economics of climate adaptation and marine capture fisheries. In OECD (Ed.), *The economics of adapting fisheries to climate change* (pp. 31-90). Paris
- Grafton, R. Q., Hilborn, R., & Squires, D. (2010). *Handbook of marine fisheries conservation and management*: OUP USA.
- Gregg, R. M., Score, A., Pietri, D., & Hanse, L. (2016). *The state of climate adaptation in U.S. marine fisheries management* EcoAdapt, Bainbridge Island, WA.
- Griffis, R., & Howard, J. (2013). *Oceans and marine resources in a changing climate: a technical input to the 2013 national climate assessment*. Washington, DC: Island Press.
- Groupe de travail suivi de l'état du Saint-Laurent. (2014). *Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2014*. Plan Saint-Laurent.
- Gulbrandsen, O. (2015). *Économiser le carburant sur les petits bateaux de pêche. Un manuel* (9 252 070 605). Retrieved from Rome, Italie:
- Hallegraeff, G. M. (2010). Ocean climate change, phytoplankton community responses, and harmful algal blooms: a formidable predictive challenge 1. *Journal of phycology*, 46(2), 220-235.
- Hanel, P., & Niosi, J. (1998). *La technologie et la croissance économique: survol de la littérature*: Projet de remaniement des sciences et de la technologie, Statistique Canada.
- Hanlon, J. (2012). *Bref historique de la pêche du homard dans le sud du golfe du Saint-Laurent*. (9 781 100 992 266). Moncton, N.-B.

- Hanna, S. (2010). Economic and policy issues related to the impact of climate change on fisheries. In OECD (Ed.), *The economics of adapting fisheries to climate change* (pp. 91-116). Paris: OECD.
- Hannesson, R. (2007). Introduction to special issue: economic effects of climate change on fisheries. *Natural Resource Modeling*, 20(2), 157-162.
- Hare, G. M., & Dunn, L. (1993). A retrospective analysis of the Gulf of St. Lawrence snow crab (*Chionoecetes opilio*) fishery 1965–1990. In L. Parsons & W. Lear (Eds.), *Perspectives on Canadian marine fisheries management* (pp. 177-192): Canadian Bulletin of Fishery Aquatic Sciences.
- Hare, J. A., Morrison, W. E., Nelson, M. W., Stachura, M. M., Teeters, E. J., Griffis, R. B., . . . Bell, R. J. (2016). A vulnerability assessment of fish and invertebrates to climate change on the Northeast US Continental Shelf. *PLoS one*, 11(2), e0146756.
- Hare, J. A., Morrison, W. E., Nelson, M. W., Stachura, M. M., Teeters, E. J., Griffis, R. B., . . . Griswold, C. A. (2016). A Vulnerability Assessment of Fish and Invertebrates to Climate Change on the Northeast U.S. Continental Shelf. *PLoS one*, 11(2), e0146756. doi:10.1371/journal.pone.0146756
- Helmuth, B., Babij, E., Duffy, J., Fauquier, D., Graham, M., Hollowed, A., . . . Wilson, C. (2013). Impacts of Climate Change on Marine Organisms. In R. Griffis & J. Howard (Eds.), *Oceans and Marine Resources in a changing climate: A technical input to the 2013 National climate Assessment* (pp. 35-63).
- Herr, D. (2009). *The Ocean and Climate Change: tools and guidelines for action*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Himes-Cornell, A., Allen, S., Auad, G., Boatman, M., Clay, P. M., Herrick, S., . . . Loring, P. (2013). Impacts of climate change on human uses of the Ocean and Ocean services. In *Oceans and Marine Resources in a Changing Climate* (pp. 64-118): Springer.
- Hobday, A. J. (2010). Ensemble analysis of the future distribution of large pelagic fishes off Australia. *Progress in Oceanography*, 86(1), 291-301. doi:https://doi.org/10.1016/j.pocean.2010.04.023
- Hobday, A. J., & Lough, J. M. (2011). Projected climate change in Australian marine and freshwater environments. *Marine and Freshwater Research*, 62(9), 1000-1014.
- Hoegh-Guldberg, O., & Bruno, J. F. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328(5985), 1523-1528.
- Holbrook, N., & Johnson, J. (2014). *Climate change impacts and adaptation of commercial marine fisheries in Australia: A review of the science* (Vol. 124).
- Holsman, K. K., Hazen, E. L., Haynie, A., Gourguet, S., Hollowed, A., Bograd, S. J., . . . Aydin, K. (2019). Towards climate resiliency in fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*.
- Horton, R., Yohe, G., Easterling, W., Kates, R., Ruth, M., Sussman, E., . . . Lipschultz, F. (2014). Ch. 16: Northeast, climate change impacts in the United States. *The Third National Climate Assessment*, 371-395.
- Howard, J., Auer, C., Beard, R., Bond, N., Boyer, T., Brown, D., . . . Xue, Y. (2013). Climate-Driven Physical and Chemical Changes in Marine Ecosystems. In R. Griffis & J. Howard (Eds.), *Oceans and Marine Resources in a changing climate: A technical input to the 2013 National climate Assessment* (pp. 7-34). Washington, DC: Island Press,.

- Hutchings, J. A. (2005). Life history consequences of overexploitation to population recovery in Northwest Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(4), 824-832.
- Hutchings, J. A., & Baum, J. K. (2005). Measuring marine fish biodiversity: temporal changes in abundance, life history and demography. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 360(1454), 315-338.
- Hutchings, J. A., Cote, I. M., Dodson, J. J., Fleming, I. A., Jennings, S., Mantua, N. J.,... Weaver, A. J. (2012). Climate change, fisheries, and aquaculture: trends and consequences for Canadian marine biodiversity. *Environmental Reviews*, 20(4), 220-311.
- Jones, M. C., & Cheung, W. W. (2015). Multi-model ensemble projections of climate change effects on global marine biodiversity. *ICES Journal of Marine Science*, 72(3), 741-752.
- Jones, M. C., Dye, S. R., Pinnegar, J. K., Warren, R., & Cheung, W. W. (2012). Modelling commercial fish distributions: Prediction and assessment using different approaches. *Ecological Modelling*, 225, 133-145.
- Joshua, E., & Oyebanjo, O. (2010). Grain-size and heavy mineral analysis of River Osun sediments. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(3), 498-501.
- Kébé, M., & Horemans, B. (1998). Guide méthodologique pour l'étude des coûts et revenus en pêche artisanale en Afrique.
- Keeling, R. F., Kortzinger, A., & Gruber, N. (2010). Ocean Deoxygenation in a Warming World. *Annu. Rev. Mar. Sci*, 2, 199-229.
- Kelleher, K., Willmann, R., & Arnason, R. (2009). *The sunken billions: the economic justification for fisheries reform*: The World Bank.
- Keller, B. D., Gleason, D. F., McLeod, E., Woodley, C. M., Airamé, S., Causey, B. D., . . . Miller, S. L. (2009). Climate change, coral reef ecosystems, and management options for marine protected areas. *Environmental management*, 44(6), 1069-1088.
- 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.
- Kopp, R. E., Horton, R. M., Little, C. M., Mitrovica, J. X., Oppenheimer, M., Rasmussen, D., . . . Tebaldi, C. (2014). Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites. *Earth's Future*, 2(8), 383-406.
- Kwiatkowski, L., Bopp, L., Aumont, O., Ciais, P., Cox, P. M., Laufkötter, C., . . . Sférian, R. (2017). Emergent constraints on projections of declining primary production in the tropical oceans. *Nature Climate Change*, 7(5), 355.
- Laevastu, T. (1993). *Marine climate, weather and fisheries*: Fishing news books.
- Laflamme, G. (1991). *Caractéristiques biométriques et morphologiques de la transformation mâle-femelle chez la crevette *Pandalus borealis* Kroyer*. Université du Québec à Chicoutimi,
- Lam, V. W., Cheung, W. W., Reygondeau, G., & Sumaila, U. R. (2016a). Projected change in global fisheries revenues under climate change. *Sci Rep*, 6, 32 607. doi : 10.1038/srep32607
- Lam, V. W. Y., Cheung, W. W. L., & Sumaila, U. R. (2016b). Marine capture fisheries in the Arctic: winners or losers under climate change and ocean acidification? *Fish and Fisheries*, 17(2), 335-357. doi : 10.1111/faf.12106

- Lam, V. W. Y., Cheung, W. W. L., Swartz, W., & Sumaila, U. R. (2012). Climate change impacts on fisheries in West Africa: implications for economic, food and nutritional security. *African Journal of Marine Science*, 34(1), 103-117. doi : 10.2989/1814232x.2012.673294
- Lam, V. W., Sumaila, U. R., Dyck, A., Pauly, D., & Watson, R. (2011). Construction and first applications of a global cost of fishing database. *ICES Journal of Marine Science*, 68(9), 1996-2004.
- Lapointe, G. (2014). *Commercial fisheries: State of the Gulf of Maine report*. Gulf of Maine Council on the Marine Environment.
- Le Bris, A., Mills, K. E., Wahle, R. A., Chen, Y., Alexander, M. A., Allyn, A. J., . . . Pershing, A. J. (2018). Climate vulnerability and resilience in the most valuable North American fishery. *Proceedings of the national academy of sciences*, 115(8), 1831-1836.
- Lenoir, S. (2011). *Impact du réchauffement climatique sur la distribution spatiale des ressources halieutiques le long du littoral français: observations et scénarios*. Thèse de doctorat: écologie marine. Lille: Université Sciences et . . . ,
- Lenton, A., McInnes, K., & O'Grady, J. (2015). *Marine Projections of Warming and Ocean Acidification in the Australasian Region* (Vol. 65).
- Levitus, S., Antonov, J. I., Boyer, T. P., Baranova, O. K., Garcia, H. E., Locarnini, R. A., . . . Yarosh, E. S. (2012). World ocean heat content and thermocline sea level change (0–2000 m), 1955–2010. *Geophysical Research Letters*, 39(10).
- Loder, J. W., Han, G., Galbraith, P. S., Chassé, J., van der Baaren, A., Canada. Dept. of, F.,... Canada. Ministère des pêches et des, o. (2013). *Aspects of climate change in the Northwest Atlantic off Canada* (Vol. 3045.). Dartmouth, NS: Bedford Institute of Oceanography.
- Long, W. C., Swiney, K. M., Harris, C., Page, H. N., & Foy, R. J. (2013). Effects of ocean acidification on juvenile red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) and Tanner crab (*Chionoecetes bairdi*) growth, condition, calcification, and survival. *PloS one*, 8(4), e60959.
- M.P. Madin, E., Ban, N., Doubleday, Z., Holmes, T., Pecl, G., & Smith, F. (2012). *Socio-economic and management implications of range-shifting species in marine systems* (Vol. 22).
- Magawata, I., & Ipinjolu, J. (2013). Climate change: Mitigation and adaptation strategies in fisheries and aquaculture in Nigeria.
- Mahon, R. (2002). Adaptation of fisheries and fishing communities to the impacts of climate change in the CARICOM region. *Prepared for the CARICOM Fisheries Unit, Belize City, Belize, as input to the planning process for the project Mainstreaming Adaptation to Climate Change (MACC) of the Caribbean Centre for Climate Change (CCCC)*.
- MAPAQ. (2015). *Monographie de l'industrie de la crevette nordique au Québec*. Québec
- MAPAQ. (2017). *Monographie de l'industrie du Homard au Québec*. Québec.
- McLean, E. L. (2016). *The response of molting Homarus americanus to ocean acidification projections*. Open Access Master's University of Rhode Island,
- Miller, D. D., Ota, Y., Sumaila, U. R., Cisneros-Montemayor, A. M., & Cheung, W. W. (2018). Adaptation strategies to climate change in marine systems. *Global change biology*, 24(1), e1-e14.

- Mills, K. E., Pershing, A. J., Brown, C. J., Chen, Y., Chiang, F.-S., Holland, D. S., . . . Thomas, A. C. (2013). Fisheries management in a changing climate: lessons from the 2012 ocean heat wave in the Northwest Atlantic. *Oceanography*, 26(2), 191-195.
- Mimeault, M. (1997). Une longue histoire de pêche: La morue du golfe du Saint-Laurent. *Cap-aux-Diamants: La revue d'histoire du Québec*(51), 24-27.
- Monette, M. (1986). L'Économie des pêcheries: une revue de la littérature. *L'Actualité économique*, 62(2), 289-305.
- Morrison, W. E., & Termini, V. (2016). A review of potential approaches for managing marine fisheries in a changing climate.
- MPO. (1985). *Le monde sous-marin: Les crabes de la côte Atlantique du Canada*. Ottawa, Ontario.
- MPO. (2005). *Le Golfe du Saint-Laurent, un écosystème unique*. Ottawa: Pêches et océans Canada Retrieved from <http://www.glf.dfo-mpo.gc.ca/os/goslim-gigs1/index-f.php>.
- MPO. (2007). *Cadre de durabilité pour le homard de l'Atlantique (2007) rapport pour le Ministre des Pêches et Océans*. Ottawa: Conseil pour la conservation des ressources halieutiques.
- MPO. (2012). *Canada. Ministère des pêches et des océans. Centre d'expertise de Pêches et Océans, Canada : Rapport du Canada sur l'état des océans, 2012*. Ottawa: Direction générale des communications, Pêches et Océans Canada
- Munro, G. R. (1982). Fisheries, extended jurisdiction and the economics of common property resources. *Canadian Journal of Economics*, 405-425.
- Noble, I.R., S. Huq, Y.A. Anokhin, J. Carmin, D. Goudou, F.P. Lansigan, B. Osman-Elasha, and A. Villamizar, (2014) *Adaptation needs and options*. In: 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 [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 833-868.
- Norman-López, A., Pascoe, S., & Hobday, A. (2011). *Potential Economic Impacts of Climate Change on Australian Fisheries and the Need for Adaptive Management* (Vol. 02).
- Nunes, P. (1984). *Reproductive and larval biology of northern shrimp, Pandalus borealis Kroyer, in relation to temperature*.
- 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.
- OCDE. (2008). *L'atténuation du changement climatique : QUE FAIRE ?* OCDE
- OCDE. (2015). *Atténuation du changement climatique : Politiques et progrès réalisés* Éditions OCDE, Paris
- OCDE. (2017). *L'économie de la mer en 2030* Éditions OCDE, Paris
- Olafsson, J., Olafsdottir, S. R., Benoit-Cattin, A., Danielsen, M., Arnarson, T. S., & Takahashi, T. (2009). Rate of Iceland Sea acidification from time series measurements. *Biogeosciences*, 6(11), 2661-2668. doi:10.5194/bg-6-2661-2009
- Pachauri, R. K., & Meyer, L. (2014). Climate change 2014 Synthesis Report-Summary for Policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37, 637-669.
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37.
- Parsons, L. S. (1995). *La gestion des pêches maritimes au Canada Bulletin canadien des sciences halieutiques et aquatiques no 225*: NRC Research Press.
- Parsons, L. S. (2010). Canadian marine fisheries management: a case study. *Handbook of marine fisheries conservation and management*. New York, 393-414.
- Pauly, D. (1997). Méthodes pour l'évaluation des ressources halieutiques.
- Pauly, D., & Cheung, W. W. (2018). Sound physiological knowledge and principles in modeling shrinking of fishes under climate change. *Global change biology*, 24(1), e15-e26.
- Pauly, D., & Zeller, D. (2016). Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. *Nature communications*, 7, ncomms10244.
- Pawlowski, L. (2004). *Modélisation de l'incorporation du carbone photosynthétique en environnement marin contrôlé par ordinateur*. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI,
- Pearce, A. F., Lenanton, R., Jackson, G., Moore, J., Feng, M., & Gaughan, D. (2011). *The "marine heat wave" off Western Australia during the summer of 2010/11*: Western Australian Fisheries and Marine Research Laboratories.
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global ecology and biogeography*, 12(5), 361-371.
- Pecl, G., Frusher, S., Gardner, C., Haward, M., et al. (2009) The east coast Tasmanian rock lobster fishery – vulnerability to climate change impacts and adaptation response options. Report to the Department of Climate Change, Australia, Canberra.
- Perry, A. L., Low, P. J., Ellis, J. R., & Reynolds, J. D. (2005). Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308(5730), 1912-1915.
- Perry, R. I., Ommer, R. E., Barange, M., Jentoft, S., Neis, B., & Sumaila, U. R. (2011). Marine social-ecological responses to environmental change and the impacts of globalization. *Fish and Fisheries*, 12(4), 427-450.
- Pershing, A. J., Alexander, M. A., Hernandez, C. M., Kerr, L. A., Le Bris, A., Mills, K. E., . . . Scott, J. D. (2015). Slow adaptation in the face of rapid warming leads to collapse of the Gulf of Maine cod fishery. *Science*, 350(6262), 809-812.
- Peterson, A. T., Ortega-Huerta, M. A., Bartley, J., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Buddemeier, R. H., & Stockwell, D. R. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, 416(6881), 626.
- Phillips, B. F., & Pérez-Ramírez, M. (2017). *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis* (Vol. 1): John Wiley & Sons.
- Phillips, B. F., Pérez-Ramírez, M., & de Lestang, S. (2017). Lobsters in a Changing Climate. *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis Edited by Bruce F. Phillips and Mónica Pérez-Ramírez.*, 2, 815-849.
- Pinfold, G. (2009). *Economic impact of marine related activities in canada*: Economic Analysis and Statistics, Fisheries and Oceans Canada.
- Pinnegar, J. K., Jennings, S., O'brien, C., & Polunin, N. (2002). Long-term changes in the trophic level of the Celtic Sea fish community and fish market price distribution. *Journal of Applied Ecology*, 39(3), 377-390.

- Pinsky, M. L. (2018). Throwing back the big ones saves a fishery from hot water. *Proceedings of the national academy of sciences*, 115(8), 1678-1680.
- Poloczanska, E., Hobday, A., Richardson, A., Anthony, K., Arnould, J., Beardall, J., . . . Brett, S. (2012). Marine climate change in Australia: impacts and adaptation responses. 2012 report card.
- Poloczanska, E. S., Brown, C. J., Sydeman, W. J., Kiessling, W., Schoeman, D. S., Moore, P. J., . . . Burrows, M. T. (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3(10), 919.
- Polovina, J. J., Dunne, J. P., Woodworth, P. A., & Howell, E. A. (2011). Projected expansion of the subtropical biome and contraction of the temperate and equatorial upwelling biomes in the North Pacific under global warming. *ICES Journal of Marine Science*, 68(6), 986-995.
- Porter, J. R., Xie, L., Challinor, A. J., Cochrane, K., Howden, S. M., Iqbal, M. M., . . . Travasso, M. I. (2014). Food security and food production systems.
- Pörtner, H.-O., Karl, D. M., Boyd, P. W., Cheung, W., Lluich-Cota, S. E., Nojiri, Y., . . . Aristegui, J. (2014). Ocean systems. In *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* (pp. 411-484): Cambridge University Press.
- Pörtner, H. O., & Knust, R. (2007). Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. *Science*, 315(5808), 95-97.
- Pörtner, H.-O., Berdal, B., Blust, R., Brix, O., Colosimo, A., De Wachter, B., . . . Knust, R. (2001). Climate induced temperature effects on growth performance, fecundity and recruitment in marine fish: developing a hypothesis for cause and effect relationships in Atlantic cod (*Gadus morhua*) and common eelpout (*Zoarces viviparus*). *Continental Shelf Research*, 21(18-19), 1975-1997.
- Quante, M., & Colijn, F. (2016). *North Sea region climate change assessment*: Springer.
- Rice, J., Beamish, R., Duplisea, D., Reid, G., & Gurley-Smith, H. (2017). Canadian Fisheries and Aquaculture: Prospects under a Changing Climate. In B. F. Phillips & M. Pérez-Ramírez (Eds.), *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis* (pp. 415-454). Hoboken, NJ: Wiley Blackwell.
- Richards, R. A., Fogarty, M. J., Mountain, D. G., & Taylor, M. H. (2012). Climate change and northern shrimp recruitment variability in the Gulf of Maine. *Marine Ecology Progress Series*, 464, 167-178.
- Ries, J. B., Cohen, A. L., & McCorkle, D. C. (2009). Marine calcifiers exhibit mixed responses to CO₂-induced ocean acidification. *Geology*, 37(12), 1131-1134.
- Roessig, J. M., Woodley, C. M., Cech, J. J., & Hansen, L. J. (2004). Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Reviews in fish biology and fisheries*, 14(2), 251-275.
- Roy, N., Arnason, R., & Schrank, W. E. (2009). The identification of economic base industries, with an application to the Newfoundland fishing industry. *Land Economics*, 85(4), 675-691.
- Royer, T. C., & Grosch, C. E. (2006). Ocean warming and freshening in the northern Gulf of Alaska. *Geophysical Research Letters*, 33(16).

- Rutterford, L. A., Simpson, S. D., Jennings, S., Johnson, M. P., Blanchard, J. L., Schön, P.-J., . . . Genner, M. J. (2015). Future fish distributions constrained by depth in warming seas. *Nature Climate Change*, 5(6), 569.
- Sabine, C. L., Feely, R. A., Gruber, N., Key, R. M., Lee, K., Bullister, J. L., . . . Tilbrook, B. (2004). The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science*, 305(5682), 367-371.
- Sainte-Marie, B., Dufour, R., Bourassa, L., Chabot, D., Dionne, M., Gilbert, D., . . . Sévigny, J.-M. (2005). *Critères et proposition pour une définition des unités de production du crabe des neiges (Chionoecetes opilio) dans l'estuaire et le nord du golf du Saint-Laurent*: Fisheries and Oceans.
- Sarmiento, J. L., Slater, R., Barber, R., Bopp, L., Doney, S. C., Hirst, A., . . . Monfray, P. (2004). Response of ocean ecosystems to climate warming. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(3).
- Savard, L., Bouchard, H., & Couillard, P. (2003). *Revue de la pêche à la crevette nordique (Pandalus borealis) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent pour la période 1965-2000*. Mont-Joli, Québec].
- Savard, L., & Parsons, D. (1990). *Geographic variations in the life history of Pandalus borealis from the northwest Atlantic*. Paper presented at the ICES Symposium on Shellfish Life Histories and Shellfishery Models.
- Savard, L., Parsons, D., & Carlsson, D. (1994). Estimation of age and growth of northern shrimp (*Pandalus borealis*) in Davis Strait (NAFO Subareas 0+ 1) using cluster and modal analyses. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 16, 63-74.
- Savoie, D. J., & Beaudin, M. (1988). *Les défis de l'industrie des pêches au Nouveau-Brunswick*: Ministère des pêches.
- Shackell, N. L., Greenan, B. J. W., Pepin, P., Chabot, D., Warburton, A., Canada. Dept. of, F., & Oceans. (2013). *Climate change impacts, vulnerabilities and opportunities analysis of the marine Atlantic Basin* (Vol. 3012.). Ottawa: Fisheries and Oceans Canada.
- Shelton, C. 2014. Climate change adaptation in fisheries and aquaculture – compilation of initial examples. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1088. Rome, FAO. 34 p
- Shumway, S., Perkins, H., Schick, D., & Stickney, A. (1985). Synopsis of biological data on the pink shrimp, *Pandalus borealis*, Kroeyer, 1838. FAO Fisheries Synopsis no. 144. *NOAA Technical Report NMFS (USA)*. no. 30.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. J., & Wandel, J. (2000). An anatomy of adaptation to climate change and variability. In *Societal adaptation to climate variability and change* (pp. 223-251): Springer.
- Stachowicz, J. J., Fried, H., Osman, R. W., & Whitlatch, R. B. (2002). Biodiversity, invasion resistance, and marine ecosystem function: reconciling pattern and process. *Ecology*, 83(9), 2575-2590.
- Stein, B. A., Glick, P., Edelson, N., & Staudt, A. (2014). *Climate-smart conservation: putting adaption principles into practice* (0615997317). Retrieved from
- Sumaila, R., & Cheung, W. (2010). *Cost of Adapting Fisheries to Climate Change*.
- 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. doi : 10.1038/nclimate1301
- Sumi, A., Fukushi, K., & Hiramatsu, A. (2010). *Adaptation and mitigation strategies for climate change*: Springer.

- Van putten, I., Jennings, S., Frusher, S., Gardner, C., Haward, M., Hobday, A., . . . Reville, H. (2013). *Building blocks of economic resilience to climate change: A south east Australian fisheries example* (Vol. 13).
- Vilhjálmsson, H., Hoel, A. H., Agnarsson, S., Arnason, R., Carscadden, J., Eide, A., . . . Jakobsson, J. (2005). Fisheries and aquaculture. In *Arctic climate impact assessment* (pp. 691-780).
- Wahle, R., Castro, K., Tully, O., & Stanley Cobb, J. (2013). Homarus. In B. F. Phillips (Ed.), *Lobsters: Biology, Management, Aquaculture and Fisheries* (Vol. 2nd Edition, pp. 221-258). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Wahle, R. A., Dellinger, L., Olszewski, S., & Jekielek, P. (2015). American lobster nurseries of southern New England receding in the face of climate change. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 72(suppl 1), i69-i78. doi:10.1093/icesjms/fsv093
- Wang, M., & Overland, J. E. (2009). A sea ice free summer Arctic within 30 years? *Geophysical Research Letters*, 36(7).
- Warren, F. J., & Lemmen, D. S. (2004). *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques: perspective canadienne*: Ressources naturelles Canada.
- Weatherdon, L. V., Ota, Y., Jones, M. C., Close, D. A., & Cheung, W. W. (2016). Projected scenarios for coastal First Nations' fisheries catch potential under climate change: management challenges and opportunities. *PloS one*, 11(1), e0145285.
- White, L. et F. Johns. (1997). *Evaluation du milieu marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent*. Peches et Oceans Canada. Dartmouth, NouvelleEcosse, Mont:Joli, Quebec.
- Yazdi, S. k., & Shakouri, B. (2010). The effects of climate change on fisheries and aquaculture. *International Journal of Environmental Science and Development*, 1(5), 378.
- Zhang, X. (2010). Sensitivity of arctic summer sea ice coverage to global warming forcing: towards reducing uncertainty in arctic climate change projections. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 62(3), 220-227.

