

État des mers arctiques du Canada

Andrea Niemi, Ashley Ehrman, Mohamed Ahmed, Manny Arey, Kumiko Azetsu-Scott, Marcel Babin, David Capelle, Laurissa R. Christie, Emmanuel Devred, Allison K. Drake, Karen Dunmall, Jim Elias, Marianne Falardeau, Steve Ferguson, Matthew J.H. Gilbert, William D. Halliday, Les N. Harris, Kevin Hedges, Jody Illasiak, Lisa Loseto, Shannon MacPhee, Frédéric Maps, Marianne Marcoux, Alexandra Mayette, Darcy McNicholl, Humfrey Melling, Christine Michel, Jean-Sébastien Moore, John Nelson, Shannon Nudds, John O'Brien, Paulatuk Hunters and Trappers Committee, Clark Richards, Kevin C. Scharffenberg, Courtney R. Shuert, Luke Storrie, Ross Tallman, Cortney Watt, Wojciech Walkusz, Lauren N. Wiens, William Williams, Brent Young, David Yurkowski

Pêches et Océans Canada
Institut des eaux douces
501, croissant University
Winnipeg, MB R3T 2N6

2024

**Rapport technique canadien des
sciences halieutiques et aquatiques 3633**

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques de Pêches et Océans Canada, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications à part entière. Le titre exact figure au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont résumés dans la base de données *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de Rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de Rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de Rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of Fisheries and Oceans Canada, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Rapport technique canadien des
sciences halieutiques et aquatiques 3633

2024

État des mers arctiques du Canada

par

Andrea Niemi¹, Ashley Ehrman¹, Mohamed Ahmed², Manny Arey³, Kumiko Azetsu-Scott⁴,
Marcel Babin⁵, David Capelle¹, Laurissa R. Christie¹, Emmanuel Devred⁴, Allison K. Drake¹,
Karen Dunmall¹, Jim Elias³, Marianne Falardeau⁶, Steve Ferguson¹, Matthew J.H. Gilbert⁷,
William D. Halliday⁸, Les N. Harris¹, Kevin Hedges¹, Jody Illasiak⁹, Lisa Loseto¹,
Shannon MacPhee¹, Frédéric Maps⁵, Marianne Marcoux¹, Alexandra Mayette¹⁰,
Darcy McNicholl¹, Humfrey Melling¹¹, Christine Michel¹, Jean-Sébastien Moore⁶,
John Nelson¹¹, Shannon Nudds⁴, John O'Brien¹, Paulatuk Hunters and Trappers Committee⁹,
Clark Richards⁴, Kevin C. Scharffenberg¹, Courtney R. Shuert¹, Luke Storrie¹⁰, Ross Tallman¹,
Cortney Watt¹, Wojciech Walkusz¹, Lauren N. Wiens¹, William Williams¹¹, Brent Young¹,
David Yurkowski¹

Pêches et Océans Canada, Institut des eaux douces, 501, croissant University, Winnipeg, MB
R3T 2N6

¹ Pêches et Océans Canada, Winnipeg (Manitoba) R3T 2N6

² Groupe Milieu scolaire et recherche, Esri Canada, Calgary (Alberta) T2P 3T7

³ Groupe de travail sur la ZPM de Tarium Niryutait

⁴ Pêches et Océans Canada, Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2

⁵ Takuvik, Université Laval, Québec (Québec) G1V 0A6

⁶ Institut de biologie intégrative et des systèmes, Université Laval, Québec (Québec) G1V 0A6

⁷ Université du Nouveau-Brunswick, Saint John (Nouveau-Brunswick) E2L 4L5

⁸ Wildlife Conservation Society Canada, Whitehorse (Yukon) Y1A 0E9

⁹ Comité des chasseurs et des trappeurs de Paulatuk, Paulatuk (T.N.-O.) X0E 1N0

¹⁰ Université du Manitoba, Winnipeg (Manitoba) R3T 2M6

¹¹ Pêches et Océans Canada, Sidney (Colombie-Britannique) V8L 5T5

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par la ministre des Pêches et des Océans,
2024

N° de cat. Fs97-6/3633F-PDF

ISBN 978-0-660-73282-4

ISSN 1488-545X

La présente publication doit être citée comme suit :

Niemi, A., Ehrman, A., Ahmed, M., Arey, M., Azetsu-Scott, K., Babin, M., Capelle, D., Christie, L.R., Devred, E., Drake, A.K., Dunmall, K., Elias, J., Falardeau, M., Ferguson, S., Gilbert, M.J.H., Halliday, W.D., Harris, L.N., Hedges, K., Illasiak, J., Loseto, L., MacPhee, S., Maps, F., Marcoux, M., Mayette, A., McNicholl, D., Melling, H., Michel, C., Moore, J.-S., Nelson, J., Nudds, S., O'Brien, J., Paulatuk Hunters and Trappers Committee, Richards, C., Scharffenberg, K., Shuert, C.R., Storrie, L., Tallman, R., Watt, C., Walkusz, W., Wiens, L.N., Williams, W., Young, B., and Yurkowski, D. 2024. État des mers arctiques du Canada. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3633 : xvii + 228 p.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES	vi
RÉSUMÉ	xv
REMERCIEMENTS.....	xvii
1.0 Rapports sur l'état des océans.....	1
1.1 Éléments nécessaires à la description de l'état de l'océan Arctique canadien	1
1.2 Structure du rapport	2
1.3 Limites de la région visée par le rapport sur l'océan Arctique	3
2.0 Points saillants du rapport.....	7
2.1 Énoncés contextuels.....	7
2.2 Nouvelles connaissances sur la glace de mer et les tendances océaniques.....	8
2.3 Revoir les hypothèses relatives aux écosystèmes	9
2.4 Connaissances améliorées des réactions d'espèces aux écosystèmes variables	11
2.5 Connaissances améliorées de la fonction écosystémique et de la biodiversité.....	13
2.6. Une compréhension de plus en plus approfondie des mécanismes	15
3.0 Agents stressants des écosystèmes de l'océan Arctique.....	18
ÉTUDE DE CAS 1 : Budgétisation du puits de carbone marin dans les eaux de l'Arctique canadien – lacunes statistiques et changements saisonniers	27
ÉTUDE DE CAS 2 : Bruit sous-marin – chevauchements et répercussions.....	31
4.0 Structure de l'écosystème de l'océan Arctique.....	34
4.1 Où vit la vie : l'environnement océanique de l'Arctique.....	34
4.1.1 Limites océanographiques de l'Arctique.....	34
4.1.2 Paysage sous-marin	34
4.1.3 Sources d'eau de mer	35
4.1.4 Mouvement de l'eau de mer	38
4.1.5 Glace de mer.....	39
4.1.6 Marées	43
4.2 Aperçu des nutriments, les éléments constitutifs de la productivité des écosystèmes.....	44
4.3 Aperçu des réseaux trophiques de l'Arctique	46
BOÎTE À OUTILS : Utilisation des caractéristiques pour synthétiser la complexité des réseaux trophiques du zooplancton	50
ÉTUDE DE CAS 3 : Variation temporelle de l'utilisation du carbone dérivé des algues de glace de mer dans le réseau trophique de l'Arctique.....	52
ÉTUDE DE CAS 4 : Plongée en profondeur pour le repas.....	56
4.4 Liens avec l'habitat	60
4.4.1 Glace de mer.....	60

4.4.2 Colonne d'eau.....	63
BOÎTE À OUTILS : La télédétection par satellite nous renseigne sur d'importantes différences dans l'habitat en surface dans l'est de la mer de Beaufort	68
4.4.3 Habitats benthiques et biogènes	70
ÉTUDE DE CAS 5 : Arches de glace – défenseuses des habitats de glace de mer	73
ÉTUDE DE CAS 6 : Répartition changeante des macrophytes dans l'Arctique canadien – gains et pertes d'habitat.....	76
4.5 Cycle saisonnier dans l'Arctique	79
ÉTUDE DE CAS 7 : Transformations saisonnières – neige, lumière et producteurs primaires	85
ÉTUDE DE CAS 8 : Migrations du narval – changements du moment, mais pas de l'itinéraire	87
4.6 Biodiversité.....	89
BOÎTE À OUTILS : Aborder la diversité par la diversité – utiliser de multiples outils pour documenter les communautés benthiques	97
ÉTUDE DE CAS 9 : La résurgence des sébastes.....	98
5.0 Variabilité des écosystèmes	101
5.1 Variations atmosphériques dans l'Arctique	102
5.2 Variations dans l'environnement océanique.....	106
5.2.1 Bassin Canada	107
5.2.2 Plateau du Mackenzie et golfe Amundsen	110
BOÎTE À OUTILS : Observations océaniques à long terme	116
5.2.3 Plateau polaire canadien.....	117
5.2.4 Baie de Baffin.....	121
5.2.5 Baie d'Hudson.....	124
5.3 Variabilité biologique	125
5.4 Variabilité des ressources	128
5.4.1 Poissons anadromes.....	128
5.4.2 Poissons ciblés par des pêches commerciales en milieu marin.....	129
5.4.3 Stocks de crevettes ciblés par des pêches commerciales	131
5.4.4 Mammifères marins.....	132
ÉTUDE DE CAS 10 : Les conséquences complexes et diverses des changements climatiques sur l'omble chevalier	134
6.0 Connectivité	139
6.1 Flux entrants et sortants	139
6.2 Liens entre l'océan Arctique et l'eau douce	141
ÉTUDE DE CAS 11 : Modification des eaux du Pacifique dans le tourbillon de Beaufort ..	142
6.3 Liens entre l'Arctique et l'Atlantique Nord.....	145
ÉTUDE DE CAS 12 : Écosystèmes marins de la baie de Baffin – le contraste entre les côtés est et ouest	147
6.4 Liens entre le Pacifique, l'Arctique et l'Atlantique	151

6.5 Des liens qui changent : mammifères marins	152
6.6 Migrations des oiseaux de mer : questions océaniques multiples.....	153
7.0 Écosystèmes côtiers	155
7.1 Comprendre les écosystèmes côtiers	156
7.2 Carbone et nutriments dans les zones côtières.....	157
7.3 Influences de l'eau douce sur l'habitat côtier du poisson.....	160
7.4 Utilisation de l'habitat estuarien par le béluga	163
8.0 Cogestion de l'océan Arctique canadien.....	164
ÉTUDE DE CAS 13 : Participation des collectivités aux activités de recherche et de suivi relatives aux eaux côtières et marines dans l'Inuit Nunangat	166
ÉTUDE DE CAS 14 : Gouvernance et recherche collaboratives dans la zone de protection marine de Tarium Niryutait – amélioration des méthodes de recherche et de création conjointe des connaissances	170
ÉTUDE DE CAS 15 : L'innovation en matière de leadership autochtone pour la recherche et le suivi dans la zone de protection marine d'Anguniaqvia niqiqyuam – une nouvelle tendance relative à la protection des eaux canadiennes.....	173
ANNEXE A : Dépendance entre la glace de mer et les mammifères marins dans l'Arctique canadien.	175
ANNEXE B : Situation de résidence, répartition saisonnière, disponibilité d'estimations de l'abondance et tendances de l'abondance des mammifères marins dans l'Arctique canadien...	177
9.0 Références.....	180

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques physiques de la région de l'Arctique canadien.....	6
Tableau 2. L'état de certains agents stressants d'origine anthropique directs qui sont pertinents pour les écosystèmes marins dans l'Arctique canadien.....	23
Tableau 3. Évaluations et études récentes sur la biodiversité dans la région de l'Arctique canadien.	94

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Frontière générale de la région d'étude du rapport.	4
Figure 2. Connectivité entre la région de l'Arctique canadien et les régions arctiques et subarctiques avoisinantes.....	5
Figure 3. A) Lignes de tendance pour l'étendue moyenne mensuelle de la glace de mer à l'échelle de l'Arctique en septembre (en bas à gauche) et en mars (en bas à droite).	19
Figure 4. Couverture de la glace de mer selon l'âge en 1985 (a) et 2023 (b), et série chronologique de l'âge de la glace de mer de 1985 à 2023 (c) au centre de l'océan Arctique, indiqué sur la carte en médaillon	21
Figure 5. Différence de la superficie de la glace de plusieurs années par rapport à la moyenne de 1991 à 2020 pour six régions du passage du Nord-Ouest, selon le code de couleur sur la carte. Les différences moyennes de la superficie de la glace de plusieurs années sont présentées en bleu pour 1969 à 2006 et en rouge pour 2007 à 2020.....	22
Figure 6. Flux air-mer de CO ₂ dans les eaux de l'Arctique canadien et les mers adjacentes en mol de C m ⁻² an ⁻¹ fondé sur des observations directes, des produits d'interpolation fondés sur l'observation comme le réseau neuronal et la régression linéaire multiple, et des modèles biogéochimiques océaniques régionaux mentionnés dans Fennel <i>et al.</i> (2019) et Duke <i>et al.</i> (2023).....	27
Figure 7. Nombre total d'observations de CO ₂ dissous (A) et de pCO ₂ moyen (B) accessibles de 1970 à 2021 pour chaque pixel de 1° × 1° dans l'ensemble de données de <i>Surface Ocean CO₂ Atlas</i> version 2022 (SOCATv2022) dans l'océan Arctique et ses mers adjacentes	28
Figure 8. Nombre potentiel de fois où le seuil de bruit de 120 dB perturbant le comportement a été dépassé en juillet et en octobre 2015 à 2017.....	31
Figure 9. Niveau de risque (échelle relative entre la présence des espèces et l'exposition au bruit sous-marin, voir Halliday <i>et al.</i> 2022a pour plus de détails) d'exposition à un bruit élevé (120 dB	

et plus) pour le narval (A et B), le béluga (C), le guillemot de Brünnich (D), le fulmar boréal (E) et la mouette tridactyle (F) dans l'aire marine nationale de conservation Tallurutiup Imanga 32

Figure 10. Variation de la température et de la salinité selon la profondeur de l'eau de la mer dans le bassin Canada de l'Arctique 35

Figure 11. Présence des différents types d'eau de mer dans la région de l'Arctique canadien : l'eau du Pacifique en vert, l'eau de l'Atlantique passant par le détroit de Fram et la mer de Barents en rouge, et par la baie de Baffin en jaune. 37

Figure 12. Vue schématique du mouvement des eaux de surface dans la région de l'Arctique canadien. 38

Figure 13. Couverture de la glace de mer dans la région de l'Arctique canadien au moment où elle atteint presque son étendue maximale..... 40

Figure 14. Couverture de la glace de mer dans la région de l'Arctique canadien au moment où elle atteint presque son étendue minimale 41

Figure 15. Emplacements des polynies (zones bleu-vert délimitées par le rouge) dans la région de l'Arctique canadien, qui sont caractérisées par une mince couche de glace au début de l'été..... 42

Figure 16. Régions de glace épaisse dans la région de l'Arctique canadien 42

Figure 17. Zones ayant des courants de marée forts dans la région de l'Arctique canadien 43

Figure 18. Les photos montrent les parois cellulaires complexes à base de silicium de diatomées trouvées dans l'Arctique canadien. 44

Figure 19. Concentrations de nitrate (μM) à la surface en été dans les eaux arctiques. 45

Figure 20. Schéma des liens d'alimentation et des niveaux trophiques pour 33 groupes fonctionnels, représenté par un modèle écosystémique construit pour le plateau de la mer de Beaufort canadienne..... 47

Figure 21. Exemples de caractéristiques fonctionnelles couramment utilisées pour décrire les espèces de zooplancton 51

Figure 22. Dessin conceptuel des processus dans la partie supérieure de la colonne d'eau qui contribuent à la préservation des algues de glace de mer dans les sédiments 52

Figure 23. Teneur en carbone organique particulaire de la glace de mer (COP-glace, 0 à 100 %) des consommateurs de l'Arctique par mois pour tous les individus échantillonnés entre 1982 et 2019..... 53

Figure 24. Les tendances temporelles de l'utilisation du carbone issu de la glace de mer (%) et de la phénylalanine ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Phe}}$) mesurées chez le morse de l'Atlantique dans le détroit de Jones (a, c) et le bassin Foxe (b, d)	54
Figure 25. Les types de plongée du béluga sont résumés par leurs profils bidimensionnels, le temps et la profondeur étant indiqués par les axes vertical et horizontal, respectivement.	56
Figure 26. Endroits où 16 baleines boréales ont été marquées à Igloolik (carré blanc) et à Pangnirtung (triangle blanc) en 2012, 2013 et 2016.	59
Figure 27. Influence de l'association à la glace (indice d'utilisation de la glace) sur a) le volume (cm^3) et b) la teneur en énergie des œufs de guillemots de Brünnich recueillis entre 2010 et 2013 sur l'île Prince Leopold.....	62
Figure 28. Répartition de quatre grands assemblages de mésozooplancton désignés par l'analyse typologique à 409 stations échantillonnées dans l'Arctique canadien entre 2005 et 2018.....	64
Figure 29. Dessin conceptuel comprenant des images de neige marine captées par un profileur de vision sous-marine déployé dans la baie de Baffin, montrant comment la quantité et la forme des groupes de neige marine modifient l'habitat du zooplancton dans les périodes de couverture glacielle, de débâcle et sans glace.....	65
Figure 30. Répartition des assemblages de poissons de mer dans le golfe Amundsen	66
Figure 31. Les points chauds de l'utilisation de l'habitat par la baleine boréale, le béluga et le narval dans l'Arctique circumpolaire pendant l'été (juin à novembre) et l'hiver (décembre à mai) en fonction du nombre d'individus marqués par cellule de grille.	67
Figure 32. Les préférences en matière d'habitat de trois types de groupes sociaux de bélugas en juillet et en août dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort, qui s'expliquent le mieux par la température de la surface de la mer, la bathymétrie et la pente.	68
Figure 33. Les six habitats océanographiques de l'est de la mer de Beaufort désignés à partir de 17 années (2003 à 2019) de données de télédétection par satellite de la température de surface de la mer et de la concentration de matières particulaires en suspension (c.-à-d. sédiments et chlorophylle <i>a</i>).	69
Figure 34. Exemples de macroalgues formant des habitats structurels importants dans l'Arctique canadien : a) zostère marine (<i>Zostera marina</i> ; source : Howarth <i>et al.</i>); b) laminaire sucrée (<i>Saccharina latissima</i> ; source : Boldreel <i>et al.</i> 2023); c) substrat rocheux dominé par <i>Agarum clathratum</i>	70
Figure 35. Exemples de taxons de coraux et d'éponges présents dans l'est de l'Arctique (détroit de Davis et baie de Baffin) qui forment d'importants habitats biogènes : a) corail bambou du genre <i>Keratoisis</i> ; b) champs de pennatules; c) corail arborescent (<i>Paragorgia arborea</i>) et corail de résédas (<i>Primnoa resedaeformis</i> ; d) éponges du genre <i>Geodia</i>	72

Figure 36. Images satellitaires (terre en gris foncé, glace en blanc et eaux libres en noir) montrant l'emplacement des arches de glace et des polynies récurrentes connexes (nommées dans la figure A) dans l'archipel Arctique canadien en mai 2012, 2013 et 2021.....	74
Figure 37. Tendances de la durée des arches de glace des eaux du Nord (NOW) et du détroit de Lancaster (1979 à 2022), qui ne sont statistiquement corrélées qu'entre 1979 et 2000	75
Figure 38. Des zones d'habitat convenables pour les macroalgues intertidales et subtidales ont été prédites pour une période passée (1940 à 1950) et une période actuelle (2000 à 2017) en fonction de la température, de l'état des glaces, des nutriments et de la salinité, et non des conditions du substrat..	77
Figure 39. L'étendue en profondeur du varech en fonction des jours sans glace et avec lumière (OWL) pour les zones ayant (a) 1 %, (b) 10 % et (c) 50 % de couverture de varech.	77
Figure 40. Saisons inuites décrites par rapport à la vie rythmique de l'omble chevalier au Nunavik (roue de couleur intérieure) comparativement aux saisons conventionnelles (roue de couleur extérieure).	79
Figure 41. Itinéraires empruntés par le bateau communautaire d'Ivujivik pour aller à la chasse au morse de l'Atlantique à l'automne (principalement en septembre) dans (A) les années 1940 à 1990 et (B) les années 2000 à 2010.	80
Figure 42. Progression printanière de la concentration totale de chlorophylle <i>a</i> dans la glace de mer et dans la colonne d'eau supérieure de 100 m sur la côte de la baie de Baffin.	81
Figure 43. Biomasse épipélagique moyenne de la morue polaire d'âge 0 en août ($n = 40$) par rapport à a) la semaine de débâcle et b) la rétrodiffusion moyenne du zooplancton épipélagique (Zoo) en août dans les régions du sud de la mer de Beaufort, de Kitikmeot et du nord-ouest de la baie de Baffin.	84
Figure 44. Progression typique du printemps à l'été des diatomées arctiques par rapport aux changements des conditions de l'habitat de neige et de glace dans la baie de Baffin	85
Figure 45. Exemple des emplacements (points colorés) et des déplacements (lignes grises) pour 13 narvals marqués en 2017).	87
Figure 46. Changements décennaux, sur trois périodes, au moment où les narvals marqués dans le détroit d'Éclipse ont traversé une frontière de passage à 75° O qui délimite la lisière des aires d'estivage (A), l'étendue minimale de la glace de mer (en millions de kilomètres carrés) au cours des mêmes périodes (B), et les estimations des paramètres de la moyenne du modèle pour les variables environnementales associées aux changements de la date à laquelle la frontière du passage a été traversée (C).	88
Figure 47. Emplacements des observations inhabituelles (carrés rouges) pour A) le saumon rose, B) le loup de Béring (<i>Anarhichas orientalis</i>), C) la laimargue atlantique (<i>Somniosus</i>	

Microcephalus), D) le corégone tschir, E) la sigouine rubanée (*Pholis fasciata*) et F) la taupe du Pacifique. 89

Figure 48. Répartition de la biomasse intégrée de la colonne d'eau du copépode à 409 stations échantillonnées entre 2005 et 2018 dans l'Arctique canadien..... 90

Figure 49. Moyenne (A) du pourcentage de couverture de varech et (B) de la biomasse des espèces de varech, calculée en fonction de la profondeur, puis du site..... 93

Figure 50. Résumé de l'état de conservation des taxons selon le rapport « Espèces sauvages 2020 », pour A) l'est de l'Arctique canadien et B) l'ouest de l'Arctique canadien.. 96

Figure 51. Prises accessoires de sébastes (en tonnes) dans les pêches du flétan du Groenland (vert [division 0B] et violet [division 0A]) et de la crevette (gris [division 0A] et bleu pâle [division 0B])...... 98

Figure 52. Indices de la biomasse des sébastes (*Sebastes* spp.) calculés pour le détroit de Davis (en bleu) et le détroit d'Hudson (en rouge)..... 99

Figure 53. En 2019, des densités élevées de zooplancton gélatineux, des tuniciers appendiculaires (A), ont été signalées pour la première fois dans les eaux côtières par la collectivité d'Ulukhaktok, dans les Territoires du Nord-Ouest. 101

Figure 54. Répartition géographique de l'oscillation arctique..... 103

Figure 55. Variation de l'indice de l'oscillation arctique au fil du temps 104

Figure 56. Variation de l'indice du Pacifique Nord au fil du temps..... 105

Figure 57. Polygones (rouges) délimitant certaines parties de la région arctique canadienne où les observations permettent de décrire certains aspects de l'état de l'environnement océanique. ... 106

Figure 58. Emplacement du Beaufort Gyre Exploration Project dans le bassin Canada (région en forme de clé de voûte ombrée)..... 107

Figure 59. Variation de la banquise mesurée par un sonar de profilage de la glace sur le site D (Figure 58) de l'observatoire du tourbillon de Beaufort. 107

Figure 60. Couverture fractionnelle par type de glace du sud-est du bassin Canada à la fin de septembre. 108

Figure 61. Volume d'eau douce diluée dans diverses masses d'eau de mer présentes dans le tourbillon de Beaufort. 108

Figure 62. Variation de l'indice de l'oscillation arctique indiquant les intervalles d'alternance du sens de la rotation depuis 1945 109

Figure 63. Valeurs d'un indice Ω dans les eaux de surface du bassin Canada entre 1997 et 2021.	110
Figure 64. Anomalie sur trois mois de la salinité de l'eau de mer près du plancher océanique du plateau du Mackenzie dans le sud de la mer de Beaufort.	111
Figure 65. Anomalie sur trois mois de la température de l'eau de mer près du plancher océanique du plateau du Mackenzie.	111
Figure 66. Distance parcourue annuellement dans le sens ascendant par les eaux près du plancher océanique au milieu du plateau du Mackenzie.	112
Figure 67. Anomalie mensuelle de la couverture fractionnelle de la glace de mer ou de la concentration de la glace, au milieu du plateau du Mackenzie.....	113
Figure 68. Carte des glaces de la mi-mai 2016 montrant une vaste étendue d'eau libre dans le sud-est de la mer de Beaufort.....	113
Figure 69. La variation de la banquise mesurée par un sonar de profilage de la glace au site 1 de l'observatoire de Beaufort du MPO (milieu du plateau du Mackenzie).	115
Figure 70. Couverture fractionnelle par type de glace du plateau continental du sud-est du bassin Canada à la fin de septembre	115
Figure 71. Schéma de l'observatoire océanique du détroit de Barrow montrant les capteurs qui mesurent l'état de l'océan et qui transmettent les données en temps réel.	116
Figure 72. Fraction de glace de plusieurs années (rouge) dans des sous-zones du plateau polaire canadien où la fraction de la glace de plusieurs années moyenne est de 20 % ou plus.....	117
Figure 73. Épaisseur de glace fixée en fin d'hiver (en rouge) dans trois stations sur le plateau polaire canadien depuis la fin des années 1940.	118
Figure 74. Fractions de volume de la banquise à chaque épaisseur de glace dans le détroit de Byam Martin.	119
Figure 75. Valeurs moyennes d'épaisseur de la glace sur 25 km à la lisière sud du « dernier refuge de glace » pendant quatre étés récents.	119
Figure 76. Mesures du débit de l'eau de mer allant de l'Arctique à l'Atlantique dans les détroits de Lancaster, de Nares et de Davis.	120
Figure 77. Salinité (ppt), température (°C) et saturation de l'aragonite (Ω_{arg}) dans les eaux de surface (20 à 40 m).	122

Figure 78. Salinité (ppt), température (°C) et saturation de l'aragonite (Ω_{arg}) dans les eaux profondes (1 000 à 1 200 m).....	122
Figure 79. Variation temporelle du pH et de l'oméga (saturation de l'aragonite), de la salinité et de la température, et des concentrations de carbone inorganique dissous (CID) et d'alcalinité totale de 2003 à 2021 dans l'eau de l'Arctique le long du détroit de Davis.	123
Figure 80. Couverture fractionnelle par type de glace dans la baie de Baffin à la mi-juin.	123
Figure 81. Couverture de glace fractionnelle dans le nord-ouest de la baie de Baffin au début avril.....	124
Figure 82. Couverture fractionnelle par type de glace dans la baie d'Hudson à la mi-juin.....	124
Figure 83. Couverture de glace fractionnelle dans le nord-ouest de la baie d'Hudson au début d'avril.....	125
Figure 84. Biomasse moyenne des morues polaires adultes (âge 1+) d'après les relevés acoustiques effectués dans la mer de Beaufort et la baie de Baffin.....	127
Figure 85. Répartition des prises commerciales de flétan du Groenland dans la sous-zone 0 en 2021.....	129
Figure 86. Total autorisé des captures (cercles) et total des débarquements (carrés) de flétan du Groenland pour les sous-zones 0 et 1 de l'OPANO (au large).	130
Figure 87. Indice de la biomasse de flétan du Groenland pour les sous-zones 0 et 1 de l'OPANO (au large) de 1999 à 2017.....	131
Figure 88. Zones d'évaluation est et ouest pour les espèces de crevettes ciblées par des pêches commerciales dans la région de la baie de Baffin de l'Arctique canadien	131
Figure 89. Total autorisé des captures, total annuel des débarquements et indice de la biomasse pour la crevette nordique et la crevette d'Ésope pêchées dans la zone d'évaluation ouest (ZEO) et la zone d'évaluation est (ZEE) de la baie de Baffin.	132
Figure 90. Un omble chevalier anadrome fraîchement capturé (A) et du <i>piffi</i> (omble arctique séché de façon traditionnelle) sur un séchoir (B; source et crédit photo : M. Gilbert).....	134
Figure 91. Variation de la débâcle de la glace de mer de 1987 à 2016 dans la région de la mer de Kitikmeot au Nunavut (A) et changements du facteur de condition (B) et de la teneur en lipides (C) au cours de cette période	136
Figure 92. Variation des signatures isotopiques de l'omble chevalier échantillonné sur deux périodes (années 1990 par rapport aux années 2010) dans les régions est (A) et ouest (B) de la mer de Kitikmeot.	138

Figure 93. Diagramme conceptuel des principaux processus physiques et biogéochimiques qui influent sur la répartition des traceurs de nutriments dans l'archipel Arctique canadien.	140
Figure 94. Température (graphiques du haut) et salinité (graphiques du bas) des sections océaniques au 140° méridien ouest pour 2006 et 2021.	142
Figure 95. Cartes (a à f) du contenu thermique dans le centre du tourbillon de Beaufort entre 2004 et 2021.	144
Figure 96. Observations à long terme de la température des eaux près de la surface, au milieu et au fond dans le détroit de Barrow montrant des tendances au réchauffement des eaux sortant de l'archipel Arctique canadien.	145
Figure 97. Observations à long terme de la salinité des eaux près de la surface, au milieu et au fond dans le détroit de Barrow montrant des tendances à la dessalure des eaux sortant de l'archipel Arctique canadien.	146
Figure 98. Répartition des caractéristiques morphologiques des copépodes dans la baie de Baffin.	148
Figure 99. Représentation des interactions du réseau trophique côtier et de celui du plateau ouest de la baie de Baffin.	150
Figure 100. Nombre d'individus de chaque espèce de saumon du Pacifique obtenu par le programme de suivi communautaire des saumons dans l'Arctique auprès des pêcheurs dans l'ensemble de l'Arctique canadien de 2000 à 2023.	151
Figure 101. Les voies de migration les plus probables vers le nord empruntées par les sternes arctiques de février à juin 2018 à partir des colonies de nidification de l'Arctique canadien et de l'Alaska (indiquées par des losanges de couleur correspondante).	155
Figure 102. Influences continentales (brunes) et glaciaires (bleues) des eaux douces terrestres fondées sur la moyenne climatologique de septembre des contributions du ruissellement au manganèse dans la partie supérieure de 34 m de la colonne d'eau pour le nord-est de l'archipel (a) et le chenal Parry (b)	158
Figure 103. Résumé des tendances du débit fluvial, des précipitations et des températures de l'air à Inuvik (Territoires du Nord-Ouest), avec les tendances de la profondeur du dégel du pergélisol dans le delta du Mackenzie.	160
Figure 104. Carte de l'état de la glace de mer (imagerie satellitaire MODIS) près du fleuve Mackenzie, dans la mer de Beaufort, au cours d'une étude de quatre ans sur l'utilisation de l'habitat marin par le Dolly Varden.	161

Figure 105. Nombre de fois que l’omble chevalier marqué par des émetteurs de télémétrie acoustique dans la mer de Kitikmeot a été détecté A) dans l’ensemble, et B) à des profondeurs supérieures à cinq mètres (indiquant une plongée) entre 2013 et 2016.	162
Figure 106. Le nombre d’études de cas de chaque collectivité dans l’examen connexe.	166
Figure 107. Le nombre d’études qui incluaient les termes (ou leurs variations) participant*, collaborat*, communautaire, consult*, ou d’autres termes liés à la participation communautaire au fil du temps.	167
Figure 108. Représentation visuelle de la collaboration en matière de recherche et de suivi dans la ZPM d’Anguniaqvia niqiqyuam, présentée au Congrès international sur les aires marines protégées à Vancouver, le 6 février 2023.	174

RÉSUMÉ

Niemi, A., Ehrman, A., Ahmed, M., Arey, M., Azetsu-Scott, K., Babin, M., Capelle, D., Christie, L.R., Devred, E., Drake, A.K., Dunmall, K., Elias, J., Falardeau, M., Ferguson, S., Gilbert, M.J.H., Halliday, W.D., Harris, L.N., Hedges, K., Illasiak, J., Loseto, L., MacPhee, S., Maps, F., Marcoux, M., Mayette, A., McNicholl, D., Melling, H., Michel, C., Moore, J.-S., Nelson, J., Nudds, S., O'Brien, J., Paulatuk Hunters and Trappers Committee, Richards, C., Scharffenberg, K., Shuert, C.R., Storrie, L., Tallman, R., Watt, C., Walkusz, W., Wiens, L.N., Williams, W., Young, B., and Yurkowski, D. 2024. État des mers arctiques du Canada. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3633 : xvii + 228 p.

Dans le cadre d'une initiative de production de rapports sur les écosystèmes lancée en 2016, le ministère des Pêches et des Océans (MPO) s'est engagé à renseigner la population canadienne sur l'état des trois océans du Canada. Ce deuxième rapport sur l'Arctique présente une synthèse des connaissances actuelles qui décrivent la structure et la fonction des écosystèmes. Les nouvelles connaissances présentées dans le présent rapport permettent non seulement de mieux comprendre les mécanismes qui sous-tendent les réactions des écosystèmes à la variabilité et au changement, mais elles s'ajoutent également aux séries chronologiques à long terme cruciales à partir desquelles le changement peut être évalué. L'approche écosystémique du rapport souligne de nouveau l'importance de comprendre les conditions environnementales physiques et le fondement du réseau trophique afin de comprendre l'état des espèces prioritaires. Les thèmes intégrés, y compris les réseaux trophiques, l'habitat, la biodiversité, le cycle saisonnier et la variabilité et la connectivité des écosystèmes, sont abordés et présentés avec des études de cas qui fournissent des exemples thématiques de l'état des écosystèmes. Le rapport indique comment les Inuits et les chercheurs collaborent de plus en plus pour définir et régler les questions relatives aux écosystèmes; cependant, l'état des connaissances documentées varie grandement dans l'ensemble de l'Arctique canadien.

ABSTRACT

Niemi, A., Ehrman, A., Ahmed, M., Arey, M., Azetsu-Scott, K., Babin, M., Capelle, D., Christie, L.R., Devred, E., Drake, A.K., Dunmall, K., Elias, J., Falardeau, M., Ferguson, S., Gilbert, M.J.H., Halliday, W.D., Harris, L.N., Hedges, K., Illasiak, J., Loseto, L., MacPhee, S., Maps, F., Marcoux, M., Mayette, A., McNicholl, D., Melling, H., Michel, C., Moore, J.-S., Nelson, J., Nudds, S., O'Brien, J., Paulatuk Hunters and Trappers Committee, Richards, C., Scharffenberg, K., Shuert, C.R., Storrie, L., Tallman, R., Watt, C., Walkusz, W., Wiens, L.N., Williams, W., Young, B., and Yurkowski, D. 2024. État des mers arctiques du Canada. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3633 : xvii + 228 p.

Fisheries and Oceans Canada (DFO) is committed to informing Canadians on the state of Canada's three oceans as part of an Ecosystem Reporting initiative established in 2016. This second Arctic report presents a synthesis of current knowledge that describes ecosystem structure and function. The new knowledge presented in this report not only advances our understanding of the mechanisms that underlie ecosystem responses to variability and change, but also adds to the crucial long term time series from which change can be assessed. The ecosystem-based approach of the report reiterates the importance of understanding physical environmental conditions and the base of the food web in order to understand the status of priority species. Integrated themes including food webs, habitat, biodiversity, seasonality, and ecosystem variability and connectivity are discussed, and presented together with Case Studies that provide theme-based examples of ecosystem status. The report identifies how Inuit and researchers are increasingly working together to identify and address ecosystem questions; however, the state of documented knowledge greatly varies across the Canadian Arctic.

REMERCIEMENTS

Les connaissances réunies dans le présent rapport sont le fruit d'immenses efforts déployés par de nombreux chercheurs, techniciens, équipages de navires, conseils de cogestion, organisations de chasseurs et de trappeurs, membres de collectivités et d'autres. Nous saluons l'engagement de toutes les personnes qui cherchent à comprendre les écosystèmes marins de l'Arctique.

Nous reconnaissons avec gratitude qu'une grande partie des travaux présentés dans ce rapport ont été entrepris sur les territoires ancestraux inuits (Inuit Nunangat), ce qui comprend les terres, les eaux, les glaces et toute la vie qui s'y trouve.

Nous remercions Blair Greenan, Ph. D. (MPO) et Roger Griffis (NOAA) pour leurs examens constructifs et encourageants du rapport. Nous remercions également Danica Hogan et Julia Baak, Ph. D., d'Environnement et Changement climatique Canada, pour leur contribution et leur examen du contenu portant sur les oiseaux de mer. Katherine Middleton (MPO), Mark Ouellette (MPO), Michelle Kamula (MPO), Annlise Guillemard (MPO) et Caity Allison (MPO) ont également apporté un soutien technique et rédactionnel très apprécié.

Merci
Nakurmiik
ᓃᓂᓗᓂᓗᓂᓗ
Quyanainni
Koana
Thank you

1.0 Rapports sur l'état des océans

Dans le cadre de son engagement à renseigner la population canadienne sur l'état actuel des océans du Canada, le ministère des Pêches et des Océans (MPO) présente régulièrement des rapports sur les écosystèmes des océans Pacifique, Atlantique et Arctique. L'initiative de production de rapports sur l'état des écosystèmes des trois océans du Canada, qui a été lancée en 2016, vise principalement à produire de l'information accessible au public et fondée sur des connaissances spécialisées. Dans le présent rapport technique, nous avons recours à la fois aux connaissances scientifiques et aux connaissances inuites pour décrire notre compréhension collective actuelle – principalement depuis les cinq dernières années – de l'état de la vaste région de l'Arctique canadien.

La structure du présent rapport s'appuie sur une approche écosystémique intégrée. Plutôt que de présenter les niveaux trophiques et les espèces selon un ordre séquentiel, nous avons opté pour une approche thématique. Ainsi, l'état de l'écosystème est décrit selon divers sujets qui représentent des aspects essentiels de la connectivité et de la fonction des écosystèmes. Ce rapport fournit une synthèse des résultats. Par conséquent, les descriptions de projet, les méthodes et les détails des analyses statistiques sont largement omis. Le lecteur est invité à consulter la documentation citée pour obtenir de tels renseignements.

1.1 Éléments nécessaires à la description de l'état de l'océan Arctique canadien

Ce rapport décrit l'état de l'océan Arctique, plus particulièrement dans la région arctique canadienne. Cela étant dit, qu'entendons-nous exactement par « état » et comment l'avons-nous évalué? Dans un contexte écologique, l'état se définit comme l'ensemble des conditions abiotiques et biotiques observées par rapport à un écosystème donné ou à une composante de cet écosystème. L'évaluation de la variabilité de l'écosystème est étroitement liée à la description des conditions. Les conditions abiotiques et biotiques sont-elles stables ou changeantes par rapport à un moment précis dans le temps ou à une moyenne de la condition évaluée (les tendances)? Pour déterminer scientifiquement que l'état d'un écosystème a subi un changement, il faut réaliser des analyses statistiques à l'aide de données adéquates et pertinentes. Le « fardeau de la preuve » relatif aux changements qui touchent les écosystèmes de l'Arctique représente un défi, car on dispose de peu de données adéquates portant sur plusieurs échelles spatiales et temporelles.

État : Ensemble des caractéristiques utilisées pour décrire l'état d'un écosystème dans l'espace et le temps en ce qui concerne une zone géographique précise. Dans le cas d'un système déterministe, l'état représente les valeurs des variables utilisées pour décrire ce système, alors que dans le cas d'un système stochastique, l'état pourrait représenter soit la distribution des probabilités de ces variables d'état, soit les valeurs réalisées de ces variables d'état. En pratique, l'état d'un système est défini à la fois en fonction de la moyenne et de la variabilité (Ratajczak *et al.* 2018).

La variation des conditions environnementales au fil du temps complique le calcul des conditions moyennes à partir desquelles évaluer le changement (section 5). Si cette variabilité se manifeste de façon évidente dans les différences saisonnières spectaculaires entre les conditions hivernales et estivales des eaux de l'Arctique, d'importants changements sont également observés d'une

année à l'autre et entre regroupements d'années, un phénomène que l'on appelle respectivement variation interannuelle et variation interdécennale. Il est relativement facile de déterminer une condition moyenne lorsque les observations sont continues dans le temps. Cependant, bon nombre des campagnes d'observation de l'océan conduites annuellement sont biaisées selon la saison et de courte durée, s'échelonnant parfois sur à peine quelques semaines en été. Néanmoins, si les observations sont répétées chaque année au même moment du cycle annuel, nous pouvons les utiliser pour décrire l'état d'un écosystème pour cette période précise de l'année. Si les observations ne sont pas répétées chaque année, si la période saisonnière d'observation varie de façon notable d'une année à l'autre (c.-à-d. d'un mois ou plus en été), ou si l'emplacement géographique a été différent d'une année à l'autre, nous serons moins en mesure de fournir une description fiable des conditions moyennes et, en fin de compte, de l'état d'un écosystème.

Dans une région où les données sont limitées comme l'Arctique canadien, arriver à établir une distinction fiable entre un changement progressif et les influences de la variabilité cyclique représente un défi de taille. L'océan Arctique canadien s'étend sur quatre millions de kilomètres carrés, ce qui équivaut à 41 % de la superficie terrestre du Canada. Puisqu'il s'agit d'une région où les conditions océaniques varient de façon considérable, il était important que le présent rapport tienne compte de chaque zone géographique pour laquelle un ensemble d'observations donné était représentatif ou pertinent. La taille de chaque zone varie en fonction des variables d'intérêt, de sa profondeur et des caractéristiques géographiques (plateau, talus, bassin, détroit, etc.) qui y sont associées.

En tenant pleinement compte des lacunes dans les données et les connaissances, de la variabilité environnementale et des défis liés à l'étendue de cette région, notre rapport sur l'état de l'océan Arctique présente : 1) les moyennes et les tendances statistiquement significatives relatives aux composantes des écosystèmes pour lesquelles il existe des données adéquates; 2) les connaissances actuelles de la structure et du fonctionnement de l'océan Arctique, qui sont fondées sur des études scientifiques récentes et sur les connaissances inuites documentées. Le rapport fait état des connaissances actuelles portant sur les cinq dernières années. Les conditions actuelles sont décrites en fonction de thèmes principaux, notamment les liens avec l'habitat, le cycle saisonnier, la biodiversité, la variabilité des écosystèmes, la connectivité et les processus écosystémiques côtiers.

1.2 Structure du rapport

Ce rapport commence par un résumé des points saillants qui sont divisés en cinq thèmes principaux (section 2). Les messages relevant de ces thèmes principaux seront décrits dans un langage clair et accessible au public, à l'aide des renseignements à l'appui de ce rapport technique. Un aperçu des agents stressants que l'on retrouve dans l'Arctique canadien est présenté à la section 3. Les autres sections du rapport fournissent des renseignements intégrés sur le contexte, l'état et les tendances pour les thèmes des écosystèmes, notamment sur les réseaux trophiques, l'habitat, la biodiversité, le cycle saisonnier ainsi que la variabilité et la connectivité des écosystèmes. Les renseignements qui concernent particulièrement les zones côtières sont présentés à la section 7. La section 8 fournit de nouveaux renseignements au sujet du leadership autochtone, de la gouvernance collaborative des zones marines et de la participation

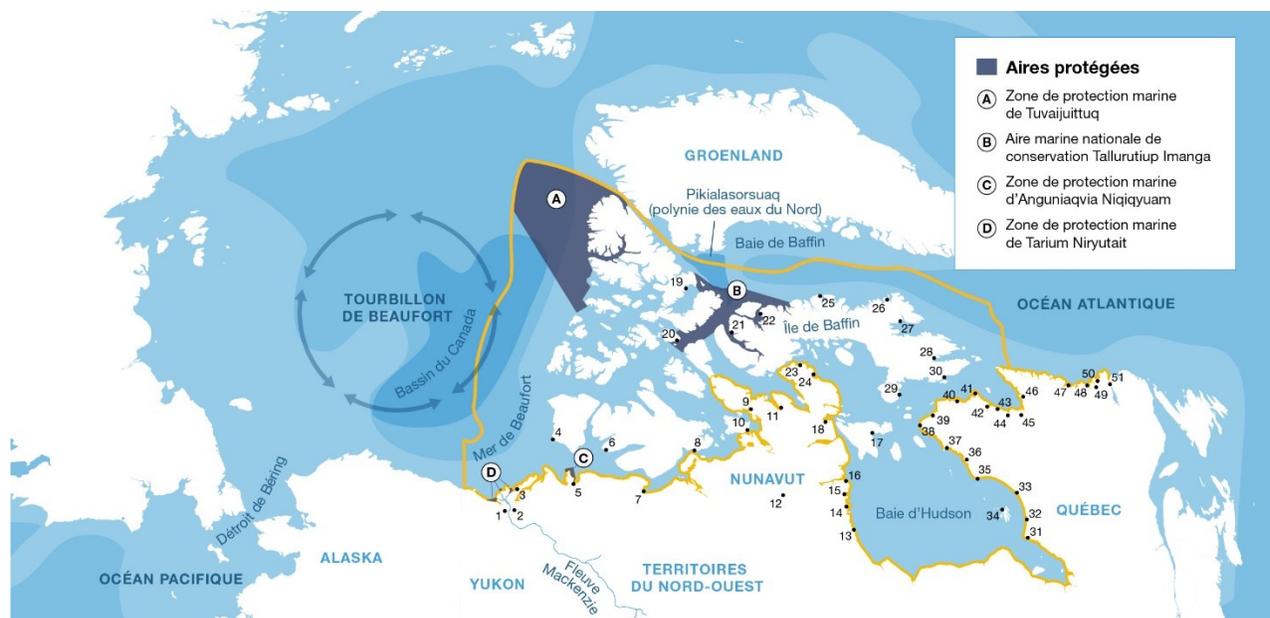
communautaire à la recherche et au suivi sous le thème de la cogestion dans l'Arctique canadien. Le rapport comprend quinze études de cas qui mettent en évidence des constatations et des sujets précis liés aux thèmes écosystémiques intégrés. Les études de cas fournissent des récits distincts de l'état actuel ou des tendances dans différentes régions de l'Arctique canadien.

1.3 Limites de la région visée par le rapport sur l'océan Arctique

Le rapport s'intéresse à une région immense (du 51^e au 86^e parallèle nord, Figure 1, tableau 1). Il met principalement l'accent sur les habitats et les espèces du milieu marin, mais il comprend également des connaissances pertinentes sur les espèces anadromes (p. ex. l'omble chevalier). Inévitablement, l'information provient davantage des régions plus accessibles et de leurs zones d'intérêt. L'état des écosystèmes des zones côtières est abordé à la section 7 et les emplacements des collectivités de l'Arctique canadien sont présentés à la Figure 1. Les données côtières sont généralement recueillies à cinq kilomètres et moins du littoral, sans dépasser l'isobathe de 20 mètres. Dans les zones côtières de l'Arctique, qui sont généralement les plus éclairées par le savoir inuit, les données et les connaissances recueillies proviennent souvent des programmes de suivi communautaires.

Le présent rapport souligne que la région de l'Arctique canadien est reliée aux océans Pacifique et Atlantique, et qu'elle fonctionne dans un système plus vaste que l'Arctique (Figure 2). Toutefois, les tendances et les conditions observées dans la région de l'Arctique canadien ne sont pas nécessairement les mêmes que dans les autres régions de l'Arctique.

La conservation et la protection marines ont été un élément crucial des activités de recherche et de prise de décisions des titulaires de droits au cours des dernières années. L'Arctique canadien compte maintenant trois zones de protection marine (figure 1). Tuvaijuittuq, qui signifie « l'endroit où la glace ne fond jamais » en inuktitut, est la première zone de protection marine (ZPM) à avoir été désignée par arrêté ministériel en vertu de la *Loi sur les océans* aux fins d'une protection provisoire. La ZPM de Tarium Niryutait est la première ZPM qui a été désignée dans l'Arctique canadien et elle comprend trois sous-régions : Niaqunnaq, Okeevik et Kittigaryuit. La ZPM d'Anguniaqvia Niqiqyuam, qui se traduit par « terrains de chasse de Nelson Green », est la seule ZPM au Canada dont les objectifs de conservation sont uniquement fondés sur les connaissances traditionnelles (voir l'étude de cas 15).



Communautés

Région désignée des Inuvialuits

- 1 Aklavik/Aklavik
- 2 Inuvik/Inuvik
- 3 Tuktoyaktuk/Tuktoyaktuk
- 4 Ikaahuk/Sachs Harbour
- 5 Paulatuk/Paulatuk
- 6 Uluhaqtuq/Uluhaktok

Nunavut

- 7 Qurluqtuq/Kugluktuk
- 8 Iqaluktuuttiaq/Cambridge Bay
- 9 Talurjuaq/Taloyoak
- 10 Uqsuqtuq/Gjoa Haven
- 11 Kuugaarjuk/Kugaaruk
- 12 Qamani'tuac/Baker Lake
- 13 Arviat
- 14 Tikirajuaq/Whale Cove
- 15 Kangiqiniq/Rankin Inlet
- 16 Igluligaarjuk/Chesterfield Inlet
- 17 Salliq/Coral Harbour
- 18 Nauyasat
- 19 Ausuittuq/Grise Fiord
- 20 Qausuittuq/Resolute
- 21 Ikpiarjuk/Arctic Bay
- 22 Mittimatalik/Pond Inlet
- 23 Iglulik/Igloolik
- 24 Sanirajak/Hall Beach
- 25 Kangiqtuqaapik/Clyde River
- 26 Qikiqtarjuaq
- 27 Panniqtuq/Pangnirtung
- 28 Iqaluit
- 29 Kinngait/Cape Dorset
- 30 Kimmirut

Nunavik

- 31 Chisasibi
- 32 Kuujuaaraapik
- 33 Umiujuaq
- 34 Sanikiluaq
- 35 Inukjuak
- 36 Puvirnituq
- 37 Akulivik
- 38 Ivujivik
- 39 Salluit
- 40 Kangiqsujuq
- 41 Quaqtaq
- 42 Kangiqsuk/Kangirsuk
- 43 Aupaluk

Nunatsiavut

- 44 Tasiujaq
- 45 Kuujuaq
- 46 Kangiqsuallujuaq
- 47 Nunainguk/Nain
- 48 Agvituq/Hopedale
- 49 Qipuuqqaq/Postville
- 50 MaKovik/Makkovik
- 51 kikiak/Rigolet

Figure 1. Frontière générale de la région d'étude du rapport. Les aires de conservation actuelles sont indiquées et les collectivités de l'Inuit Nunangat sont numérotées et identifiées en inuktitut (orthographe romaine) et en formes anglicisées, comme décrit dans Inuit Tapiriit Kanatami (ITK 2019).

Une aire marine nationale de conservation, Tallurutiup Imanga, est située dans la région nord-est du Nunavut (région de Qikiqtaaluk). Tallurutiup Imanga est une région utilisée depuis des temps immémoriaux par les Inuits. Inuit Qaujimagatuqangit, un terme axé sur les valeurs défini par les Aînés comme étant « les modes inuits de savoir, d'être et de voir le monde – passés, présents et futurs » (Canadian Polar Commission 2003; Karetak *et al.* 2017), éclairera les prises de décisions futures concernant la gestion et la protection de cette aire de conservation. L'accord de conservation permettra de protéger les droits de récolte des Inuits garantis par l'Accord sur les revendications territoriales du Nunavut tout en assurant la protection des espèces en péril.

Les zones marines de l'Arctique canadien comprennent également trois refuges marins (Disco Fan, détroit de Davis et bassin de Hatton). Les refuges marins sont des zones fermées à la pêche en vertu de la *Loi sur les pêches*. Ils aident à promouvoir la biodiversité et à protéger les espèces importantes et leurs habitats, et ils contribuent aux objectifs de conservation marine du Canada. Une grande partie des connaissances et des recherches présentées dans le présent rapport aident à

éclairer la gestion de toutes les aires de conservation et les ZPM de l'Arctique canadien – soit directement, soit en fournissant le contexte écosystémique qui influence les aires ou les zones désignées.

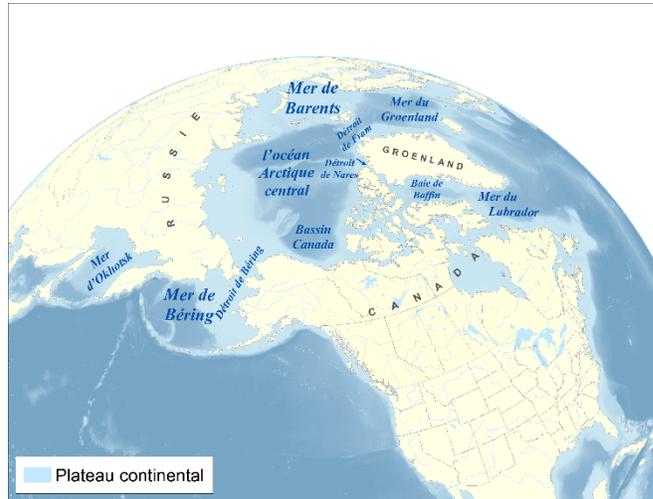


Figure 2. Connectivité entre la région de l'Arctique canadien et les régions arctiques et subarctiques avoisinantes.

Tableau 1. Caractéristiques physiques de la région de l'Arctique canadien

Zone océanique de la région de l'Arctique canadien	Près de 4 millions de kilomètres carrés, soit l'équivalent de 41 % de la superficie terrestre du Canada.
Zone océanique canadienne sur le plateau continental	3,2 millions de kilomètres carrés, à l'exclusion des îles.
Ligne de côte (continentale)	Plus de 176 000 km (du Yukon au Labrador), soit plus de 70 % de toutes les côtes canadiennes.
Collectivités	58 collectivités, soit environ 49 000 Inuits qui vivent dans l'Inuit Nunangat (Statistics Canada 2021).
Îles	94 grandes îles (plus de 130 km ²) et environ 36 470 petites îles, dont la superficie totale cumulée est de 1,4 million de kilomètres carrés. L'île de Baffin est 18 fois plus grande que l'île de Vancouver.
Glace de rive	L'archipel Arctique canadien abrite la plus vaste étendue de glace de rive de l'Arctique.
Glace de plusieurs années	En été, la surface de glace de mer de plusieurs années (valeur excluant la limite nord de l'archipel canadien) a diminué de 7,7 % par décennie au cours de la période allant de 1968 à 2022. En 2022, la superficie estivale moyenne de la glace de mer de plusieurs années a été la plus faible enregistrée depuis 1968 (source : Division de la recherche climatique, Environnement et Changement climatique Canada, 2022)

2.0 Points saillants du rapport

Les points saillants présentés ici ont trait à l'état des écosystèmes marins dans l'Arctique canadien. Pour de nombreux sujets abordés dans le rapport, il n'y a pas de registre d'observations suffisamment long permettant de produire des rapports fiables sur le changement. Cependant, depuis notre dernier rapport (Niemi *et al.* 2019), une quantité considérable de données ont été recueillies pour décrire la structure et la fonction des écosystèmes. Ces données nous permettent non seulement de mieux comprendre les mécanismes qui sous-tendent les réactions des écosystèmes à la variabilité et au changement, mais elles s'ajoutent également aux séries chronologiques à long terme cruciales à partir desquelles le changement peut être évalué et compris de manière plus approfondie.

Les points saillants présentés ci-dessous sont regroupés en cinq thèmes principaux qui reflètent les progrès réalisés au cours des cinq dernières années dans notre compréhension de la fonction et de l'état des écosystèmes, et ils sont illustrés par des exemples tirés du rapport. Les points saillants et le rapport se concentrent sur la description de l'état actuel et non sur la projection de l'état futur. Les messages réitèrent que les effets ascendants ont une plus grande incidence sur les écosystèmes marins de l'Arctique que les effets descendants, ce qui souligne l'importance de comprendre les conditions environnementales physiques et le fondement du réseau trophique.

2.1 Énoncés contextuels

- La connaissance scientifique des conditions environnementales et des communautés biologiques est spatialement inégale dans l'Arctique canadien et intermittente dans le temps.
- Tous les détenteurs de connaissances travaillent ensemble pour produire de l'information utile à la compréhension et à la gestion des écosystèmes de l'Arctique canadien. Les lacunes dans les connaissances et la nécessité de poursuivre et d'élargir les travaux sont soulignées dans le rapport.
- La façon dont les écosystèmes marins de l'Arctique changent varie d'une région à l'autre. De nouvelles connaissances sur les espèces, les processus et les mécanismes qui déterminent la fonction des écosystèmes soulignent la nécessité de lier les descriptions de la variabilité et du changement à un endroit ou à un moment précis. Il est difficile de faire des généralisations à l'échelle de l'Arctique.
- L'absence de tendance signifie simplement qu'il n'y a pas d'augmentation ou de diminution constante et détectable de la variable mesurée au cours de la période observée. L'absence d'une tendance détectable pourrait être attribuable à un manque de données ou à une échelle de temps qui n'est pas assez longue pour évaluer correctement le changement.

2.2 Nouvelles connaissances sur la glace de mer et les tendances océaniques

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
Pour l'ensemble de l'Arctique	
<p>L'étendue de la glace de mer dans l'hémisphère nord à la fin de l'été (septembre) a diminué d'environ 42 % de 1979 à 2023. La majeure partie de cette diminution s'est produite avant 2008.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ La plus faible étendue de glace de mer en septembre connue a été enregistrée en 2012, et la deuxième plus faible l'a été en 2020. 	Section 3
<p>L'étendue de la glace de mer dans l'hémisphère nord à la fin de l'hiver (mars) a diminué d'environ 10 % entre 1979 et 2023. Contrairement aux tendances de septembre, la diminution de l'étendue de la glace de mer hivernale a progressé sensiblement au même rythme entre 1979 et 2023. La diminution de la banquise à la fin de l'hiver a principalement été observée dans le nord des océans Pacifique et Atlantique.</p>	Section 3
<p>Les réductions progressives de l'étendue et de l'épaisseur de la glace de mer ont été ponctuées d'une variabilité annuelle et décennale considérable.</p>	Sections 3 et 5.2
<p>Les observations de l'étendue des glaces de l'Arctique depuis 1979 révèlent que la plus grande perte de glace de plusieurs années s'est produite abruptement lors de deux événements, l'un en 1989 et l'autre en 2006-2007. Au cours de ce dernier événement, une diminution marquée de l'épaisseur de la glace quittant l'Arctique a été mesurée directement dans le détroit de Fram, un événement unique dans ce registre qui a débuté en 1990. Les deux événements semblent être associés à des contributions relatives différentes de l'exportation, de la fonte et de la reconstitution de la vieille glace.</p>	Section 3
<p>Les rares données accessibles et les simulations numériques indiquent que le volume et l'âge de la glace de mer semblent avoir diminué dans l'ensemble de l'Arctique au fil du temps, au même rythme que le recul de l'étendue de glace. Le volume de glace en été pourrait avoir diminué de 82 % entre 1979 et 2023.</p>	Section 3
<p>Dans les régions qui ont toujours été exemptes de glace en été, un dégagement progressivement plus hâtif des glaces au printemps et une prise des glaces automnale plus tardive ont été observés de 1979 à 2023, ce qui a entraîné de plus longues périodes sans glace.</p>	Sections 3, 5.2.1, 5.2.2. et 7.1
Pour l'Arctique canadien	
<p>La modification de l'étendue de la glace de mer qui s'est opérée dans l'ensemble de l'Arctique s'est reflétée dans certaines régions des mers arctiques du Canada, mais pas toutes.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Depuis 1968, le taux global de diminution de la glace de mer de plusieurs années à la fin de septembre a été d'environ 14 % par 	Section 5.2

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
<p>décennie pour le bassin Canada et le plateau continental de la mer de Beaufort, de 7 % par décennie pour l'Extrême-Arctique du plateau polaire canadien, mais minime dans la baie de Baffin. Les tendances relatives à la glace de mer de deuxième année, qui entre dans la catégorie des glaces de plusieurs années, ont été de +2,5 % par décennie dans le bassin Canada, de -4,0 % sur le plateau continental de la mer de Beaufort et de -3,2 % par décennie dans l'Extrême-Arctique.</p>	
<p>Dans le bassin Canada, le tourbillon de Beaufort a subi une période de changement prolongée (plus de 20 ans) qui semble maintenant ralentir.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ La teneur en eau douce a augmenté d'environ 50 % de 2003 à 2008 et s'est stabilisée depuis. ○ Le contenu thermique des eaux provenant du Pacifique a quadruplé depuis les années 1990, atteignant un sommet en 2018. ○ Les eaux de surface du tourbillon de Beaufort sont devenues corrosives pour les organismes à coquille en 2007, et cette acidification persiste depuis. 	<p>Section 5.2.1 et étude de cas 11</p>
<p>Les observatoires océaniques à long terme sur le plateau polaire canadien ne permettent d'évaluer les tendances et la variabilité que dans deux principales régions.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Plateau du Mackenzie</i> <ul style="list-style-type: none"> – La remontée des eaux froides a doublé au cours des 25 dernières années. – La salinité des eaux de fond (50 m de profondeur) n'a pas changé au cours des trois dernières décennies. – La température des eaux de fond (50 m) ne s'est réchauffée que légèrement (moins de 0,1 °C/décennie). Cependant, les données révèlent des températures épisodiques plus élevées à des intervalles multidécennaux, probablement en raison de la variation des vents et du mouvement de la masse d'eau connexe. ○ <i>Détroit de Barrow</i> <ul style="list-style-type: none"> – Les eaux qui coulent vers l'est dans le détroit de Barrow se sont dessalées à toutes les saisons et profondeurs, et se sont réchauffées légèrement au cours des dernières décennies (moins de 0,1 °C/décennie). 	<p>Sections 5.2.2 et 6.3</p>

2.3 Revoir les hypothèses relatives aux écosystèmes

Les écosystèmes marins de l'Arctique canadien sont très variables dans l'espace et le temps. De nouvelles recherches et synthèses de données ont mis en lumière des réactions complexes et parfois inattendues aux changements d'origine naturelle et anthropique. Nos connaissances améliorées sur la variabilité des écosystèmes nous permettent de mieux détecter et comprendre la

progression des réactions (p. ex. changements constants par rapport aux épisodes soudains de changement) dans le milieu marin de l'Arctique.

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
<p>Dans l'Arctique canadien, les collectivités autochtones disposent de vastes connaissances sur les conditions historiques qui servent de référence, et elles ont une compréhension approfondie de la variabilité des espèces et des écosystèmes, ce qui permet de cerner et de suivre le changement.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ La recherche ainsi que les connaissances autochtones sur la façon dont les changements environnementaux influencent les déplacements et les récoltes offrent une perspective holistique des répercussions des changements climatiques. 	<p>Études de cas 5, 10, 14 et 15; sections 4.5, 4.6 et 7.1</p>
<p>Les possibilités découlant de la perte de glace de mer et du réchauffement de l'Arctique peuvent prendre du temps à se concrétiser.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Malgré la présence, la croissance et l'importation réduites de glace de plusieurs années dans le passage du Nord-Ouest et la baie de Baffin, la glace de plusieurs années continue d'être un danger pour le transport maritime. L'expansion attendue du varech et de la zostère marine à l'échelle de l'Arctique en raison de l'amélioration de la qualité de l'habitat n'a pas encore été décelée dans les quelques sites canadiens ayant une série chronologique d'au moins 10 ans. 	<p>Étude de cas 6 et section 3</p>
<p>Des conditions arctiques rares existent dans les eaux canadiennes, comme l'indiquent les activités de suivi océanique continues.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Les indicateurs de l'acidification des océans dans les eaux sortant de l'Arctique observées le long du détroit de Davis montrent une variabilité temporelle; cependant, contrairement à d'autres océans, il n'y a pas de tendance évidente au cours des 20 dernières années. En effet, dans cette région, l'acidification de l'océan est principalement contrôlée par la dynamique de l'eau douce, plutôt que par le dioxyde de carbone (CO₂) d'origine anthropique. Une autre condition rare est la présence de vieille glace de mer épaisse dans la ZPM de Tuvaijuittuq au nord de l'île d'Ellesmere, qui est plus élevée que dans tout autre endroit de l'Arctique. Il n'y a pas non plus de données probantes indiquant une tendance au réchauffement de la surface de l'océan dans l'est de la mer de Beaufort, mais le réchauffement plus précoce de la surface est lié à une détection accrue du phytoplancton. 	<p>Sections 4.4.2, 5.2.3 et 5.2.4</p>

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
<p>Les changements dans les écosystèmes marins ne sont pas nécessairement constants dans les zones adjacentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ On a établi une corrélation entre les tendances à la baisse de la durée des arches de glace des eaux du Nord et du détroit de Lancaster entre 1979 et 2000, après quoi les tendances n’ont pas été corrélées. Des changements dans la biodiversité du zooplancton ont été documentés dans les océans Pacifique et Atlantique. Cependant, malgré un lien étroit avec les océans Pacifique et Atlantique, de tels changements dans la biodiversité du zooplancton n’ont pas été documentés dans les eaux canadiennes de l’Arctique. Les diminutions du signal des algues de glace mesuré à partir de tissus de prédateurs ne sont pas nécessairement constantes d’une région à l’autre, même lorsque le changement de la glace de mer est semblable. 	<p>Études de cas 3 et 5; sections 4.3 et 4.6</p>
<p>La biodiversité et la présence d’espèces fourragères essentielles dans l’Arctique canadien pourraient ne pas suivre les tendances géographiques prévues à grande échelle et à l’échelle régionale.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ L’océan Arctique canadien abrite une plus grande diversité d’invertébrés associés au fond marin que les eaux canadiennes de l’Atlantique et du Pacifique. Une uniformité des assemblages des communautés de zooplancton et des tendances stables de la biomasse de la morue polaire dans les habitats extracôtiers ont été observées dans l’ensemble de l’Arctique canadien. 	<p>Sections 4.6 et 5.3</p>
<p>Il est nécessaire de comprendre la structure de l’habitat physique pour mesurer avec précision les services écosystémiques essentiels, y compris les échanges de CO₂.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ L’amélioration de la couverture des données a réduit l’incertitude dans les estimations de l’absorption de CO₂ par les eaux marines de l’Arctique canadien. Cela permettra d’améliorer les modèles et les projections et de révéler la complexité du flux de CO₂ dans les eaux littorales, qui peut alterner entre l’absorption et l’émission de CO₂ sur des échelles de temps saisonnières. 	<p>Étude de cas 1 et section 7.2</p>

2.4 Connaissances améliorées des réactions d’espèces aux écosystèmes variables

La vie marine est intimement liée à l’habitat dynamique de l’Arctique. Les changements des déterminants physiques et chimiques de la structure de l’habitat ont une incidence sur la répartition des ressources, la biologie de la reproduction, la recherche de nourriture et les comportements de chasse, ainsi que sur les déplacements et la migration. De nouvelles connaissances ont révélé une possible adaptabilité chez certaines espèces, du moins à court terme, et de possibles répercussions chez d’autres.

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
<p>Des études menées sur un cycle annuel complet et au fil des ans révèlent que certains prédateurs de l'Arctique peuvent ajuster leurs comportements migratoires et alimentaires en fonction des conditions environnementales et de la disponibilité des proies.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Certaines populations de bélugas et de baleines boréales adaptent leur comportement de plongée d'alimentation en fonction de la disponibilité des proies, de l'emplacement, de la période de l'année et de l'état de la glace de mer. On a observé que le narval, qui était auparavant considéré comme inflexible en ce qui a trait à la migration, retardait sa migration vers le sud à partir de ses aires d'estivage en réponse à la diminution de la glace de mer. Dans la baie d'Hudson, une colonie de guillemots de Brünnich a déplacé son aire de répartition vers des régions où les températures de surface de la mer sont demeurées suffisamment froides pour favoriser leurs proies associées à la glace, alors qu'en même temps, la diminution de la couverture de glace de mer permettait un meilleur accès à ces proies. La souplesse du régime alimentaire et de l'utilisation de l'habitat est essentielle pour protéger les prédateurs marins de l'Arctique contre les répercussions ascendantes des changements climatiques. 	<p>Études de cas 4 et 8; section 4.4.1</p>
<p>Aucun changement à grande échelle des tendances migratoires des baleines et des oiseaux de mer résidents de l'Arctique n'a été observé dans l'Arctique canadien.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Des changements de l'utilisation de l'habitat et du moment de la migration ont été observés pour certaines baleines résidentes de l'Arctique. Cependant, il s'agit d'ajustements relativement locaux. En revanche, il y a eu des variations notables de la présence de cétacés non résidents, comme l'épaulard et le grand cachalot. 	<p>Sections 6.5 et 6.6</p>
<p>Une incertitude persiste quant à l'influence sur le réseau tropique que pourrait avoir tout changement de la disponibilité des algues de glace comme source alimentaire.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Des données probantes laissent croire qu'à tous les niveaux trophiques, les espèces de l'Arctique sont soutenues toute l'année par l'énergie produite par les algues de la glace de mer. Cela donne à penser que le carbone produit par les algues de glace au printemps tombe au fond de la mer, est stocké dans les sédiments et plus tard consommé par les invertébrés du fond marin qui, lorsqu'ils sont consommés comme proies, le transfèrent 	<p>Études de cas 3 et 7; sections 4.3 et 4.5</p>

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
<p>au sommet du réseau trophique. Bien que les invertébrés benthiques de l'Arctique canadien fassent preuve d'une certaine souplesse dans leur utilisation de différentes sources de nourriture, les conséquences d'une disponibilité réduite des algues de glace ne sont pas bien comprises.</p>	
<p>Les changements climatiques pourraient toucher certaines espèces plus négativement que ce qui était prévu.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Les herbiers de zostère marine de la baie James présentent moins de variabilité génétique que ceux des régions subarctiques du Pacifique et de l'Atlantique canadiens, ce qui peut nuire à leur capacité de faire face aux conditions de réchauffement et de se rétablir des baisses historiques associées au réchauffement, à la débâcle précoce des glaces et au développement hydroélectrique. 	<p>Étude de cas 6; section 4.4.3</p>
<p>L'interaction de multiples effets environnementaux sur des processus importants pour les populations et les individus complique notre capacité à prédire les réactions de nombreuses espèces aux changements qui s'opèrent.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ On s'attend à ce que l'omble chevalier profite des possibilités accrues de recherche de nourriture dans le milieu marin qui sont offertes par des périodes sans glace plus longues. Les individus peuvent s'acclimater partiellement à des températures de l'eau supérieures, bien que leur degré d'acclimatation soit limité. La poursuite du réchauffement nécessitera des changements de comportement pour y faire face. 	<p>Étude de cas 10; sections 5.4.1, 7.3 et 7.4</p>

2.5 Connaissances améliorées de la fonction écosystémique et de la biodiversité

Des progrès importants ont été réalisés en ce qui concerne la documentation de la répartition des espèces marines, des préférences en matière d'habitat et de la biodiversité dans l'Arctique canadien. Les espèces de tous les niveaux trophiques dans l'Arctique réagissent de façon complexe à la variabilité croissante de l'environnement.

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
<p>Les nouvelles technologies et les observations soutenues renforcent nos connaissances sur les conditions océaniques et les aires de répartition des espèces au-delà de la période sans glace.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Les instruments amarrés, le marquage d'animaux et les mesures océanographiques côtières prises par des collectivités comblent les lacunes dans les connaissances tout au long du cycle annuel, réduisant ainsi le biais vers 	<p>Études de cas 2, 4, 8, 10, 14 et 15; sections 4.4.2 et 5.0; boîte à outils à la section 5.2.2</p>

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
<p>la période sans glace. Les nouvelles technologies de relevé ont amélioré la cartographie du déplacement d'animaux et de l'état de populations au cours de différentes saisons.</p>	
<p>On profite d'une participation accrue des collectivités inuites à la recherche et au suivi en milieu aquatique, ce qui donne lieu à des collaborations significatives.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Le leadership communautaire dans le cadre des programmes de recherche et de suivi, qui peuvent être caractérisés par des objectifs de recherche établis par les collectivités, et le rapprochement de différentes façons de savoir, permettent une meilleure compréhension de l'état des habitats et des espèces prioritaires. Même si l'on continue de discuter des bonnes pratiques et de les mettre en œuvre, des défis demeurent qui peuvent entraver la création de partenariats. 	<p>Études de cas 13, 14 et 15; section 7.1</p>
<p>L'établissement des priorités par les collectivités a sous-tendu l'élaboration conjointe de programmes de recherche et de suivi dans la ZPM de Tarium Niryutait et la ZPM d'Anguniaqvia Niqiqyuam dans l'ouest de l'Arctique canadien.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ La prise de décisions et les partenariats axés sur la collaboration ont joué un rôle fondamental dans l'avancement des connaissances sur la santé du béluga et son utilisation de l'habitat, l'évaluation des stocks d'omble chevalier et l'état des principales composantes de l'écosystème dans ces ZPM. Dans l'ensemble de l'Inuit Nunangat, le suivi communautaire des écosystèmes côtiers a permis d'établir des bases de référence locales en matière de biodiversité, de détecter les changements de répartition et de documenter les observations d'espèces inhabituelles. 	<p>Études de cas 14 et 15; sections 1.2, 4.5, 4.6, 5.0 et 5.4.1</p>
<p>De meilleures connaissances sur la façon dont les espèces utilisent leurs habitats nous ont permis de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ L'utilisation de l'habitat marin par le Dolly Varden et l'omble chevalier, des espèces anadromes, est étroitement liée aux températures et aux salinités optimales pour la performance physique et la répartition des proies. La profondeur de l'eau plutôt que l'emplacement à lui seul peut être un facteur important des habitudes de recherche de nourriture et des points névralgiques de densité pour les mammifères marins. 	<p>Études de cas 4 et 10; sections 4.4.2 et 7.3</p>

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
<p>Des progrès importants ont été réalisés dans la caractérisation de la diversité et de la répartition de plusieurs espèces, y compris des espèces qui forment elles-mêmes un habitat pour d'autres espèces.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Des connaissances ont été acquises sur les espèces benthiques constituant un habitat, comme les coraux, les éponges et les macrophytes (varech et plantes aquatiques), les associations à un habitat des poissons marins dans le golfe Amundsen, et les habitudes migratoires de la baleine boréale, du narval et du béluga et de certains oiseaux de mer. 	Études de cas 4, 8; sections 4.4.2, 4.4.3, 6.5, 6.6
<p>De nouvelles connaissances sur la biodiversité ou l'état de populations indiquent de possibles répercussions sur les écosystèmes.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Des proliférations d'algues nuisibles qui ont mené à l'absorption de toxines (c.-à-d. des phycotoxines amnésiques et paralysantes) par des invertébrés benthiques, à des niveaux non nocifs pour l'humain, ont été recensées pour la première fois dans l'ouest de l'Arctique canadien. La première capture d'un saumon kéta juvénile près de Kaktovik, en Alaska, confirme la réussite de la fraie dans l'Arctique nord-américain, ce qui pourrait entraîner des conséquences incertaines pour les espèces arctiques importantes sur le plan culturel si la fraie du saumon devenait plus fréquente. Deux espèces d'oiseaux de mer sont classées comme étant gravement en péril dans l'Arctique canadien : le guillemot à miroir et la mouette blanche. 	Sections 4.6 et 6.4
<p>D'autres indicateurs d'état indiquent toutefois une stabilité.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Il n'y a pas suffisamment de données sur les tendances démographiques à long terme pour classer l'état de conservation de la grande majorité des espèces marines qui vivent dans l'Arctique canadien. Cependant, des évaluations récentes indiquent que la population de béluga de l'est de la mer de Beaufort est stable. Les évaluations des principaux stocks ciblés par des pêches commerciales dans l'Arctique indiquent que les populations de flétan du Groenland, de crevette nordique et de crevette d'Ésope sont en bonne santé. 	Sections 4.6, 5.4.2, 5.4.3 et 5.4.4

2.6. Une compréhension de plus en plus approfondie des mécanismes

Il est essentiel de comprendre comment et pourquoi les écosystèmes changent pour assurer une gestion adaptative, surtout au niveau de l'écosystème. Au cours des dernières années, des connaissances mécanistes sur les niveaux trophiques et les régions servent de source d'information pour les efforts de modélisation visant à prédire l'état futur des écosystèmes.

L'amélioration des renseignements mécanistes nous permet également de mieux limiter les descriptions du changement et les attentes à l'égard des répercussions.

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
<p>Les mécanismes peuvent afficher des différences régionales qui influent sur la survie des espèces clés.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans la baie de Baffin et la mer de Beaufort, la survie des larves de morue polaire jusqu'à leur entrée dans la population adulte est influencée par des processus atmosphériques à grande échelle qui agissent sur la concentration de la glace de mer et la température de l'eau. Toutefois, dans la baie de Baffin, le moment de la débâcle des glaces de mer et la pression de prédation jouent un rôle plus important que dans la mer de Beaufort. De même, les effets d'un décalage temporel entre le zooplancton et le pic de production du phytoplancton dont il se nourrit étaient attribuables à différents mécanismes, soit la faible disponibilité des aliments dans la mer de Beaufort et des aliments abondants, mais de piètre qualité dans la baie de Baffin. 	<p>Sections 4.5 et 5.3</p>
<p>Notre compréhension de la façon dont la lumière du jour influence le fonctionnement de l'écosystème a progressé pour tous les niveaux trophiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Une nouvelle recherche décrit en détail les mécanismes par lesquels la neige contrôle le moment et la vitesse des transitions entre les habitats de la glace et de la colonne d'eau qui, à leur tour, orientent la progression saisonnière de la production primaire. De nouvelles observations des réactions comportementales du béluga au cycle quotidien de la lumière indiquent que la plongée et les migrations verticales ne se produisent pas seulement en réponse aux proies. 	<p>Études de cas 3, 4 et 7</p>
<p>Des contraintes qui limitent les avantages de la fonte précoce des glaces se concrétisent.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Il semble maintenant qu'une débâcle avant juin augmente la probabilité d'un décalage entre le zooplancton et ses ressources alimentaires, ce qui pourrait réduire la disponibilité des proies pour le développement de la morue polaire, ce qui entraînerait une baisse du recrutement. 	<p>Section 4.5</p>
<p>Des études détaillées et de nouvelles technologies ont permis de mieux comprendre le devenir des proliférations phytoplanctoniques.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Une vidéo à haute résolution a révélé de nouvelles données sur la façon dont les cellules commencent à se regrouper et à couler pendant la prolifération 	<p>Études de cas 3 et 12; boîte à outils à la section 4.3</p>

Point saillant du rapport	Référence dans le rapport
<p>phytoplanctonique dans la baie de Baffin. La façon dont les copépodes suivent les cellules regroupées, plutôt que de brouter des cellules individuelles laissées à la surface, peut influencer le transfert de carbone par l'entremise du réseau trophique.</p>	
<p>Les mécanismes qui influencent la répartition des nutriments ont été mieux délimités.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ La proportion de nutriments provenant de l'Atlantique est nettement plus importante qu'on ne le pensait dans le centre de l'archipel Arctique canadien. De plus, l'eau de fonte glaciaire est maintenant considérée comme une source importante de nutriments dans le nord-est de l'Arctique canadien, non seulement parce qu'elle fournit des quantités importantes de micronutriments, mais aussi parce qu'elle joue un rôle central dans le transport vers la surface des macronutriments entreposés dans les eaux marines plus profondes. L'importance relative des nutriments d'origine fluviale par rapport aux nutriments d'origine glaciaire varie géographiquement. 	<p>Sections 6.1 et 7.2</p>
<p>La compréhension de ce qui cause les événements imprévus nécessite d'inclure le savoir autochtone et de mieux soutenir la participation autochtone tout au long du processus de recherche.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ La combinaison des systèmes de connaissances peut permettre de mieux comprendre les événements inattendus comme la mortalité de bélugas, les observations de grands cachalots, l'hivernage de baleines boréales dans de nouvelles zones et la présence de saumons. 	<p>Étude de cas 14; sections 4.6, 5.0, 6.4, 7.1 et 7.4</p>

3.0 Agents stressants des écosystèmes de l'océan Arctique

Dans l'Arctique, plusieurs facteurs peuvent modifier l'état (c.-à-d. les conditions moyennes ou la variabilité) des écosystèmes marins. Ces facteurs au sein d'un système sont considérés soit comme des **éléments moteurs** (d'origine naturelle), soit comme des **agents stressants** (d'origine anthropique). Les changements climatiques sont un important agent stressant d'origine anthropique qui touche l'Arctique canadien. Ils produisent des effets qui s'étendent à l'extérieur du domaine de la variabilité naturelle, tant sur le plan temporel (p. ex. saisons, années, décennies) que sur le plan spatial (p. ex. échelle locale, régionale, de l'Arctique). Le défi que posent les changements climatiques tient du fait qu'ils englobent une multitude de variables dans différents domaines (p. ex. atmosphérique, physique, chimique, habitat) en plus d'être liés, de façon directe ou indirecte, à tous les autres agents stressants d'origine anthropique qui influent sur le milieu marin. Cette interconnexion représente un défi de taille pour la gestion de l'océan et de ses ressources, car même en combinant les connaissances scientifiques et inuites sur l'Arctique, ces dernières demeurent insuffisantes pour 1) faire la distinction entre la variabilité naturelle et les changements induits par le climat et 2) aborder adéquatement les effets individuels et cumulatifs des changements climatiques et d'autres agents stressants, ainsi que leur nature (effets additifs, synergiques) et leurs résultats.

Les effets des changements climatiques sur l'Arctique canadien sont en définitive associés à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les océans jouent un rôle essentiel dans les stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre et pourraient jouer un rôle nouveau et élargi à l'avenir. Les océans absorbent non seulement 10,5 Gt (gigatonnes, soit un milliard de tonnes) de CO₂ par année, ce qui équivaut à 26 % des émissions totales de CO₂ d'origine anthropique (Friedlingstein *et al.* 2022), mais ils ralentissent également le taux d'augmentation du CO₂ atmosphérique et l'augmentation associée du réchauffement climatique. Cependant, il n'y a pas suffisamment d'observations continues du CO₂ à la surface des océans et des flux air-mer de CO₂, en particulier dans les régions de latitude élevée et pendant l'hiver. De plus, la variabilité à long terme des processus physiques et biologiques qui contribuent au puits de carbone en milieu marin est encore mal comprise (Fay et McKinley 2013; Wanninkhof *et al.* 2013). Le rôle des eaux arctiques du Canada dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre n'est pas non plus bien compris. Toutefois, de nouveaux renseignements améliorent notre compréhension des eaux canadiennes en tant que source ou puits de CO₂, à différentes échelles temporelles et spatiales (étude de cas 1).

Avec le changement climatique, le système terrestre se réchauffe. Il est essentiel de connaître la quantité de chaleur et sa répartition pour comprendre les réactions des écosystèmes au réchauffement. À l'heure actuelle, les océans absorbent environ 90 % de l'énergie excédentaire associée au déséquilibre énergétique de la Terre (von Schuckmann *et al.* 2020), et la perte de glace de mer contribue à la vitesse à laquelle la Terre absorbe l'énergie du soleil (Loeb *et al.* 2021). La perte de neige et de glace réduit la capacité de l'Arctique à refléter l'énergie solaire, ce qui contribue à l'amplification du réchauffement. Les températures annuelles moyennes (période de 12 mois calculée du mois d'octobre d'une année au mois de septembre de l'année suivante) ont augmenté à l'échelle mondiale depuis 1900, mais au-dessus des zones terrestres et océaniques au nord du 60° parallèle nord, les températures de l'Arctique ont augmenté d'au moins deux fois la moyenne mondiale depuis l'an 2000 (Ballinger *et al.* 2022). Les dix années

les plus chaudes enregistrées pour l'ensemble de l'Arctique ont toutes eu lieu depuis 2011. En 2022, la température annuelle moyenne de l'air dans l'archipel Arctique canadien était de plus de 2 °C supérieure à la moyenne de 1991 à 2020. Le réchauffement de l'air et des eaux de la couche de surface de l'océan dans l'Arctique peut influencer sur des écosystèmes entiers en agissant sur les concentrations d'oxygène dans l'océan, la gravité des tempêtes, le niveau de la mer et le cycle hydrologique.

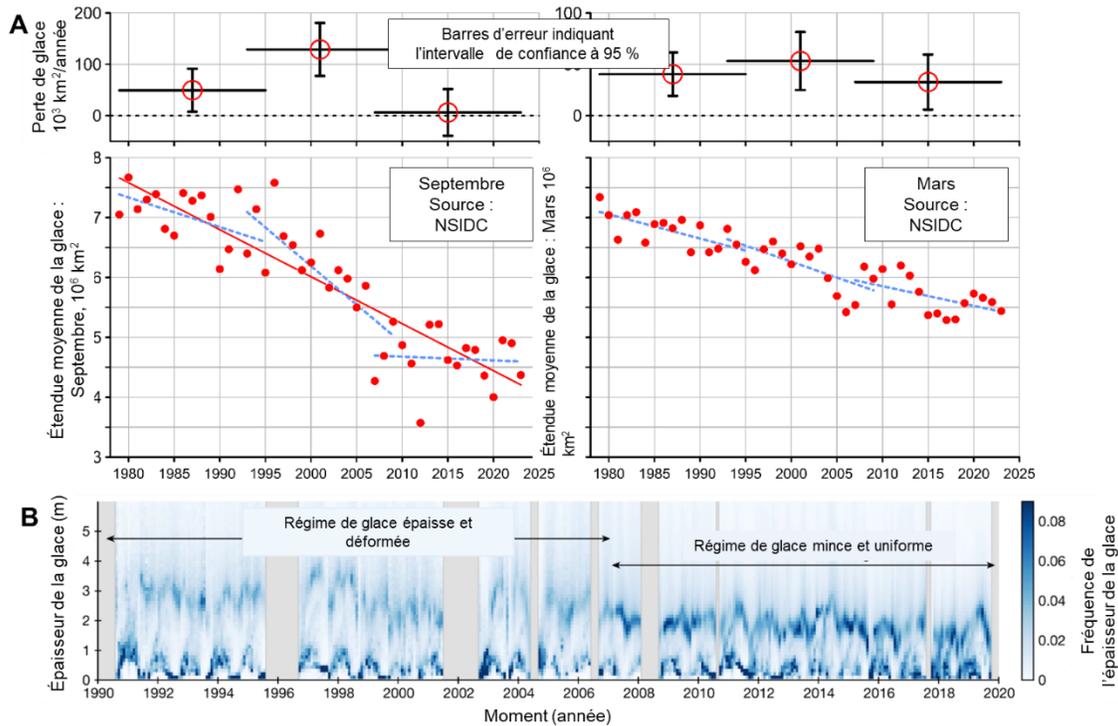


Figure 3. A) Lignes de tendance pour l'étendue moyenne mensuelle de la glace de mer à l'échelle de l'Arctique en septembre (en bas à gauche) et en mars (en bas à droite). Une ligne rouge pleine (omise pour la clarté du graphique pour mars) représente la tendance globale. Les lignes bleues tiretées représentent les tendances au cours des sous-intervalles de 17 ans qui se chevauchent. Les cercles dans les panneaux supérieurs montrent l'ampleur des tendances sur 17 ans, avec des barres d'erreur couvrant les limites de confiance à 95 % (source des données : NSIDC). B) Série chronologique de l'épaisseur de la glace de mer sortant du détroit de Fram (source : Sumatra *et al.* 2023).

Selon les données sur la glace de mer obtenues par satellite pour l'ensemble de l'Arctique (1979 à 2023), tous les mois ont affiché une tendance à la baisse de l'étendue de la glace. Les taux de diminution varient d'un mois à l'autre, celui de mars (mois de la couverture maximale annuelle) étant de 2,5 % par décennie et celui de septembre (mois de la couverture minimale annuelle) de 12,2 % par décennie (figure 3a). Les taux de diminution ont varié dans diverses sous-régions de l'Arctique. La tendance négative statistiquement significative de l'étendue de la glace de mer en septembre et en mars (figure 3a) est également marquée par une forte variabilité interannuelle et décennale, la variabilité à l'échelle décennale étant la plus notable dans la tendance de septembre (Meier et Stroeve 2002). Une transition importante de la couverture, de l'épaisseur et de l'âge de la glace de mer a eu lieu vers l'année 2007. Cette transition a été particulièrement prononcée dans la mer de Beaufort, où le régime de glace de mer, dominé par la glace de mer de plusieurs années dans les années 1980, est passé à un nouveau régime associé à de grandes étendues

d'eaux libres pendant l'été (Moore *et al.* 2022). Après 2007, la glace de mer quittant l'Arctique par le détroit de Fram a également révélé un changement de régime pour la glace de mer de l'Arctique. On a vu une réduction abrupte de l'épaisseur de la glace sortant du détroit de Fram (figure 3b), ce qui prouve que le régime de glace de mer de l'Arctique est passé d'une couverture de glace plus épaisse et déformée à une couverture de glace plus mince et plus uniforme (figure 3b; Sumatra *et al.* 2023). Bien que la tendance de l'étendue de la glace de mer en été soit relativement stable depuis 2007, 15 des plus faibles étendues de glace enregistrées en septembre depuis 1979 se sont produites depuis 2007, notamment en 2012 et en 2020 (Meier et Stroeve 2022; figure 3a).

Grâce à l'assimilation de données satellitaires en une simulation numérique de la dérive de la glace de mer au fil du temps, il semble que la glace de mer de l'Arctique soit devenue en moyenne plus jeune et plus mince (figure 4). Les panneaux supérieurs de cette figure révèlent une perte spectaculaire de glace de plus de trois ans depuis 1985 et l'expansion compensatoire de la couverture de glace saisonnière en hiver. Ces changements ont contribué à une couverture de glace plus faible et plus mobile en hiver dans le centre de l'Arctique. Le panneau inférieur indique que l'étendue fractionnelle de la glace de plus de trois ans semble avoir diminué, passant de plus de 40 % à la fin des années 1980 à moins de 10 % dans les années 2020. L'Extrême-Arctique canadien abrite maintenant une fraction importante de la vieille glace restante, dont une grande partie se trouve dans la ZPM de Tuvaijuittuq (figure 1).

Le panneau inférieur de la figure 4 semble indiquer que la couverture fractionnelle de glace selon l'âge a changé en deux étapes, l'une vers 1990 et l'autre vers 2007. Ces étapes coïncident avec les changements du taux de perte de l'étendue de la glace de septembre notés à la Figure 3a. Le processus graduel de perte de glace de mer de plusieurs années s'est produit par différents mécanismes. La première étape (1989 et 1990) a été le résultat d'une forte exportation de glace de plusieurs années, tandis que la deuxième étape (2006 à 2008) a été le résultat d'une forte exportation de glace de plusieurs années et de sa fonte, associées à un réapprovisionnement limité de vieille glace (Babb *et al.* 2023). Bien que la couverture de glace fractionnelle selon l'âge (figure 4, panneau inférieur) varie d'une année à l'autre et semble avoir peu changé en moyenne depuis 2007, la rétention réduite de la vieille glace de mer de plusieurs années a créé une banquise de plusieurs années plus jeune et plus mince qui pourrait être conditionnée pour une autre réduction (Babb *et al.* 2023).

Les Figure 3 et Figure 4 présentent deux signaux forts coexistants de changement dans l'Arctique marin, à savoir la perte d'origine anthropique de glace de mer (**agent stressant**) et la variabilité naturelle intrinsèque de l'atmosphère, de l'océan et de la glace (**élément moteur**). Ensemble, ces signaux déterminent les conditions environnementales océaniques qui prévalent au cours de mois, de saisons et d'années particuliers dans l'Arctique. Les tendances à long terme de la glace de mer montrent également que les manifestations des changements climatiques ne sont pas nécessairement progressives, mais qu'elles peuvent plutôt comprendre des changements graduels d'un régime à l'autre (c.-à-d. des réponses non linéaires à une force changeante; Babb *et al.* 2023; Sumatra *et al.* 2023). Les changements qui touchent la glace de mer ont une forte influence sur les changements de l'écosystème dans l'Arctique canadien (voir notre rapport précédent, Niemi *et al.* 2019); dans le présent rapport, la compréhension de la réponse des composantes de l'écosystème aux changements de la glace de mer continue d'être un thème

important. De plus, le changement de la glace de mer est intrinsèquement lié à d'autres agents stressants dans l'Arctique canadien.

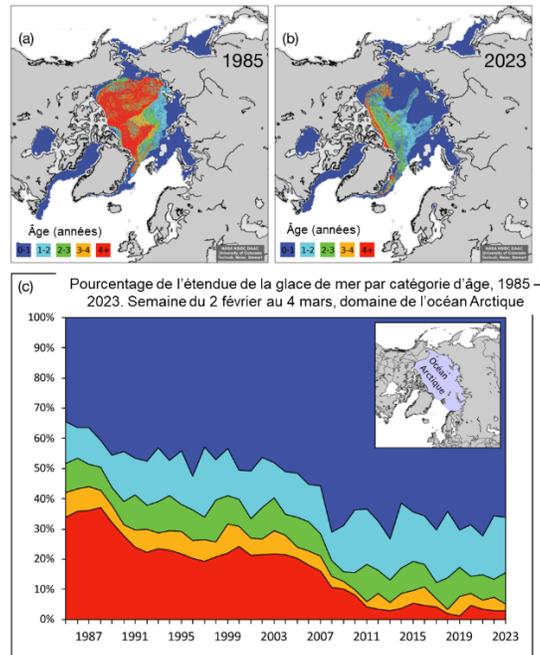


Figure 4. Couverture de la glace de mer selon l'âge en 1985 (a) et 2023 (b), et série chronologique de l'âge de la glace de mer de 1985 à 2023 (c) au centre de l'océan Arctique, indiqué sur la carte en médaillon. L'échelle de couleurs dans le panneau c) est la même que dans les panneaux a) et b) (source : NSIDC, 5 avril 2023. EASE : Equal-Area Scalable Earth [grille terrestre évolutive à aire égale]).

Le trafic maritime a déjà augmenté dans l'Arctique canadien (p. ex. Dawson *et al.* 2018), et la navigation future par des routes de navigation efficaces comme le passage du Nord-Ouest pourrait devenir plus pratique avec la perte continue de la glace de mer en été. Toutefois, la présence et la persistance de glace épaisse de plusieurs années constituent un danger pour le transport maritime (p. ex. Barber *et al.* 2018). Une évaluation antérieure de la glace de plusieurs années dans le passage du Nord-Ouest pour la période de 1968 à 2006 a révélé que les changements de la glace de mer causés par le climat n'avaient pas encore donné lieu à des conditions de glace de plusieurs années non menaçantes avantageuses pour la navigation (Howell *et al.* 2008). Une évaluation révisée pour la période de 2007 à 2020 indique que les années où il y a peu de glace de plusieurs années dans le passage du Nord-Ouest sont maintenant plus fréquentes (Figure 5; Howell *et al.* 2022). Entre 2007 et 2020, la formation locale de glace de plusieurs années à partir de glace de première année et l'importation de glace de plusieurs années à partir de l'Extrême-Arctique dans l'Arctique canadien ont diminué de 47 % et de 22 %, respectivement, par rapport à la période de 1968 à 2006. Cependant, malgré la diminution de la présence et de la croissance/importation de glace de plusieurs années dans le passage du Nord-Ouest, cette dernière continuera d'être un danger pour le transport maritime dans un avenir prévisible.

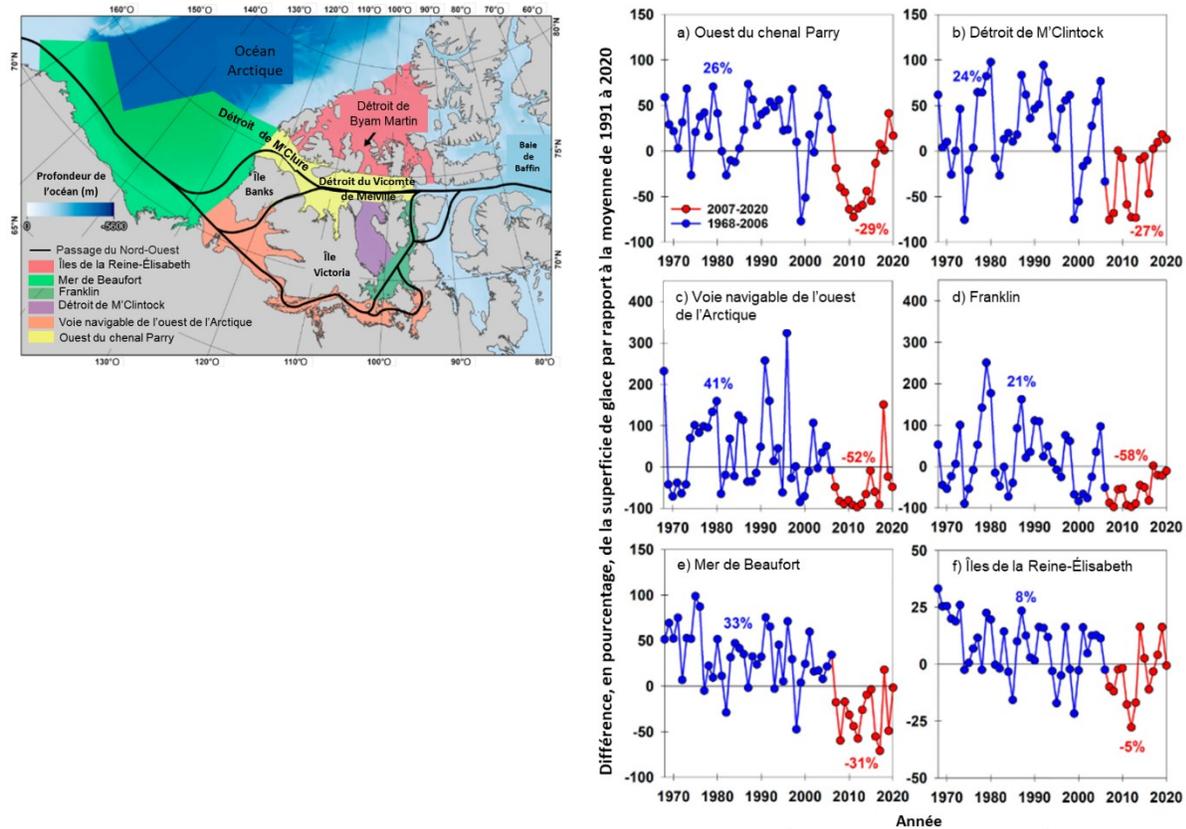


Figure 5. Différence de la superficie de la glace de plusieurs années par rapport à la moyenne de 1991 à 2020 pour six régions du passage du Nord-Ouest, selon le code de couleur sur la carte. Les différences moyennes de la superficie de la glace de plusieurs années sont présentées en bleu pour 1969 à 2006 et en rouge pour 2007 à 2020. Les valeurs inférieures à zéro indiquent les années où il y avait des conditions de mince glace de plusieurs années dans le passage du Nord-Ouest (source : Howell *et al.* 2022).

Les éléments moteurs et les agents stressants à grande échelle du système arctique interagissent avec d'autres agents stressants dans l'Arctique canadien. Les nouveaux renseignements sur les principaux agents stressants dans l'Arctique canadien sont résumés au tableau 2. Ces agents stressants varient d'une région à l'autre et diffèrent dans leur facilité de gestion. Il est possible d'en atténuer raisonnablement certains grâce à une gestion ou intendance appropriée (p. ex. pêches durables, espèces envahissantes; étude de cas 9), tandis que d'autres (p. ex. microplastiques) sont envahissants et possiblement néfastes. On a récemment accordé beaucoup d'attention à la question du bruit comme agent stressant dans les écosystèmes marins (tableau 2) en raison des tendances à la hausse du trafic maritime. L'étude de cas 2 donne un aperçu des nouveaux renseignements décrivant l'exposition au bruit des navires et ses répercussions dans l'Arctique canadien.

Tableau 2. L'état de certains agents stressants d'origine anthropique directs qui sont pertinents pour les écosystèmes marins dans l'Arctique canadien.

Agent stressant	État actuel	Références récentes
Transport maritime et bruit sous-marin d'origine anthropique	<ul style="list-style-type: none"> – Au cours de la dernière décennie, la réduction de l'âge et de l'étendue de la glace de mer a permis aux navires de naviguer plus facilement dans le passage du Nord-Ouest, y compris les navires peu renforcés contre la glace. – Entre 2009 et 2019, la distance parcourue par les navires dans le passage du Nord-Ouest a doublé. – L'augmentation du trafic maritime comporte un risque d'introduction d'espèces aquatiques envahissantes nuisibles, qui ont été recensées dans les eaux de ballast des navires qui utilisent les ports dans l'Arctique canadien. – Environ 45 % de la distance parcourue par les navires dans l'Arctique canadien est alimentée par du mazout lourd, qui présente un risque environnemental plus élevé que d'autres carburants en cas de déversement. En 2019, Transports Canada a publié un rapport évaluant les avantages et les risques liés à l'utilisation de mazout lourd dans les eaux arctiques. Le rapport conclut que l'interdiction du mazout lourd aurait des avantages environnementaux, mais des coûts socioéconomiques pour les collectivités du Nord. – Le bruit sous-marin d'origine anthropique causé par le trafic maritime, le déglçage et l'exploration sismique perturbe les phoques, les cétacés, les oiseaux de mer et certaines espèces de poissons de l'Arctique en masquant les communications, en interrompant la recherche de nourriture, en incitant à un évitement prolongé et en augmentant potentiellement les niveaux d'hormones de stress. – Les collectivités inuites et les modèles de répartition des espèces continuent de cibler les zones à risque élevé de bruit sous-marin et de collisions avec des navires afin d'éclairer l'emplacement et la gouvernance de corridors de navigation à faible incidence. 	Transport Canada 2019; Dawson <i>et al.</i> 2020; van Luijk <i>et al.</i> 2020; Gallagher <i>et al.</i> 2021a; Goldsmit <i>et al.</i> 2021a; Halliday <i>et al.</i> 2020a, 2021, 2022a, b; Copland <i>et al.</i> 2021; Kochanowicz <i>et al.</i> 2021; Watt <i>et al.</i> 2021a; PAME 2021; Dhifallah <i>et al.</i> 2022; Lasserre 2022
Microplastiques	<ul style="list-style-type: none"> – Les particules de microplastiques sont concentrées dans la glace de mer, la neige et les sédiments marins de l'Arctique. – L'accumulation et l'ingestion de particules de plastique sont omniprésentes à tous les niveaux du réseau trophique. – Il n'existe pas de données de référence sur les niveaux de plastique pour de nombreux biotes de l'Arctique canadien. 	Provencher <i>et al.</i> 2018; Athey <i>et al.</i> 2020; Baak <i>et al.</i> 2020; Huntington <i>et al.</i> 2020; Moore <i>et al.</i> 2020; Collard et

Agent stressant	État actuel	Références récentes
	<ul style="list-style-type: none"> – Il existe d’importantes lacunes dans les connaissances sur la bioamplification et le transfert des microplastiques dans le réseau trophique des écosystèmes de l’Arctique. – Bien qu’il existe des preuves substantielles des effets écotoxicologiques des microplastiques chez les espèces des zones tempérées, peu d’études s’intéressent aux espèces arctiques. – De nombreux programmes de recherche sont actuellement axés sur la présence de microplastiques dans l’Arctique et ses effets sur le réseau trophique. 	Ask 2021; Bergmann <i>et al.</i> 2022
Effluent d’eaux usées	<ul style="list-style-type: none"> – Les effluents d’eaux usées peuvent être une source de faibles concentrations de produits pharmaceutiques, de substances perfluoroalkyliques et polyfluoroalkyliques (SPFA) et de métaux lourds dans les eaux réceptrices marines. – Une concentration élevée d’azote provenant des effluents d’eaux usées peut accroître la production primaire côtière locale. – Les effets des effluents d’eaux usées sur les communautés biologiques marines sont sous-étudiés dans l’Arctique canadien; les quelques études existantes indiquent que les effets varient et, dans certains cas, sont négligeables ou demeurent incertains. 	Stroski <i>et al.</i> 2020; Back <i>et al.</i> 2021; Schaefer <i>et al.</i> 2021
Contaminants	<ul style="list-style-type: none"> – Les changements climatiques influent sur les concentrations de contaminants chez les espèces de niveau trophique supérieur, en ayant une incidence sur leur évolution dans l’environnement et les voies de transport (p. ex. courants océaniques) ainsi que sur les réseaux trophiques (p. ex. longueur du réseau trophique, guildes, répartitions des espèces), ce qui affecte les processus de bioaccumulation et de bioamplification de contaminants comme le mercure et les polluants organiques persistants. Les résultats varient entre les régions, entre les espèces et au sein d’une même espèce. – On retrouve de nouveaux produits chimiques préoccupants dans les eaux, les sédiments marins et le biote de l’Arctique, dont plusieurs ne sont encadrés par aucun système de réglementation et nécessitent un suivi continu. – Les concentrations atmosphériques de mercure ont diminué au cours des deux dernières décennies, mais les tendances temporelles dans le biote sont variables. 	Braune <i>et al.</i> 2019; Lu <i>et al.</i> 2019; Muir <i>et al.</i> 2019; Houde <i>et al.</i> 2020; AMAP 2021a, 2021b; Corminboeuf <i>et al.</i> 2021; Facciola <i>et al.</i> 2021, 2022; Morris <i>et al.</i> 2022; Provencher <i>et al.</i> 2022a, 2022b

Agent stressant	État actuel	Références récentes
	<ul style="list-style-type: none"> – Les registres à long terme des concentrations de contaminants (mercure, polluants organiques persistants et produits chimiques nouvellement préoccupants) mesurées dans les sédiments, l’air, la glace et le biote de l’Arctique indiquent que le moment historique des pics de concentrations varie selon les polluants, les espèces et les régions géographiques. Les séries chronologiques ne présentent pas toutes d’augmentations ou de diminutions constantes au fil du temps, et les concentrations de fond peuvent provenir de sources naturelles. – Des analyses de séries chronologiques de grande qualité ont souligné l’importance d’un suivi annuel. 	
<p>Mise en valeur des hydrocarbures et exploitation minière</p>	<ul style="list-style-type: none"> – En 2016, une déclaration commune du Canada et des États-Unis a interdit l’obtention de nouveaux permis d’exploitation pétrolière et gazière dans l’Arctique, lesquels seront mis à l’essai tous les cinq ans au moyen d’un examen scientifique. Les droits existants n’étaient pas concernés par cette interdiction. – Il existe des permis d’exploration pour environ 18 687 km² dans la mer de Beaufort canadienne, tous dans la région désignée des Inuvialuit. Tous les permis d’exploration sont visés par l’ordonnance d’interdiction de travaux. – Les activités minières terrestres dans l’Extrême-Arctique présentent un risque pour les milieux marins en raison de l’augmentation de la circulation de navires de gros tonnage (possibilité de collisions avec des mammifères marins, bruit sous-marin, introduction d’espèces aquatiques envahissantes et contamination environnementale en cas d’échouement). 	<p>CIRNAC 2022</p>
<p>Pêche</p>	<ul style="list-style-type: none"> – La plus importante pêche au poisson de fond (flétan du Groenland) du Canada est pratiquée dans l’Arctique (détroit de Davis et baie de Baffin). – Des plans de gestion intégrée des pêches (PGIP) applicables à l’Arctique sont en place pour le morse de l’Atlantique, l’omble chevalier de la baie Cambridge, le Dolly Varden, le flétan du Groenland, le narval, la crevette nordique et la crevette d’Ésope. Ces plans orientent la conservation et soutiennent la pêche et la chasse durables. – En 2023, le MPO a réduit le total autorisé des captures de flétan du Groenland de 9,25 %. 	<p>PGIP, données inédites; NAFO 2022</p>

Agent stressant	État actuel	Références récentes
	<ul style="list-style-type: none"> – Des améliorations de la gestion des prises accessoires sont nécessaires, notamment pour les sébastes (étude de cas 9). – La détermination des habitats benthiques sensibles est en cours. Les zones où des communautés benthiques sensibles sont connues ou soupçonnées sont fermées aux engins de pêche entrant en contact avec le fond. 	
Récolte de subsistance	La récolte de subsistance est pratiquée dans les écosystèmes marins de l'Arctique depuis des millénaires et n'est pas perçue comme exerçant un plus grand stress aujourd'hui qu'à l'époque.	

ÉTUDE DE CAS 1 : Budgétisation du puits de carbone marin dans les eaux de l'Arctique canadien – lacunes statistiques et changements saisonniers

Les océans ont absorbé un quart du CO₂ émis dans l'atmosphère par les humains depuis la révolution industrielle (Friedlingstein *et al.* 2020). En 2021, le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 40 à 50 % sous les niveaux de 2005 d'ici 2030 (Environnement et Changement climatique Canada 2023). Bien qu'il soit impératif de réduire considérablement les émissions de combustibles fossiles, le renforcement des puits naturels de CO₂ par des solutions basées sur la nature pourrait être essentiel si les réductions d'émissions restent insuffisantes pour atteindre l'objectif mondial de limiter le réchauffement à 2 °C et de stabiliser notre climat d'ici la fin de ce siècle.

On pense que l'océan Arctique agit comme puits de CO₂ atmosphérique net en raison de la haute solubilité du CO₂ dans ses eaux à basse température et de la forte production primaire observée le long de ses plateaux continentaux pendant l'été (figure 6). Le puits de CO₂ estimé dans l'Arctique varie de 70 à 180 TgC an⁻¹ (TgC = 10¹² gC), contribuant à environ 5 à 15 % du bilan océanique mondial des puits et des sources de CO₂ (p. ex. Yasunaka *et al.* 2016; Manizza *et al.* 2019). Le Canada possède le plus long littoral au monde, couvrant les bassins océaniques du Pacifique, de l'Arctique et de l'Atlantique, mais le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques (Canada 2016; Dion *et al.* 2021) ne tient pas compte du puits de carbone marin. Malgré la reconnaissance collective des océans du Canada comme puits naturels de CO₂, la nature complexe et hétérogène des puits de carbone marins (Laruelle *et al.* 2018; Fennel *et al.* 2019) pose des défis pour les intégrer aux plans d'atténuation des changements climatiques du Canada et au système de comptabilisation des émissions de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (Dion *et al.* 2021).

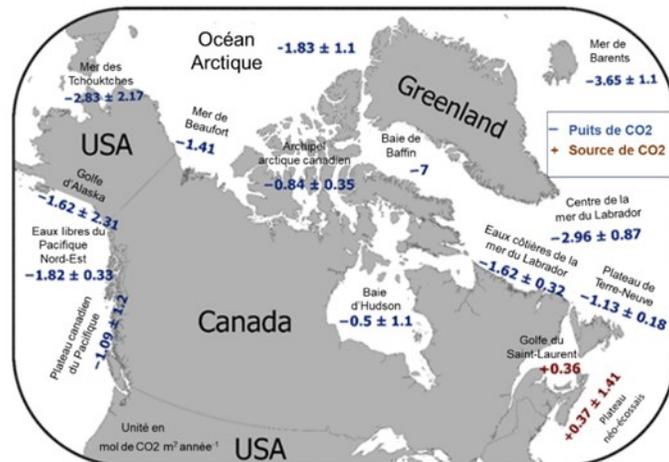


Figure 6. Flux air-mer de CO₂ dans les eaux de l'Arctique canadien et les mers adjacentes en mol de C m⁻² an⁻¹ fondé sur des observations directes, des produits d'interpolation fondés sur l'observation comme le réseau neuronal et la régression linéaire multiple, et des modèles biogéochimiques océaniques régionaux mentionnés dans Fennel *et al.* (2019) et Duke *et al.* (2023). Un flux négatif (bleu) indique un puits océanique et un flux positif (rouge) indique un dégazage océanique. La moyenne et l'écart-type sont fournis lorsque plusieurs valeurs de flux sont accessibles pour l'emplacement en question. La carte a été créée à l'aide d'ArcGIS Pro 3.1.1 d'Esri.

Pour que les océans du Canada soient bien pris en compte dans les réductions et la croissance propre, il faut mieux comprendre le rôle de l'océan Arctique canadien dans le flux de CO₂. L'ampleur et le rythme des flux air-mer de CO₂ dans l'océan Arctique est un processus complexe qui n'est pas seulement influencé par la température de l'océan et la production biologique, mais aussi par la formation et la fonte de la glace de mer, le débit fluvial, le brassage des eaux, la vitesse du vent et les interactions entre les plateaux et les bassins (Bates et Mathis, 2009; Ahmed *et al.* 2020). Toutefois, les mesures de CO₂ sont peu nombreuses et sont principalement recueillies pendant l'été (Figure 7), ce qui explique que les flux air-mer de CO₂ existants dans les régions arctiques sont mal définis (p. ex. Bates et Mathis, 2009; Yasunaka *et al.* 2018).

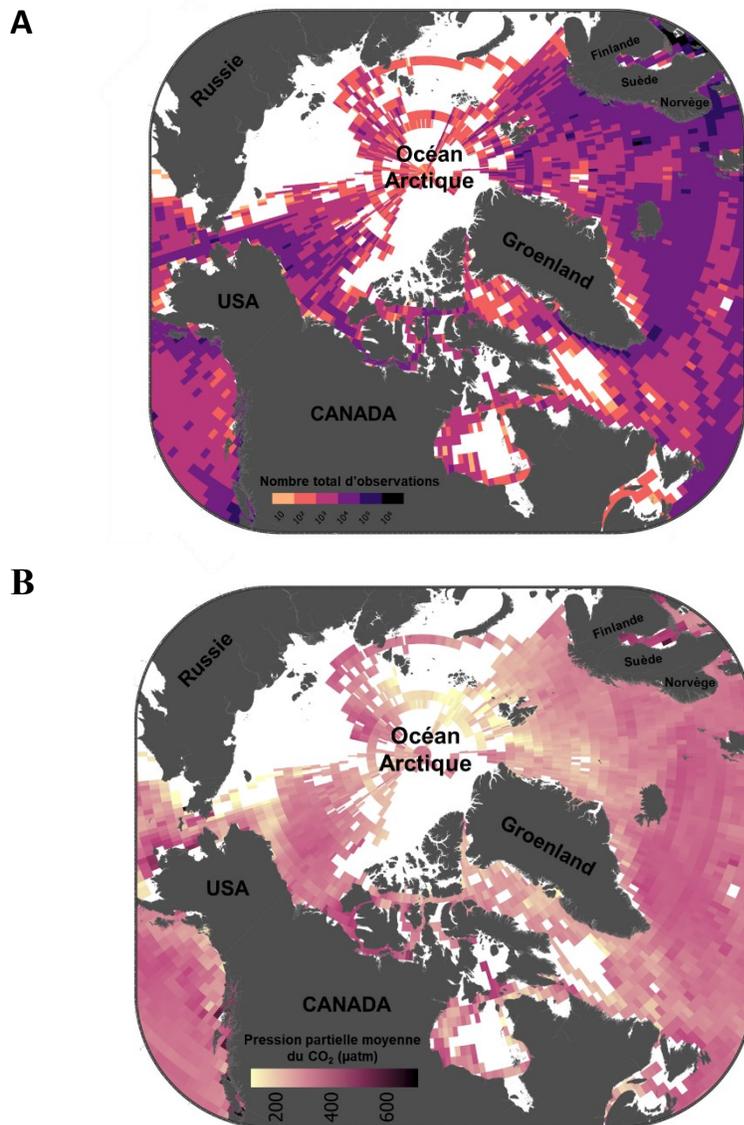


Figure 7. Nombre total d'observations de CO₂ dissous (A) et de pCO₂ moyen (B) accessibles de 1970 à 2021 pour chaque pixel de 1° × 1° dans l'ensemble de données de *Surface Ocean CO₂ Atlas* version 2022 (SOCATv2022) dans l'océan Arctique et ses mers adjacentes. La carte a été créée à l'aide d'ArcGIS Pro 3.1.1 d'Esri.

On croit que les eaux de l'Arctique canadien fonctionnent comme un puits de CO₂ atmosphérique net basé sur les valeurs moyennes de CO₂ dissous qui ont été extraites des observations des eaux de surface accessibles au public archivées dans l'atlas sur le CO₂ de la surface des océans (SOCAT, <https://socat.info/>; Figure 7). Cependant, la force du puits varie dans l'ensemble de l'Arctique canadien et, à mesure que le réchauffement de la planète progresse, la capacité des régions d'agir comme puits ou source de carbone à l'avenir pourrait également changer. Par exemple, en raison de l'augmentation du réchauffement et de la perte de glace de mer, les zones d'eaux libres et les taux de croissance du phytoplancton dans l'Arctique devraient augmenter (Arrigo et van Dijken 2015), ce qui améliorera l'absorption océanique du CO₂ de l'atmosphère. En revanche, une diminution de la capacité d'absorption de CO₂ associée à la perte de glace de mer a été observée à la suite du réchauffement et de la stratification des eaux de surface (Cai *et al.* 2010; Else *et al.* 2013).

La présence et le brassage des couches océaniques affectent également la fonction de l'océan en tant que source ou puits. Dans la baie de Baffin, le brassage des eaux du Pacifique, de l'Atlantique et même de la Sibérie a une incidence sur l'absorption du carbone atmosphérique. Cela peut se produire directement en transportant des eaux dont le CO₂ et le pH sont relativement élevés dans une zone plus profonde de la colonne d'eau, ou indirectement en influençant la productivité biologique dans les eaux de surface, ce qui réduit les concentrations de CO₂ à la surface de l'océan (Burgers *et al.* 2023). Cependant, l'effet global de tous les processus biogéochimiques et physiques sur l'absorption de CO₂ dans l'Arctique n'a pas été correctement déterminé.

Les changements saisonniers sont un facteur essentiel à prendre en compte lors de l'étude des flux air-mer de CO₂ dans les mers adjacentes. Les différences saisonnières du flux de CO₂ ont maintenant été documentées dans la baie d'Hudson, certaines régions passant de puits au printemps et au début de l'été à des sources de CO₂ à la fin de l'été, puis à des puits de CO₂ à l'automne (Ahmed *et al.* 2021; Else *et al.* 2008). Pendant la saison hivernale, la plupart des plateaux de l'Arctique sont recouverts d'une couche de glace de mer, ce qui limite l'échange de CO₂ entre l'océan et l'atmosphère. Cela mène généralement à une accumulation nette de CO₂ sous la glace due à la respiration biologique (Semiletov *et al.* 2004). Cependant, lorsque la glace de mer commence à fondre au printemps et en été, une sursaturation et une sous-saturation peuvent toutes deux se produire, ce qui laisse entendre une très grande variabilité spatiale des flux de CO₂ au moment de la fonte des glaces.

Le ruissellement fluvial joue un rôle crucial dans la détermination des flux de CO₂ dans l'océan Arctique, principalement en raison de l'excès de CO₂ généré par la décomposition de la matière organique terrestre dans les cours d'eau (Polimene *et al.* 2022; Capelle *et al.* 2020). Par exemple, les zones influencées par les cours d'eau et le ruissellement, comme le plateau du fleuve Mackenzie (Bertin *et al.* 2023) et l'estuaire du fleuve Nelson (Else *et al.* 2008; Ahmed *et al.* 2021) émettent souvent plus de CO₂ dans l'atmosphère qu'ils n'en absorbent. Selon des études de modélisation (Terhaar *et al.* 2019; Woosley et Millero 2020), l'augmentation du ruissellement fluvial dans l'Arctique a le potentiel de réduire l'absorption nette de CO₂ de l'océan Arctique. Cela peut faire en sorte que certaines régions des plateaux côtiers deviennent des sources de CO₂ dans l'atmosphère et intensifient le dégazage de CO₂ près des cours d'eau et dans les estuaires. Dans les eaux très stratifiées, comme celles qui se trouvent à proximité des embouchures de

cours d'eau ou qui sont issues de la fonte de la glace de mer, les concentrations de CO₂ à la surface peuvent être très différentes de celles des eaux de quelques mètres de profondeur. Si ces différences verticales de concentrations de CO₂ ne sont pas prises en compte, la force de l'océan en tant que puits de CO₂ pourrait être sous-estimée d'environ 50 % (Ahmed *et al.* 2020).

Contrairement aux panaches fluviaux, les polynies – régions d'eaux libres entourées de glace de mer qui se forment en raison de vents persistants ou de remontées d'eau – semblent être des puits de CO₂. Ces zones exemptes de glace servent de points névralgiques pour la productivité biologique et permettent un échange accru de gaz, ce qui entraîne une fixation du carbone et une augmentation subséquente de l'absorption de CO₂ atmosphérique. Par exemple, l'absorption de CO₂ observée dans la polynie du nord-ouest de la baie d'Hudson au printemps 2018 était associée à une production primaire élevée et à des vitesses de vent élevées (Ahmed *et al.* 2021). De plus, l'absorption de CO₂ observée dans la polynie du cap Bathurst s'est produite en raison d'une combinaison de températures froides de l'eau, d'une forte production primaire et de vitesses de vent élevées (Else *et al.* 2011).

Afin d'améliorer notre compréhension du puits de carbone marin dans l'Arctique canadien et de réduire l'étendue de l'incertitude dans les estimations actuelles des flux de CO₂, il faudrait accroître la couverture et la fréquence des mesures d'observation et de calcul (p. ex. modélisation validée), y compris les variables biogéochimiques comme la salinité, la température, le pH et la production primaire. Une telle amélioration de la couverture observationnelle pourrait être obtenue grâce à l'utilisation de flotteurs Argo autonomes accompagnés d'autres réseaux d'observation in situ, y compris l'hydrographie répétée à bord de navires, les bouées amarrées, les dériveurs de surface et les transects effectués par planeur.

En adoptant une approche globale qui intègre diverses méthodes, comme la science communautaire, la télédétection, la modélisation et les techniques d'apprentissage machine, les futures activités de recherche peuvent améliorer considérablement notre compréhension des puits de CO₂ marins actuels et futurs dans l'Arctique canadien. Le recours à des initiatives de science citoyenne peut faire participer le public à la collecte de données, élargir la portée et générer un ensemble de données plus complet. Les techniques de télédétection peuvent fournir des renseignements précieux sur la répartition spatiale et la dynamique des principales variables de la surface des océans dans les régions éloignées de l'Arctique. De plus, des techniques de modélisation et d'apprentissage automatique validées peuvent aider à interpoler des données éparées et à analyser des interactions complexes au sein des écosystèmes marins. Cette approche multidisciplinaire et intégrée permettra de mieux comprendre le rôle des eaux canadiennes dans le cycle mondial du carbone et d'éclairer des stratégies efficaces d'atténuation des changements climatiques.

ÉTUDE DE CAS 2 : Bruit sous-marin – chevauchements et répercussions

Le bruit sous-marin causé par le trafic maritime et d'autres activités humaines peut être omniprésent dans le milieu marin, particulièrement près des voies de navigation, des sites industriels et des zones aménagées. L'exposition des mammifères marins de l'Arctique au bruit sous-marin a été relativement sous-étudiée, mais quelques études récentes l'ont examinée. Celles-ci suivent généralement deux méthodes, à savoir les études de télémétrie satellitaire qui examinent les déplacements de chaque animal marqué par rapport à des sources de bruit humain concurrentes, et les études de modélisation.

Les déplacements de baleines boréales (Martin *et al.* 2023) et de bélugas (Martin *et al.* 2022) munis d'étiquettes satellites par rapport au trafic maritime ont été évalués à partir d'études de télémétrie avec les baleines se déplaçant entre le nord de la mer de Béring et le golfe Amundsen dans l'ouest de l'Arctique canadien. Les deux espèces étaient plus exposées au bruit près de la côte, et l'exposition changeait d'un mois à l'autre selon le lieu de migration et les événements de navigation (p. ex. réapprovisionnement des collectivités). Le trafic maritime et le bruit sous-marin modélisé des navires les plus importants se sont produits dans le sud de la mer des Tchoukches, près du détroit de Béring (Halliday *et al.* 2021; Figure 8).

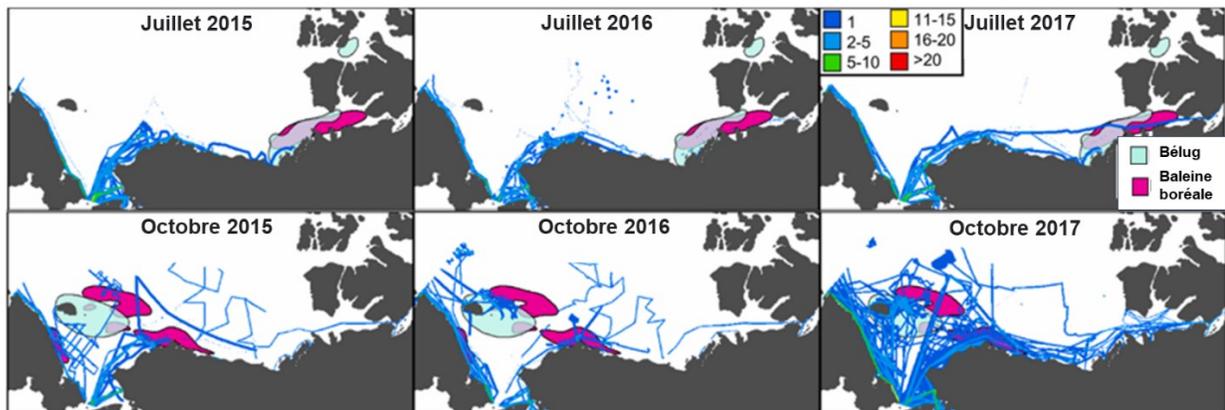


Figure 8. Nombre potentiel de fois où le seuil de bruit de 120 dB perturbant le comportement a été dépassé en juillet et en octobre 2015 à 2017. Les répartitions mensuelles de l'utilisation de l'habitat par le béluga (*Delphinapterus leucas*) et la baleine boréale (*Balaena mysticetus*) sont superposées (source : adaptée de Halliday *et al.* 2021).

On a évalué le niveau de risque d'exposition à un bruit élevé (120 dB et plus) dans l'aire marine nationale de conservation Tallurutiup Imanga pour plusieurs espèces (Figure 9). Le narval (*Monodon monoceros*) présentait un chevauchement élevé avec le bruit de navires dans toute la zone du sud du détroit d'Éclipse, tandis que le béluga (*Delphinapterus leucas*) le long du sud-est de l'île Devon ne présentait qu'une petite zone ayant une exposition accrue au bruit des navires (Kochanowicz *et al.* 2021; Halliday *et al.* 2022b). Les oiseaux de mer évalués étaient exposés à un risque élevé de bruit sous-marin à l'entrée est du détroit d'Éclipse, et des zones supplémentaires montrant un risque de bruit sous-marin pour le fulmar boréal étaient présentes au sud de l'île Devon, ainsi qu'à l'île Prince Leopold pour la mouette tridactyle. Une telle cartographie du risque causé par le bruit des navires pour différentes espèces fournit des

renseignements essentiels pour les initiatives de gestion dans l'aire marine nationale de conservation Tallurutiup Imanga et favorise la compréhension des répercussions des navires sur la faune marine qui touchent les espèces et les activités valorisées sur le plan culturel.

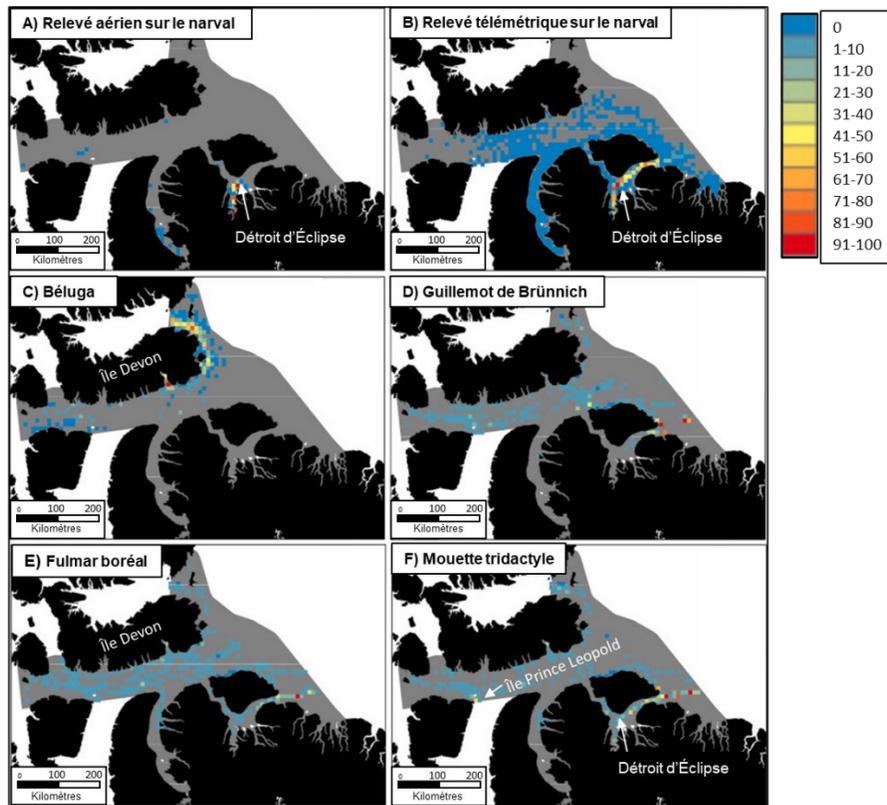


Figure 9. Niveau de risque (échelle relative entre la présence des espèces et l'exposition au bruit sous-marin, voir Halliday *et al.* 2022a pour plus de détails) d'exposition à un bruit élevé (120 dB et plus) pour le narval (A et B), le béluga (C), le guillemot de Brünnich (D), le fulmar boréal (E) et la mouette tridactyle (F) dans l'aire marine nationale de conservation Tallurutiup Imanga. Les cellules qui n'ont pas fait l'objet d'un relevé ou pour lesquelles la faune marine était absente dans la zone d'étude pendant les relevés sont en gris (source : Halliday *et al.* 2022a).

Le bruit sous-marin peut affecter les animaux marins en nuisant à leur capacité d'entendre des sons importants (masquage acoustique), en les amenant à modifier leur comportement, en perturbant leur physiologie, en endommageant leur ouïe (changements de seuil temporaires et permanents) ou en causant la mort. Dans l'Arctique, les études sur les effets du bruit sous-marin se sont concentrées sur la modélisation du masquage acoustique et des changements du comportement et de la physiologie. Aucune étude dans l'Arctique n'a démontré que le bruit causait des dommages auditifs permanents ou la mort. Les réactions comportementales typiques au bruit sous-marin comprennent la fuite, l'immobilité (comportement anti-prédation), des modifications des cycles de respiration et de plongée, et possiblement l'arrêt de la recherche de nourriture (Halliday *et al.* 2020b).

Une étude récente sur la population de baleine boréale (*Balaena mysticetus*) des mers de Béring, des Tchouktches et de Beaufort (Martin *et al.* 2023) n'a trouvé aucune preuve de réactions

comportementales aux navires, mais cette constatation était fondée sur des distances relativement grandes (plus de 20 km) et des données de position peu précises pour les baleines boréales. Cependant, une étude sur des bélugas munis d'étiquettes à plus haute résolution a permis de démontrer qu'ils augmentaient leur vitesse de nage en réaction à des navires à des distances supérieures à 50 km, avec une réaction plus importante lorsque les navires se rapprochaient (Martin *et al.* 2022). Ces résultats laissent croire que les bélugas sont peut-être plus sensibles au bruit des navires que les baleines boréales sur ces grandes distances, mais ils soulignent également la nécessité d'utiliser des étiquettes à haute résolution. Une autre étude récente sur le béluga a révélé une réduction des vocalisations détectées par les enregistreurs acoustiques lorsque des navires se déplacent dans un rayon de cinq kilomètres de ceux-ci; les connaissances traditionnelles des Inuvialuits laissent entendre que ce comportement est lié à une réaction d'évitement de la part de l'espèce (Halliday *et al.* 2019). Ces deux études sur le béluga indiquent une sensibilité au bruit des navires, réagissant à des distances bien au-delà de la portée visuelle, et à un bruit de faible amplitude près des niveaux ambiants.

Une étude récente a porté sur le niveau de stress du narval pendant des périodes où le trafic maritime varie (Watt *et al.* 2021a). On a constaté que les narvals présentaient un niveau de stress plus élevé (présence de cortisol [hormone de stress] dans la graisse) au cours des dernières années comparativement aux années où le bruit du trafic maritime était plus faible. L'étude conclut également que l'espèce a été exposée à de multiples agents stressants, comme la prédation par l'épaulard et les changements environnementaux, en plus de l'augmentation du bruit, ce qui souligne l'importance d'élaborer un outil pour mesurer et évaluer les effets cumulatifs.

Le trafic maritime et le tourisme ont augmenté dans l'estuaire de la rivière Churchill où se situent les aires d'estivage de la population de béluga de l'ouest de la baie d'Hudson. Les bélugas semblaient changer leur mode de regroupement en présence de navires. Les groupes étaient plus importants en présence de navires qu'en leur absence (Westdal *et al.* 2023). La répartition ne semblait pas être affectée par la présence de bateaux à moteur et de canots pneumatiques bruyants, mais les bélugas semblaient attirés par les kayaks et évitaient les planches à pagaie (Ausen *et al.* 2022). Dans l'ensemble, l'exposition de la population de béluga de l'ouest de la baie d'Hudson à des navires de gros tonnage était faible et concentrée autour du port de Churchill (Pirotta *et al.* 2018). L'incidence de l'interaction entre des bélugas et des navires à cet endroit n'est toujours pas bien comprise, mais semble être propre au contexte des interactions et à la composition des groupes.

Il faut poursuivre les études et l'échange de connaissances sur l'exposition au bruit des navires et les répercussions sur la faune marine. Plusieurs détenteurs de connaissances, comme les Inuits, expriment des préoccupations au sujet du bruit causé par les navires qui entraîne l'abandon de l'habitat, ce qui aurait de multiples répercussions sur la chasse de subsistance, les moyens de subsistance, la sécurité alimentaire et la santé (Kochanowicz *et al.* 2021). De plus, les Inuits de Pond Inlet ont remarqué un déplacement des narvals qui pourrait être associé à une augmentation du trafic maritime et au bruit connexe dans le détroit d'Éclipse.

4.0 Structure de l'écosystème de l'océan Arctique

Les sections qui suivent présentent le contexte écosystémique en vue de comprendre le fonctionnement de l'océan Arctique canadien. Un tel contexte est nécessaire pour détecter et expliquer les changements observés. Les composantes physiques (section 4.1) et chimiques (section 4.2) de l'écosystème marin créent des habitats dynamiques pour tout le biote. Ces composantes ascendantes ont également une incidence sur les réseaux trophiques (sections 4.2 et 4.3), les données probantes actuelles faisant état d'une modification des voies énergétiques et de la répartition des proies qui influencent les prédateurs (études de cas 3 et 4). La structure et la fonction des écosystèmes de l'océan Arctique canadien varient selon les échelles spatiales et nous décrivons ici les liens connus entre les types d'habitats et la vie marine (section 4.4 et études de cas 5 et 6). De plus, l'Arctique fonctionne différemment au fil du temps, à de multiples échelles temporelles (de jours à décennies). Ici, nous ne parlons que de l'échelle saisonnière (section 4.5) en démontrant qu'un cycle annuel de l'Arctique est mieux compris du point de vue des événements de l'écosystème plutôt que par des idées préconçues sur les saisons.

4.1 Où vit la vie : l'environnement océanique de l'Arctique

4.1.1 Limites océanographiques de l'Arctique

La lisière de la glace de mer à son étendue maximale à la fin de mars constitue la délimitation la plus simple du milieu marin de l'Arctique. Cette limite correspond également à l'étendue maximale des eaux de surface froides et à faible salinité de l'Arctique au printemps. Elle englobe les bassins centraux profonds de l'océan Arctique, les plateaux continentaux peu profonds qui l'entourent et les lobes qui s'étendent vers le sud dans les océans Pacifique et Atlantique. Le lobe dans le domaine canadien s'étend aussi loin au sud que Terre-Neuve.

4.1.2 Paysage sous-marin

Les eaux océaniques sont superposées en couches de telle sorte que leur structure verticale est généralement caractérisée par une présence d'eau de mer de plus faible densité à la surface et d'eau de mer de plus forte densité au fond de la mer. Comme il faut de l'énergie pour faire remonter l'eau dense vers la surface, les crêtes sur le fond marin ont tendance à bloquer l'écoulement de l'eau de mer et les vallées, à la canaliser. Le paysage sous-marin limite donc la façon dont l'eau de mer peut se déplacer, ce qui rend la connaissance de ce paysage essentielle à la compréhension de l'environnement océanique. De telles contraintes topographiques sur les courants océaniques influencent les propriétés de l'eau de mer et de la vie planctonique dans des régions particulières de l'Arctique. Les propriétés particulièrement pertinentes pour l'écologie de l'océan sont la température, la salinité, l'oxygène dissous, les nutriments dissous et l'acidité de l'eau de mer. Les associations particulières de ces attributs définissent les masses d'eau dans l'Arctique.

Les océanographes utilisent couramment des lignes de contour qui relient des points de profondeur constante pour cartographier le paysage du fond marin. Celles-ci se rassemblent là où le fond marin est fortement incliné, par exemple à la bordure du plateau continental; elles encerclent des zones isolées d'eau profonde appelées bassins et des zones isolées d'eau peu profonde appelées bancs; elles forment un motif distinctif aux seuils, l'équivalent marin des cols de montagne, qui séparent les zones peu profondes lorsqu'on les observe le long d'un cap et les zones plus profondes lorsqu'on les observe à angle droit. Il est plus facile pour les eaux océaniques profondes de traverser entre les bassins à partir des seuils.

La région de l'Arctique canadien comprend deux bassins profonds, le bassin Canada et la baie de Baffin, séparés par un vaste plateau continental peu profond, le plateau polaire canadien, qui sert de seuil entre le Pacifique et l'Arctique. Un seuil large et relativement profond dans le sud-est sépare la baie de Baffin d'un troisième bassin, le bassin du Labrador. La baie d'Hudson et la baie James occupent une fraction considérable du plateau polaire canadien.

L'histoire glaciaire du plateau polaire canadien l'a laissé jonché d'îles comprenant l'archipel Arctique canadien, et de bassins, de chenaux et de seuils. Les seuils les plus évidents se situent le long de la bordure nord-ouest du plateau polaire canadien et se regroupent près de son centre; les bassins intermédiaires sont aussi profonds que 800 mètres. Les seuils s'élèvent à moins de 300 à 400 mètres de la surface de la mer dans le nord-ouest et sont beaucoup plus hauts près du centre, à moins de 15 à 220 mètres de la surface. Même les relevés préliminaires des fonds marins sont absents dans de vastes régions de l'Arctique canadien, en particulier dans les régions nordiques glaciaires éloignées et dans les estuaires, les baies et les fjords près des côtes qui sont importants pour les gens dont les moyens de subsistance proviennent de la mer. L'absence de bonnes cartes des fonds marins limite la capacité des scientifiques de comprendre les écosystèmes marins de l'Arctique canadien et leur vulnérabilité.

4.1.3 Sources d'eau de mer

Il y a trois principaux contributeurs d'eau dans la région de l'Arctique canadien, le Pacifique Nord et l'Atlantique Nord qui apportent de l'eau de mer et l'atmosphère qui fournit de l'eau douce sous forme de chutes de neige, de pluie et d'afflux fluvial. Ces eaux se distinguent par trois caractéristiques : la salinité, la température et les nutriments dissous qui, en plus de

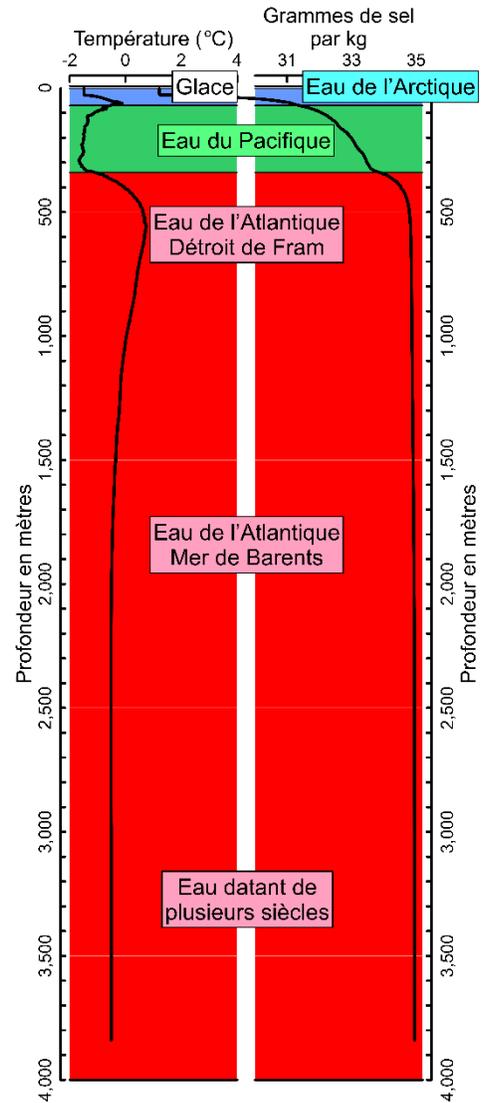


Figure 10. Variation de la température et de la salinité selon la profondeur de l'eau de la mer dans le bassin Canada de l'Arctique. Les domaines des principales masses d'eau sont indiqués.

l'oxygène dissous et de l'acidité, sont des éléments essentiels de l'habitat marin et des facteurs importants qui déterminent quels organismes pourront prospérer et où ils pourront le faire.

L'eau de l'Arctique (figure 10) est un mélange d'eau du Pacifique, de l'Atlantique et d'eau douce, modifiée dans l'Arctique par des processus physiques, chimiques et biologiques. La glace de mer arctique est une version gelée de l'eau arctique. L'eau de l'Atlantique a une salinité élevée (34,5 à 34,95) et une température relativement élevée (0 à 3 °C) tout au long de l'année. Il existe trois variantes de l'eau de l'Atlantique dans le bassin Canada, soit une couche chaude qui pénètre par le détroit de Fram, une couche plus froide renouvelée toutes les quelques décennies qui pénètre par la mer de Barents, et une couche dense au fond du bassin emprisonnée depuis plusieurs siècles. Une quatrième variante pénètre dans les eaux de la région de l'Arctique canadien par la baie de Baffin, mais n'atteint pas le bassin Canada. L'eau du Pacifique a une salinité modérée (31 à 33), plus faible en été qu'en hiver, est chaude (près de 3 °C) en été et froide (près de -1,5 °C) en hiver et présente des concentrations élevées de nutriments dissous (nitrate, phosphate, silicate). L'eau douce a une salinité nulle, une température qui varie de 0 à 10 °C selon la source et la saison et présente une concentration relativement faible en nutriments dissous.

Aux basses températures de l'Arctique, la salinité est le principal facteur qui contrôle la densité de l'eau. L'augmentation de la densité (c.-à-d. de la salinité) avec la profondeur reflète une diminution de la proportion d'eau douce par rapport à l'eau de mer standard. Les eaux de l'Arctique ayant la plus grande dilution par l'eau douce (salinité la plus faible) montent sur le dessus; les eaux de l'Atlantique ayant la plus faible dilution (salinité la plus élevée) descendent en profondeur; les eaux du Pacifique se trouvent entre les deux. C'est la calotte glaciaire peu profonde et de faible densité, l'eau de l'Arctique et l'eau du Pacifique qui rendent l'Arctique si différent de l'Atlantique.

L'épaisseur de chaque couche dépend de la quantité de chaque type d'eau présente et de la circulation océanique. La dilution de l'océan Arctique par l'eau douce est faible dans l'ensemble, mais relativement forte dans les 250 m supérieurs. L'eau de l'Arctique occupant les 50 m supérieurs environ est la plus diluée, mais la moins abondante des masses d'eau douce dessalées. L'eau du Pacifique est moins diluée, plus abondante et dominante entre 70 et 250 m dans la région de l'Arctique canadien. L'eau de l'Atlantique est de loin la masse d'eau dominante, remplissant les bassins d'une profondeur d'environ 300 m jusqu'au fond marin à plus de 4 000 m. Le brassage crée des zones de profondeur ayant des propriétés transitoires entre les types d'eau.

Le phytoplancton à la base du réseau trophique a besoin de nutriments dissous et de lumière au même endroit pour croître. Le retour du soleil déclenche une croissance planctonique au printemps, mais une reconstitution continue des nutriments est nécessaire pour soutenir la production primaire. Dans l'Arctique, les nutriments sont abondants dans la couche d'eau intermédiaire du Pacifique, mais ils doivent être mélangés dans la zone euphotique où la photosynthèse se produit. Cet apport vers les couches supérieures est alimenté par l'énergie cinétique des tempêtes et des marées, mais seulement à certains endroits dans des conditions particulières.

Là où le fond marin s'élève au-dessus de la couche d'eau du Pacifique riche en nutriments, l'apport en nutriments peut se trouver limité pour les bassins situés au-delà de cette couche. Il est probable que ce mécanisme fonctionne dans le golfe Coronation, le détroit de Dease et la baie de la Reine-Maud, par exemple, où les seuils (remontée des fonds marins) atteignent des profondeurs de 15 à 30 m et où seules les eaux de surface pauvres en nutriments peuvent pénétrer de l'extérieur dans des conditions normales.

D'un point de vue plus large, les profondeurs des seuils qui peuvent bloquer les voies possibles d'écoulement contrôlent la présence de chaque type d'eau de mer à des endroits dans l'ensemble du plateau polaire canadien. La Figure 11 présente les zones de l'Arctique canadien qui sont

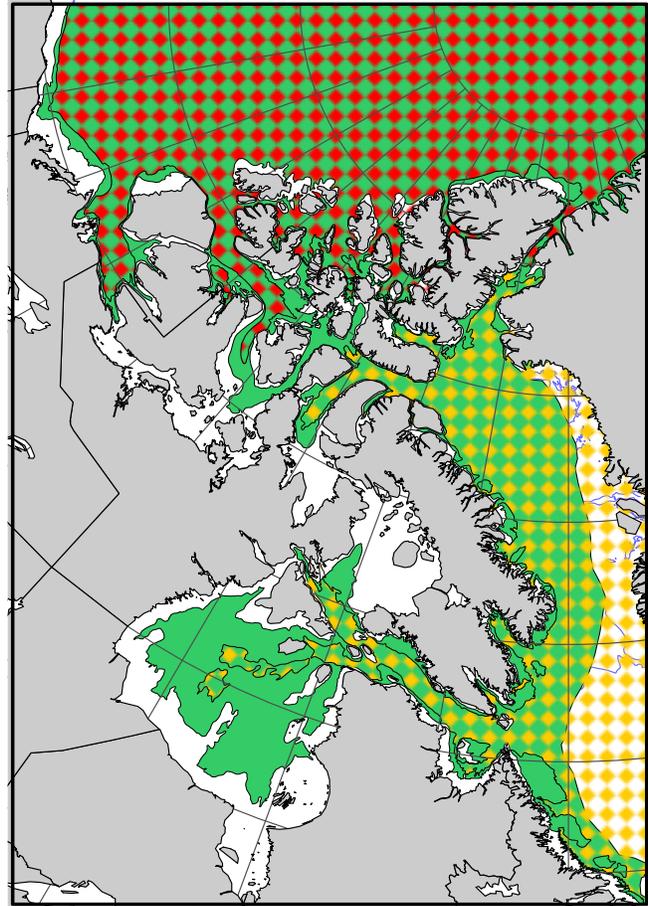


Figure 11. Présence des différents types d'eau de mer dans la région de l'Arctique canadien : l'eau du Pacifique en vert, l'eau de l'Atlantique passant par le détroit de Fram et la mer de Barents en rouge, et par la baie de Baffin en jaune. Les eaux arctiques couvrent toute la région, sauf l'est de la baie de Baffin (pas de sous-couche verte). Les nutriments du Pacifique ne sont pas facilement disponibles dans les zones blanches des parties méridionales du plateau polaire canadien.

accessibles à chaque type d'eau de mer, en combinant la connaissance de la profondeur de chaque type avec la connaissance de la topographie du fond marin. Pour que les eaux du Pacifique ou de l'Atlantique pénètrent dans l'Arctique, les voies d'accès doivent rester aussi profondes que la profondeur la plus faible à laquelle ces eaux ont pénétré pour la première fois dans les zones de l'Arctique. Les régions isolées des eaux riches en nutriments du Pacifique présentent un intérêt particulier.

4.1.4 Mouvement de l'eau de mer

Les conséquences de la répartition des masses d'eau sont plus facilement perceptibles lorsqu'on connaît la façon dont l'eau se déplace. La variation de la vitesse et de la direction des courants avec la profondeur, la couverture de glace, la marée, les tempêtes, la saison, l'année et la décennie compliquent l'analyse. L'information est rare. Un schéma de la circulation moyenne des eaux de surface de l'Arctique canadien est présenté à la Figure 12.

En général, les vents dominants dans le bassin de Baffin maintiennent un tourbillon dans le sens antihoraire qui entraîne l'eau de l'Atlantique vers la surface du côté du Groenland et l'amène vers le sud-est le long du côté est du plateau polaire canadien. Les vents dans le bassin Canada maintiennent un tourbillon dans le sens horaire qui déplace l'eau de surface lentement vers le sud-ouest le long du côté arctique du plateau polaire canadien et plus rapidement vers l'ouest en traversant le sud de la mer de Beaufort. Une partie du débit du côté arctique, réagissant à une chute du niveau de la mer d'environ 15 centimètres (cm) vers la baie de Baffin, quitte le tourbillon pour traverser le plateau polaire canadien et rejoindre le courant de Baffin qui l'amène dans l'Atlantique. Cette image est compliquée par les nombreuses îles sur le plateau polaire, qui, combinées à la rotation de la Terre, permettent aux eaux de surface de se déplacer vers l'Arctique si elles embrassent la côte à droite. Les eaux de l'Atlantique de la baie de Baffin inondent également les bassins du côté est du plateau polaire canadien.

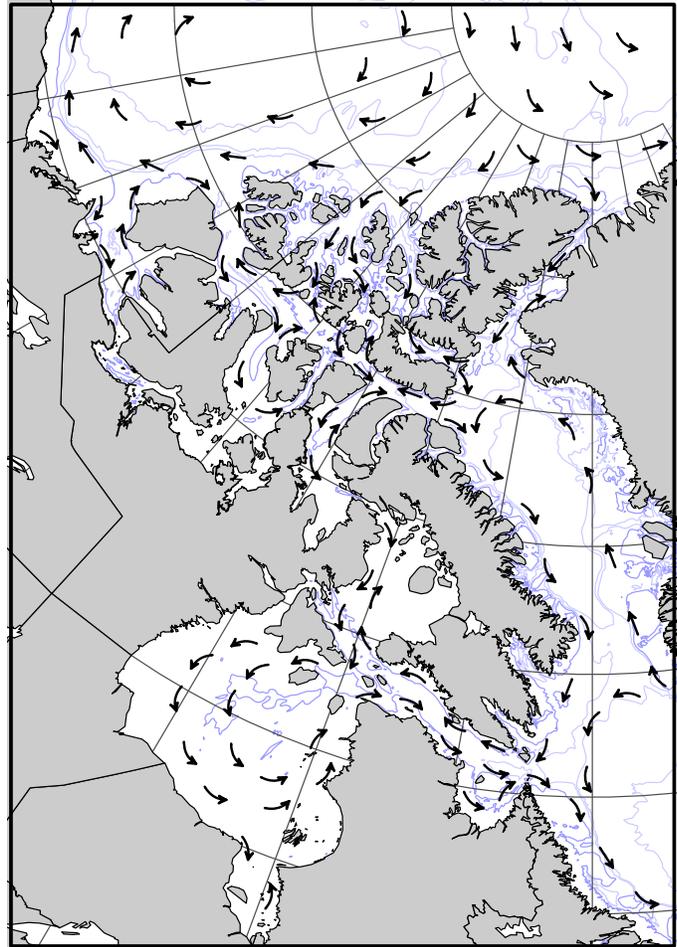


Figure 12. Vue schématique du mouvement des eaux de surface dans la région de l'Arctique canadien. Les flèches représentent la direction moyenne des courants, sans égard à la vitesse d'écoulement. Données modifiées de la page [Courants marins moyens pour l'Arctique](#).

Les voies immergées que suivent les eaux du Pacifique et de l'Atlantique dans l'océan Arctique ne sont pas bien connues. Toutefois, des observations ont révélé qu'un courant s'écoulait sous la surface, dans le sens antihoraire, le long du talus continental de Beaufort et dans les profondeurs

de l'ouest du plateau polaire canadien simplement en suivant ses côtés fortement inclinés. La composante atlantique est trop dense pour se déplacer vers l'est et peut demeurer dans les bassins profonds de l'ouest pendant des décennies. En raison des seuils, le débit continu de l'Arctique canadien se compose uniquement des eaux de surface de l'Arctique et des eaux du Pacifique. Ces dernières apportent des nutriments pour nourrir les écosystèmes marins de la côte de Baffin, de la baie d'Hudson et de la région de l'Atlantique canadien. Une partie du courant de Baffin en direction sud pénètre dans la baie d'Hudson le long de la rive nord du détroit d'Hudson et se joint à la circulation antihoraire de l'afflux fluvial local autour de la baie, pour sortir le long de la rive sud du détroit d'Hudson.

4.1.5 Glace de mer

L'étendue de la couverture de glace au cours d'au moins une partie de l'année est une caractéristique déterminante de la région de l'Arctique canadien. La glace se forme par le gel de l'eau de mer par temps froid hivernal. Dans le Grand Nord canadien, la glace de mer atteint plus de deux mètres d'épaisseur au début de juin. Près de la limite sud de la baie James, la formation de glace hivernale atteint environ un mètre.

Le gel de l'eau de mer n'est que le début de la formation de la glace de mer. La force des vents et des marées déplace la glace contre les rives, ce qui la fait se fracturer et s'empiler dans d'épais amas sinueux (crêtes). Ces crêtes peuvent atteindre une épaisseur de 10 m, même très tôt en hiver, et de 30 m ou plus à la fin de l'hiver. L'empilage de glace crée brièvement de l'espace pour des chenaux libres de glace dans d'autres secteurs. La glace de mer (ou **banquise**) qui dérive devient un paysage chaotique de crêtes et de floes d'une épaisseur très variable à mesure que l'hiver se poursuit.

La banquise devient plus solide à mesure qu'elle s'épaissit pendant l'hiver. Là où les côtes ou les îles fournissent un abri, elle peut devenir suffisamment forte pour résister à la force des vents et des courants, de sorte qu'elle cesse de se fracturer et de dériver et qu'elle demeure en place, formant de la **glace fixée**. Les chenaux qui relient les îles du plateau polaire canadien sont uniques en ce qu'ils abritent de vastes étendues de glace fixée chaque hiver.

Alors que la nuit polaire s'estompe, la température de l'air augmente avec le renforcement des rayons printaniers du soleil, ce qui ralentit la croissance de la glace. Avec une température approchant 0 °C, le rayonnement solaire peut faire fondre la neige accumulée, formant des mares qui emprisonnent la chaleur du soleil et qui favorisent la dégradation de la glace de mer en dessous. Au début d'août, la majeure partie de la **glace saisonnière** (plus mince) dans la partie sud de l'Arctique canadien a fondu. Plus au nord, là où la glace est plus épaisse, l'été est trop court pour que toute la glace fonde. Lorsque les zones d'eaux libres commencent à geler à la fin d'août, de la nouvelle glace commence également à geler en dessous des floes qui sont restés de l'hiver précédent. Le 1^{er} octobre, ces floes qui se régénèrent entrent dans la catégorie des glaces de deuxième année. S'ils survivent un deuxième été, ils deviennent de la **vieille glace** ou de la **glace de plusieurs années**. La majeure partie de la glace de plusieurs années de l'Arctique se trouve dans la région canadienne. Les zones combinées de glace de première et deuxième année et de glace de plusieurs années définissent l'étendue minimale de la couverture de glace à la fin de l'été.

La glace correspond à la surface de la mer où elle est présente et elle se déplace généralement de la même façon que les courants de surface, sauf là où elle est fixée. Tout comme les courants, la dérive de la glace varie considérablement au fil du temps (heures, jours, saisons, années). En effet, la glace de mer améliore grandement notre connaissance des courants de surface, car ses mouvements peuvent être facilement suivis depuis l'espace. La glace arrive sur le plateau polaire canadien et le quitte de tous les côtés à mesure que les vents changent. Toutefois, à l'ouest, elle est plus susceptible de se déplacer depuis le bassin Canada vers le plateau au nord du chenal Parry, alors qu'au sud, elle tend à quitter le plateau vers le bassin Canada. Du côté est, la glace se déplace généralement du plateau vers la baie de Baffin en passant par les détroits de Smith et de Jones, alors qu'elle dérive habituellement sur une certaine distance dans les détroits de Lancaster et d'Hudson avant de traverser le chenal et de ressortir de l'autre côté. La glace circule dans le sens antihoraire autour de la baie d'Hudson; la petite zone de glace qui ne fond pas à l'intérieur de la baie sort par le détroit d'Hudson.

La glace de mer exerce une forte influence sur tous les aspects des écosystèmes marins de l'Arctique. Il s'agit en soi d'un habitat (substrat) pour la vie marine (p. ex. bactéries, phytoplancton, zooplancton, poissons, phoques, morse [*Odobenus rosmarus*], oiseaux, baleines, renards, ours polaire) et les Inuits. Sa présence réduit la pénétration de la lumière solaire dans les eaux océaniques. Sa surface accidentée aide à brasser les nutriments dissous vers le haut dans la zone euphotique lors de son déplacement, mais elle crée une couche d'eau de surface saumâtre qui empêche ce brassage lors du dégel. Sa solidité offre un support aux ours, aux renards et aux oiseaux, mais nuit en même temps à l'accès facile aux sources de nourriture marine. Sa présence protège les mammifères marins contre les prédateurs, mais peut aussi isoler ces mêmes créatures de l'air nécessaire pour respirer. La lisière de glace fixée en hiver et au printemps (la lisière des floes) permet, avec un vent favorable, la formation de polynies (zones de glace mince ou d'eaux libres) qui favorisent la prolifération du plancton au début du printemps et qui offrent un refuge aux créatures qui ont besoin à la fois de l'océan et de l'atmosphère pour survivre.

Il est courant de discuter de l'étendue minimale de la glace de mer dans une année, bien qu'il existe de nombreuses autres mesures de la glace de mer pertinentes pour

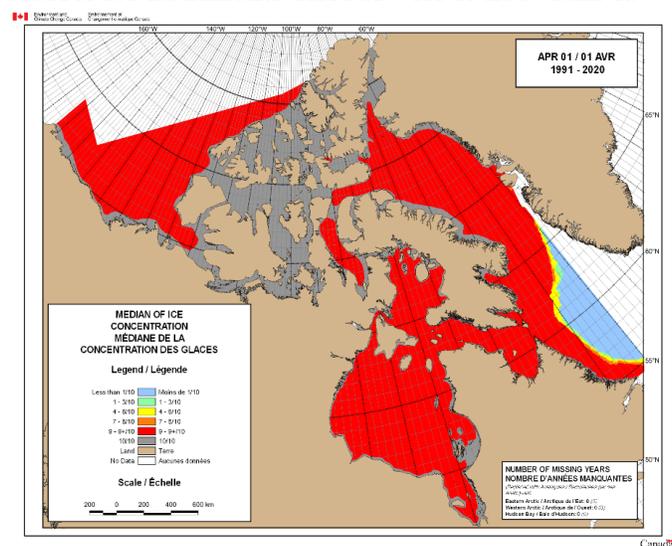


Figure 13. Couverture de la glace de mer dans la région de l'Arctique canadien au moment où elle atteint presque son étendue maximale. Le rouge indique une couverture presque complète de la banquise, et le gris, une couverture complète de glace fixée. L'information représentée est la valeur médiane sur la période climatologique 1991-2020. Illustration fournie gracieusement par le Service canadien des glaces.
<https://iceweb1.cis.ec.gc.ca/30Atlas/page1.xhtml?lang=fr>

l'écosystème. La variation saisonnière de l'étendue des glaces dans la région de l'Arctique canadien (Figure 13 et Figure 14) fournit un aperçu utile. L'étendue de la glace de mer à la fin de l'hiver couvre l'ensemble des eaux de surface arctiques représentées à la Figure 12, ce qui correspond généralement aux limites de la région de l'Arctique canadien telle que nous l'avons définie.

La Figure 13 et la Figure 14 ne fournissent aucune information sur l'épaisseur de la glace de mer, qui varie grandement d'une région à l'autre et d'une saison à l'autre. Toutefois, il est utile de recenser les régions géographiques les plus susceptibles d'abriter de la glace mince et très épaisse. En hiver, la glace mince est plus commune près du front de glace qui borde les mers tempérées et dans les polynies. Ces dernières existent malgré des conditions atmosphériques froides parce que la glace est physiquement déplacée de la zone de congélation par le vent et par une réduction du taux de congélation en raison des remontées d'eaux océaniques plus chaudes. La glace, qui est généralement très épaisse, est probablement de la glace de plusieurs années, laquelle peut être détectée de façon assez fiable par radar satellite pendant les mois froids.

La concentration médiane de glace dans la région de l'Arctique canadien au début de l'été (Figure 15) est un bon substitut pour la cartographie des grandes polynies arctiques. La glace mince qui aurait pu recouvrir complètement les polynies six semaines plus tôt a fondu à ce moment-là, et les eaux exposées par les mouvements ultérieurs de la glace ne se seront pas gelées à nouveau. Il existe aussi une myriade de petites polynies, généralement dans des chenaux à courants de marée puissants qui ne peuvent être cartographiés à cette échelle. La Figure 16 présente la fréquence d'occurrence de la glace de plusieurs années à une concentration de quatre dixièmes ou plus, d'après les données de l'intervalle climatique des 30 dernières années (1991 à 2020). Les zones mauves, bleues et noires sont dominées par de la vieille glace depuis au moins 20 des 30 années analysées. Elles comprennent la mer de Beaufort au sud du 73° parallèle nord et la plus grande partie de l'ouest du plateau polaire canadien. La vieille glace est moins fréquente dans les parties sud et est du plateau polaire canadien et a une présence négligeable dans la baie d'Hudson et le bassin Foxe.

Puisque la glace de mer influence la vie marine et l'activité humaine de tant de façons, l'étendue des caractéristiques de la glace de mer pertinentes pour l'écosystème englobe beaucoup plus d'attributs que ceux présentés ici. La répartition de la présence de glace selon l'épaisseur; la présence, la taille et la superficie fractionnée des ondules glaciels au-dessus et au-dessous de la surface de la mer; la présence, l'épaisseur et la dérive de la neige; la date de la prise des glaces; les dates de la débâcle pour la glace fixée et du dégagement des glaces pour la banquise en sont

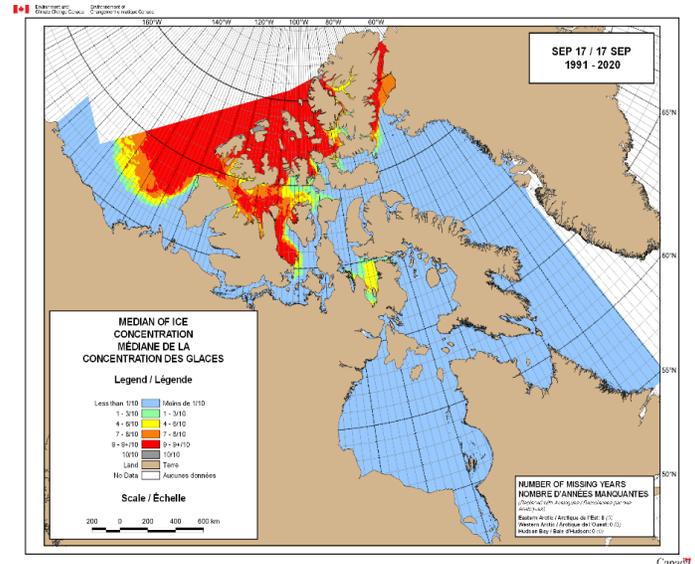


Figure 14. Couverture de la glace de mer dans la région de l'Arctique canadien au moment où elle atteint presque son étendue minimale. L'information représentée est la valeur médiane sur la période climatologique 1991-2020. Illustration fournie gracieusement par le Service canadien des glaces. <https://iceweb1.cis.ec.gc.ca/30Atlas/page1.xhtml?lang=fr>

d'autres. De plus, les centiles et les valeurs extrêmes de ces attributs peuvent être aussi pertinents, sinon plus, que les moyennes.

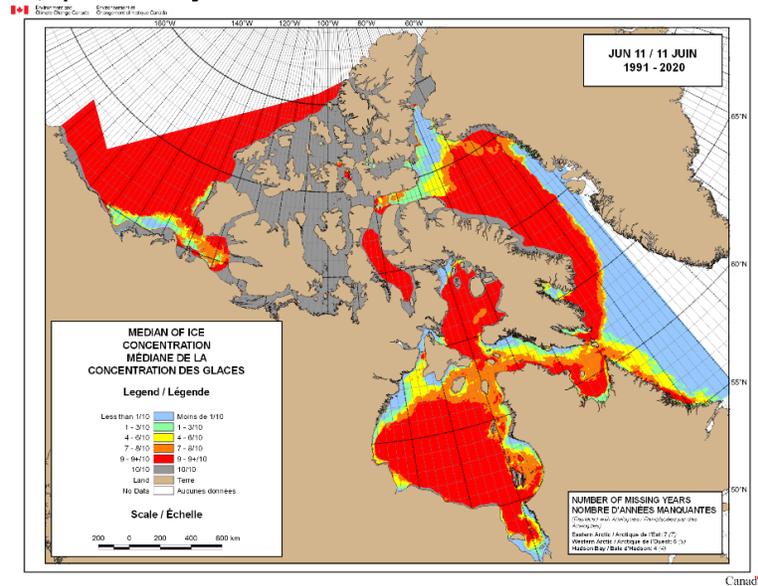


Figure 15. Emplacements des polynies (zones bleu-vert délimitées par le rouge) dans la région de l’Arctique canadien, qui sont caractérisées par une mince couche de glace au début de l’été. On retrouve d’importantes polynies dans la mer de Beaufort (polynie de Bathurst), le nord de la baie de Baffin (polynie des eaux du Nord), le nord-ouest du bassin de Foxe, la baie d’Hudson et le détroit d’Hudson. De plus petites polynies se trouvent dans les détroits de Penny, de Cardigan et de Cumberland. Illustration fournie gracieusement par le Service canadien des glaces. <https://iceweb1.cis.ec.gc.ca/30Atlas/page1.xhtml?lang=fr>

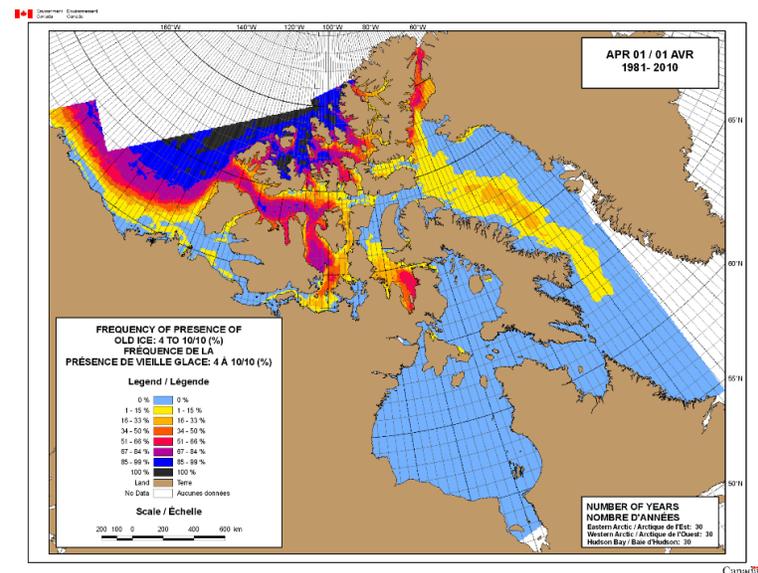


Figure 16. Régions de glace épaisse dans la région de l’Arctique canadien. La carte montre la fréquence de la présence de vieille glace à une couverture de 4 à 10 dixièmes à cette date, exprimée en fraction de l’année dans l’intervalle climatique de 30 ans. Illustration fournie gracieusement par le Service canadien des glaces. <https://iceweb1.cis.ec.gc.ca/30Atlas/page1.xhtml?lang=fr>

4.1.6 Marées

Les marées sont les variations régulières du niveau de la mer contrôlées par les positions du soleil et de la lune, leur force gravitationnelle et la rotation de la Terre. La gravité solaire et lunaire crée des renflements d'eau de mer qui se déplacent autour de la Terre alors qu'elle tourne sous eux. Il y a de nombreuses composantes de marée dont les périodes sont regroupées en intervalles. Les intervalles quotidiens et semi-quotidiens contiennent les plus grandes marées.

Les irrégularités dans la profondeur et la forme des bassins océaniques modifient les renflements, de sorte que les différences entre les marées hautes et basses (l'amplitude de marée) sont plus importantes dans certaines régions que dans d'autres. Dans l'Arctique, les variations saisonnières de la couverture de glace modifient également la portée et l'heure d'arrivée de la marée.

Le mouvement rapide des renflements de marée d'eau de mer autour de la Terre crée des courants de marée. Ces mouvements se font dans les mêmes intervalles que les changements du niveau de la mer qui les entraînent. Les marées semi-quotidiennes exposent et inondent l'habitat intertidal de la côte en changeant le niveau de la mer quatre fois par jour. La largeur de la zone intertidale dépend de l'amplitude de marée et de la pente de la rive (étroite sur des rives escarpées). En hiver, les marées soulèvent et abaissent la glace de mer près des rives, ce qui maintient des fissures entre la glace échouée (près de la rive) et la glace flottante (en eau profonde). Ces fissures offrent des sites aux phoques pour respirer et aux ours polaires pour chasser.

L'écoulement des courants de marée sur le fond marin et sous la glace génère des tourbillons et des remous dans l'eau qui peuvent mélanger de l'eau potentiellement plus chaude et plus riche en nutriments et la faire remonter jusqu'à la surface (Hughes *et al.* 2018). L'effet augmente considérablement à mesure que le courant de marée se renforce. Le brassage ascendant des nutriments peut restaurer la capacité de production de la zone euphotique en été et soutenir des points névralgiques biologiques. Un brassage ascendant de chaleur peut réduire l'épaisseur de la glace d'hiver (créant de petites polynies), offrant un meilleur habitat hivernal au morse et aux phoques et facilitant une débâcle précoce au printemps. Toutefois, ces deux avantages écologiques dépendent de la présence d'une forte action des marées et de l'eau chaude et des nutriments en profondeur. Les courants sont les plus forts dans les chenaux étroits et peu profonds où l'amplitude de marée ou le moment des marées hautes et basses diffèrent nettement

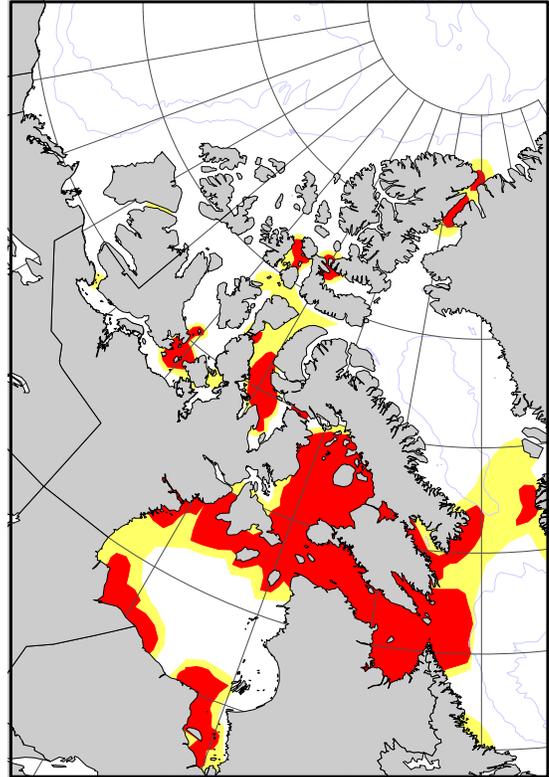


Figure 17. Zones ayant des courants de marée forts dans la région de l'Arctique canadien. Les débits sont plus énergiques dans les zones colorées en rouge, moins dans les zones en jaune. Données compilées par le modèle de prévision de marée WebTide, v 0.7.1 (Dunphy *et al.* 2005, <https://www.bio.gc.ca/science/research-recherche/ocean/webtide/index-fr.php>).

d'une extrémité à l'autre de la région visée. La Figure 17 représente les régions de l'Arctique canadien où les courants de marée sont forts.

4.2 Aperçu des nutriments, les éléments constitutifs de la productivité des écosystèmes

Les nutriments comme l'azote et le phosphore sont essentiels à la croissance des producteurs primaires qui forment la base des réseaux trophiques marins. Utilisant la lumière comme source d'énergie, les producteurs primaires assimilent les nutriments et le carbone pour se développer et produire la matière organique qui forme la base des réseaux trophiques. Dans les eaux marines, l'azote et le phosphore sont requis par les producteurs primaires associés à la glace de mer (c.-à-d. les algues de glace ou sympagiques) et par ceux qui poussent dans la colonne d'eau (phytoplancton et macroalgues). De plus, dans les eaux de l'Arctique canadien, les diatomées ont besoin de silicium comme nutriment pour former leurs parois cellulaires complexes semblables à du verre Figure 18.

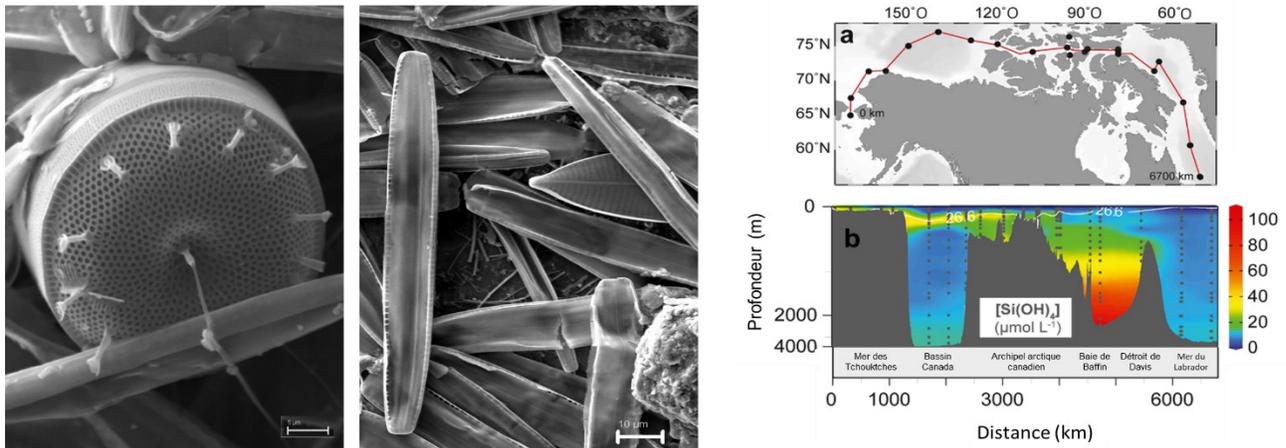


Figure 18. Les photos montrent les parois cellulaires complexes à base de silicium de diatomées trouvées dans l'Arctique canadien (source : Giesbrecht *et al.* 2022; photos : Beth Caissie, U.S. Geological Survey). Ligne de transect d'échantillonnage (a) et section verticale des concentrations de silicium (b) dans l'ensemble de l'Arctique en Alaska et au Canada. À noter que l'échelle de profondeur a été modifiée pour mettre l'accent sur les détails dans la partie supérieure de la colonne d'eau.

Les diatomées constituent un groupe important d'algues microscopiques qui contribuent de façon notable à la productivité primaire, notamment les proliférations phytoplanctoniques dans la glace de mer, sous la glace et en eaux libres (Matthes *et al.* 2021; Croteau *et al.* 2022). La répartition de silicium pour soutenir la croissance des diatomées a été cartographiée le long d'une section de l'Arctique canadien (Giesbrecht *et al.* 2022; Figure 18a,b). Les concentrations de silicium sont étroitement liées aux masses d'eau et sont influencées à la fois par la dissolution de la silice biogène (p. ex. décomposition des cellules de diatomées) et par l'absorption biologique de silicium dans les eaux de surface. Dans la baie de Baffin, les concentrations élevées de silicium dans les eaux profondes sont entièrement causées par la dissolution de cellules microscopiques qui ont été exportées au fond de cette région productive, en particulier les eaux du Nord (section 6.1 et étude de cas 12).

Au milieu de l'été, la plupart des eaux de surface océaniques de l'Arctique canadien sont appauvries en azote, plus précisément en nitrate (Figure 19). Les algues mortes et les autres matières particulaires coulent généralement, ce qui élimine les nutriments de l'eau de surface. Par conséquent, la production primaire, qui a lieu dans la couche euphotique (plus ou moins les 100 m supérieurs de la colonne d'eau) où les niveaux de luminosité sont suffisants pour soutenir la croissance nette, doit dépendre d'un réapprovisionnement en nutriments pour croître une fois l'azote de surface épuisé. Les nouvelles sources d'azote peuvent comprendre le fleuve et les rivières ou la fixation de l'azote gazeux atmosphérique par les bactéries (von Friesen et Riemann 2020). Toutefois, le réapprovisionnement en nutriments le plus important se fait par le flux vertical ascendant (c.-à-d. le brassage) des nutriments se trouvant sous la couche euphotique.

Dans les eaux de l'Arctique canadien, la différente salinité des couches océaniques (section 4.1.3) stabilise la colonne d'eau et s'oppose au brassage nécessaire pour amener les eaux riches en nutriments de la subsurface dans la couche euphotique ensoleillée. Des travaux récents ont révélé que l'inventaire annuel de nitrate, disponible pour les producteurs primaires, est en grande partie déterminé par la force de la stratification et par la bathymétrie, car les deux facteurs contrôlent directement la quantité de brassage vertical entre la subsurface et la couche euphotique (Randelhoff *et al.* 2020a). Même si les flux de nitrate dans l'Arctique sont, en moyenne, d'un à deux ordres de grandeur plus petits que ceux des autres océans, les modèles spatiaux du nitrate dans les eaux de surface de l'océan Arctique (Figure 19) sont liés au brassage vertical. Par conséquent, les mesures de la structure de la colonne d'eau et le potentiel de brassage vertical peuvent appuyer les estimations annuelles de la nouvelle production primaire.

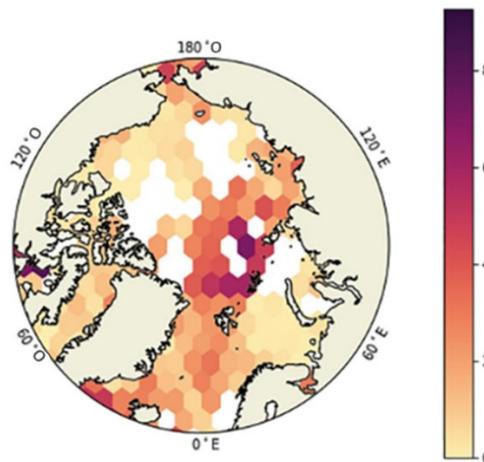


Figure 19. Concentrations de nitrate (μM) à la surface en été dans les eaux arctiques. Les eaux de surface canadiennes sont en grande partie appauvries en azote pendant l'été (nuances de jaune), ce qui limite la croissance du phytoplancton (source : Randelhoff *et al.* 2020a).

De nombreux facteurs peuvent influencer le brassage vertical des nutriments et la profondeur à laquelle ils sont disponibles. Dans la baie d'Hudson, le brassage et la disponibilité des nutriments peuvent changer de façon saisonnière dans les zones côtières et estuariennes en raison des changements du débit fluvial, de la formation de glace de mer (c.-à-d. le rejet de saumure) et de la fonte, ainsi que des tempêtes estivales (Eastwood *et al.* 2020; Dmitrenko *et al.* 2021). À l'automne, le refroidissement atmosphérique et, dans une moindre mesure, la turbulence

provoquée par les vents dans la baie d'Hudson soutiennent le brassage convectif qui décompose la stratification de surface, permettant ainsi aux nutriments d'être accessibles dans les eaux de surface. Avec cette injection de nutriments dans la zone euphotique, une prolifération phytoplanctonique automnale peut se produire (Barbedo *et al.* 2022).

Dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort, la stratification est forte et la turbulence dans la colonne d'eau est faible, mais variable (Scheifele *et al.* 2021). Par conséquent, le petit nombre de brassages à fortes turbulences qui se produisent dans la colonne d'eau (p. ex. les tourbillons) est d'une importance disproportionnée pour les flux de nutriments, par rapport aux autres zones océaniques. Sur le plateau de la mer de Beaufort, le mouvement de l'eau du fond marin vers la côte a considérablement augmenté au cours des 25 dernières années (voir la section 5.2.2), ce qui a entraîné une remontée accrue de l'eau du Pacifique riche en nutriments dans la zone euphotique. Au large des côtes dans le bassin Canada, les changements de l'apport en eau douce et le brassage de cette eau douce, ainsi que les changements du contenu thermique ou de l'eau de surface réduisent le brassage vertical en été, ce qui a une incidence sur la stratification et, par conséquent, sur l'accès aux nutriments au cours du cycle saisonnier (Rosenblum *et al.* 2022; voir l'étude de cas 11).

4.3 Aperçu des réseaux trophiques de l'Arctique

Afin d'assurer une bonne gestion de la région de l'Arctique canadien au niveau des espèces et des écosystèmes, il est essentiel de comprendre les principaux liens qui existent au sein des réseaux trophiques et entre ceux-ci. Les réseaux trophiques illustrent la circulation de l'énergie et de la matière entre les producteurs et les consommateurs dans un système. Ces réseaux sont souvent divisés en niveaux trophiques, déterminant les voies par lesquelles l'énergie et la matière sont utilisées, transférées, modifiées et recyclées (Figure 20).

Comme dans tout réseau trophique, les organismes ayant la biomasse la plus élevée au sein des réseaux trophiques marins de l'Arctique sont de petites espèces unicellulaires qui demeurent souvent non observées. Par exemple, sur le plateau du fleuve Mackenzie, la biomasse de phytoplancton d'une taille de plus de 5 μm est estimée à 2,5 g m^{-2} , tandis que celle du béluga est estimée à 0,03 g m^{-2} (2021a).

La production primaire qui alimente les réseaux trophiques marins de l'Arctique est dominée par le phytoplancton pélagique en eaux libres et, dans une moindre mesure, par les algues de glace. À l'échelle de l'océan Arctique, la perte de glace de mer a entraîné une augmentation de l'apport en nutriments et de la production primaire en eaux libres au cours de la période de 1990 à 2018, mais les eaux canadiennes ont connu des augmentations plus modérées que celles observées dans d'autres régions de l'Arctique (Arrigo et van Dijken 2015; Lewis *et al.* 2020; Frey *et al.* 2021). Même si la contribution relative des algues de glace peut être faible, elle est importante pour soutenir les organismes à tous les niveaux du réseau trophique (Amiriaux *et al.* 2023a; Koch *et al.* 2023). Cela s'explique par le fait que les algues de glace : 1) offrent une source de nourriture saisonnière précoce, abondante et localisée qu'utilisent les brouteurs pélagiques; 2) fournissent des acides gras essentiels à la bonne reproduction des espèces charnières de zooplancton et d'invertébrés benthiques; 3) sont de grandes cellules qui forment entre elles des groupes qui peuvent couler rapidement vers le plancher océanique, où elles offrent une source de nourriture

fraîche aux espèces benthiques (Renaud *et al.* 2007; Boetius *et al.* 2013; Yunda-Guarin *et al.* 2020; Amiraux *et al.* 2021). Dans certaines régions, les diminutions décennales de l'étendue de la glace de mer se reflètent dans la contribution du carbone dérivé de la glace de mer au régime alimentaire des consommateurs des niveaux trophiques supérieurs, mais ce n'est pas le cas partout (Yurkowski *et al.* 2020; étude de cas 3). À l'échelle de l'océan Arctique, la possible diminution du carbone dérivé de la glace de mer peut être compensée par une augmentation de l'habitat de la glace de première année pour les algues de la glace de mer, car la glace épaisse de plusieurs années est remplacée par de la glace de première année plus mince, qui transmet plus de lumière pour la production primaire (Lim *et al.* 2022).

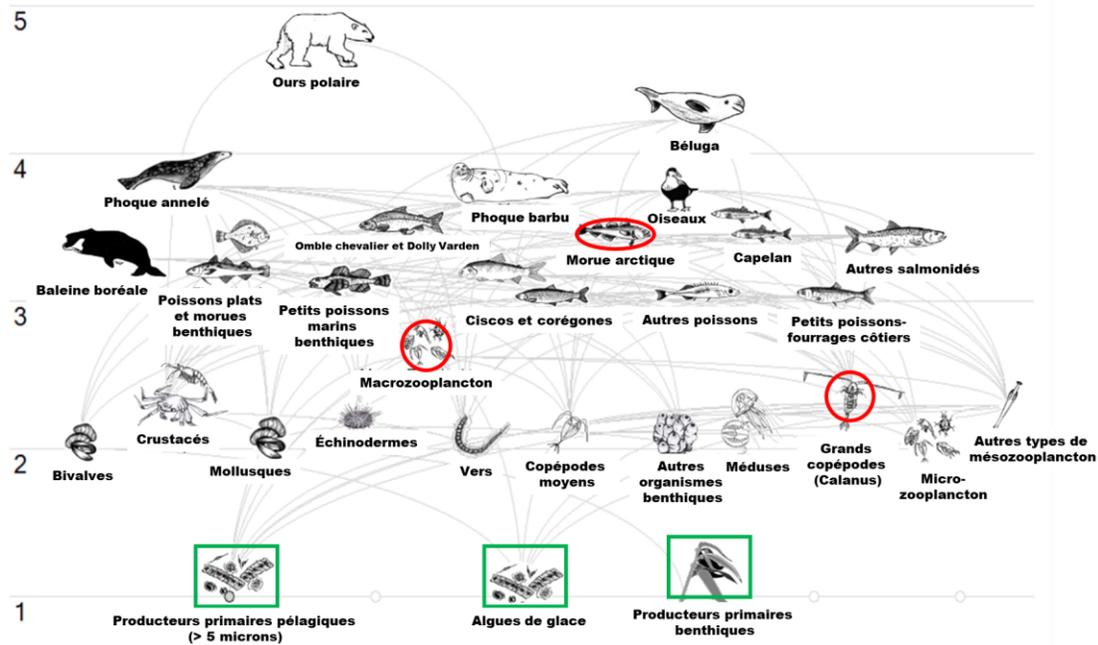


Figure 20. Schéma des liens d'alimentation et des niveaux trophiques pour 33 groupes fonctionnels, représenté par un modèle écosystémique construit pour le plateau de la mer de Beaufort canadienne. Les liens d'alimentation sont montrés par des lignes grises et les niveaux trophiques sont indiqués par des axes horizontaux. Les biotes de niveau trophique intermédiaire comme la morue polaire, le macrozooplancton et les grands copépodes (encerclés en rouge) ont une incidence disproportionnellement élevée sur le réseau trophique en tant que vecteurs du transfert ascendant d'énergie vers les espèces de niveau trophique supérieur. Les producteurs primaires (boîtes vertes) comptent parmi les plus petits organismes des communautés marines, mais représentent la majorité de la biomasse et alimentent le reste du réseau trophique (modifié de : Hoover *et al.* 2021b).

Les écosystèmes benthiques côtiers dominés par des macrophytes comme le varech et la zostère marine peuvent être des contributeurs négligés au flux de carbone et d'énergie dans les écosystèmes de l'Arctique, en particulier dans les régions côtières. Le stock total de varech dans l'est de l'Arctique canadien peut dépasser $94,9 \pm 16$ Tg C (Castro de la Guardia *et al.* 2023) avec une production primaire nette estimée de $19,6$ à $67,8$ g C m⁻² an⁻¹. La majeure partie de la production primaire par le varech et la zostère marine est exportée vers des écosystèmes adjacents où elle peut soutenir et alimenter les réseaux trophiques bénéficiaires par le biais d'une voie détritique (Cebrian 1999; Krumhansl et Scheibling 2012).

Le carbone fixé dans la colonne de glace et d'eau est intégré dans le réseau trophique par des consommateurs primaires comme le zooplancton, les amphipodes et les bactéries hétérotrophes qui effectuent des transformations essentielles du carbone et d'autres nutriments afin de rendre l'énergie disponible aux niveaux trophiques supérieurs. Le biote pélagique de niveau trophique intermédiaire comme la morue polaire (*Boreogadus saida*) et le zooplancton riche en lipides, notamment *Calanus hyperboreus* et *Calanus glacialis*, ont un effet énorme sur les réseaux trophiques de l'Arctique parce qu'ils sont des proies essentielles pour les espèces du niveau trophique supérieur, y compris d'autres poissons, des oiseaux de mer et des mammifères marins. Ces espèces fourragères sont des vecteurs cruciaux pour transférer l'énergie verticalement entre les niveaux trophiques et pour contrôler les processus qui relient les compartiments pélagiques, benthiques et de glace de mer du réseau trophique (Saint-Béat *et al.* 2022; Sora *et al.* 2023; Pedro *et al.* 2023). Par conséquent, même si les animaux emblématiques de niveau trophique élevé sont souvent ciblés pour la conservation, il sera essentiel, pour réussir, d'adopter une approche écosystémique qui tient compte de tous les niveaux trophiques et qui gère les espèces fourragères de niveau trophique intermédiaire. Le broutage pélagique peut limiter l'exportation de la production pélagique fraîche vers le benthos (Forest *et al.* 2010), mais il peut également faciliter le couplage pélagique-benthique par des migrations verticales et la production de particules qui s'enfoncent rapidement, comme les boulettes fécales, les exuvies et les carcasses (Sallon *et al.* 2011; Darnis *et al.* 2012; Turner 2015).

Lorsque la matière organique produite dans la zone euphotique atteint le fond marin, les invertébrés benthiques jouent un rôle essentiel dans la reminéralisation (c.-à-d. la décomposition et la transformation) de cette matière et dans le cycle et la régénération des nutriments (Link *et al.* 2013a; Miatta et Snelgrove 2021a, b). Ils jouent donc un rôle essentiel dans le transfert du carbone et des nutriments vers les niveaux trophiques supérieurs du réseau trophique pélagique, y compris les mammifères marins et les oiseaux de mer. Les invertébrés benthiques de l'Arctique canadien font preuve de souplesse dans l'utilisation de diverses sources de carbone dans l'alimentation (sources terrestres, pélagiques et dérivées de la glace de mer), dont la disponibilité varie selon les gradients verticaux et géographiques (Mäkelä *et al.* 2017a,b; Stasko *et al.* 2018; Yunda-Guarin *et al.* 2020; Amiraux *et al.* 2023a). La demande en oxygène des sédiments et les flux de nutriments qui indiquent une reminéralisation de la matière organique et le fonctionnement de l'écosystème varient spatialement dans l'Arctique canadien et peuvent en partie s'expliquer par 1) la vitesse à laquelle les aliments frais (carbone organique) sont fournis au fond marin à partir des couches superficielles (Bourgeois *et al.* 2017; Link *et al.* 2013a, b; Miatta et Snelgrove 2021a), et 2) les caractéristiques de l'assemblage macrofaunal lui-même (une reminéralisation plus élevée associée à une grande diversité/abondance ou à la présence de quelques espèces principales; Link *et al.* 2013b; Miatta et Snelgrove 2021a, b). Dans l'Arctique canadien, la complexité et la structure des réseaux trophiques benthiques sont comparables à celles du milieu pélagique (Amiraux *et al.* 2023a, b).

Les changements apportés à un compartiment d'un réseau trophique peuvent se répercuter sur plusieurs niveaux trophiques. Les changements qui se produisent en cascade entre les prédateurs du niveau trophique supérieur et les espèces du niveau trophique inférieur sont appelés **effets descendants**, tandis que ceux qui ont le résultat opposé sont appelés **effets ascendants**. Les écosystèmes de l'Arctique sont touchés de façon disproportionnée par les effets ascendants plutôt que descendants (Hoover *et al.* 2021b; Sora *et al.* 2022; Pedro *et al.* 2023), soulignant

l'importance des conditions environnementales qui déterminent les processus trophiques à la base du réseau trophique. Les études de cas 3 et 4 examinent les répercussions des effets ascendants sur les prédateurs de l'Arctique en modifiant l'équilibre entre la disponibilité de la glace de mer et la production primaire en eaux libres, et l'effet des conditions environnementales et de la répartition des proies sur les comportements de recherche de nourriture.

Il faut noter que la majorité des données scientifiques sur les régimes alimentaires et la structure des réseaux trophiques dans l'Arctique canadien sont distinctes dans l'espace et le temps. Les tendances des données à long terme, comme celles mises en évidence dans les études de cas 4 et 10, sont rares en dehors des connaissances inuites détenues pour les espèces côtières et de subsistance (p. ex. Breton-Honeyman *et al.* 2016; Henry *et al.* 2020; Falardeau *et al.* 2022). Dans de nombreuses régions, la structure et la fonction du réseau trophique demeurent largement inconnues. Lorsqu'il existe suffisamment de données sur la présence et l'abondance des espèces, les approches de modélisation écosystémique (p. ex. Ecopath, Ecosim, Ecological Network Analysis) peuvent combler les lacunes en matière de connaissances sur la structure et la fonction d'un écosystème (p. ex. liens alimentaires directs, flux de biomasse et indices pour l'ensemble de l'écosystème comme l'efficacité du transfert énergétique). Le rendement des modèles écosystémiques dépend toutefois de la quantité et de la qualité de l'information accessible, comme il a été démontré pour la mer de Beaufort canadienne (Hoover *et al.* 2021b). Des approches visant à intégrer le savoir inuit dans les modèles écosystémiques sont encore en cours d'élaboration (Pedro *et al.* 2023).



BOÎTE À OUTILS : Utilisation des caractéristiques pour synthétiser la complexité des réseaux trophiques du zooplancton

Le vaste corpus de recherches ciblant les principales espèces du genre *Calanus* qui composent le zooplancton dans l'Arctique canadien présente une valeur évidente, mais comment pouvons-nous en apprendre davantage sur le rôle des écosystèmes des plus de 298 autres espèces? La classification du zooplancton en « groupes fonctionnels » qui regroupent les espèces en fonction de leurs caractéristiques fonctionnelles peut être utile pour étudier le zooplancton dans un contexte de grande diversité (Figure 21). Même les catégories générales peuvent révéler des processus biologiques importants, comme l'effet du zooplancton sur le cycle du carbone dans un réseau trophique. Par exemple, un système commun de classification des groupes fonctionnels consiste à caractériser les espèces de zooplancton arctique en fonction de la façon dont elles se nourrissent : les herbivores, les omnivores et les carnivores. Les herbivores sont le principal vecteur de conversion et de transfert de la production primaire vers le haut de la chaîne alimentaire, les omnivores se nourrissent à la fois de phytoplancton et d'autres espèces de zooplancton et régulent l'abondance des uns et des autres, tandis que les carnivores comme les chétognathes régulent considérablement l'abondance d'autres espèces de zooplancton. Tous ces groupes fonctionnels jouent un rôle dans le cycle des nutriments et du carbone, et les relations trophiques particulières entre eux peuvent moduler l'efficacité du transfert énergétique vers les niveaux trophiques supérieurs (Saint-Béat *et al.* 2020). Les approches des caractéristiques fonctionnelles jumelées à la modélisation des réseaux écosystémiques ont démontré que l'effet des groupes fonctionnels de zooplancton sur le cycle du carbone peut dépendre en partie du régime de production primaire d'un écosystème (voir aussi l'étude de cas 12; Saint-Béat *et al.* 2022). Ces résultats portent sur le potentiel du zooplancton herbivore à s'adapter aux conditions changeantes, comme la possibilité d'un décalage entre le moment de la prolifération printanière et la présence de brouteurs zooplanctoniques.

L'analyse des caractéristiques fonctionnelles est également associée à de nouvelles approches d'échantillonnage photographique qui utilisent l'intelligence artificielle pour classer les images. Cette approche a été appliquée pour évaluer les caractéristiques morphologiques (p. ex. taille et forme du corps, transparence, emplacement de l'appendice) du zooplancton le long de la lisière des glaces dans la baie de Baffin. Les grands copépodes adultes étaient associés à des eaux couvertes de glace, tandis que les copépodes plus petits se nourrissant activement étaient associés à des eaux libres où les concentrations de phytoplancton étaient plus élevées (Vilgrain *et al.* 2021). Bien que cette observation ne soit peut-être pas surprenante, elle démontre que l'automatisation de l'analyse de grands ensembles de données d'images peut grandement améliorer l'efficacité des enquêtes sur la variation de la répartition du zooplancton et de la composition des communautés. Les approches optiques sont également prometteuses pour ce qui est de fournir une résolution à fine échelle (un mètre) de la répartition verticale des espèces de zooplancton coexistantes, ce qui serait autrement presque impossible à réaliser avec l'échantillonnage au filet traditionnel (Schmid et Fortier 2019).

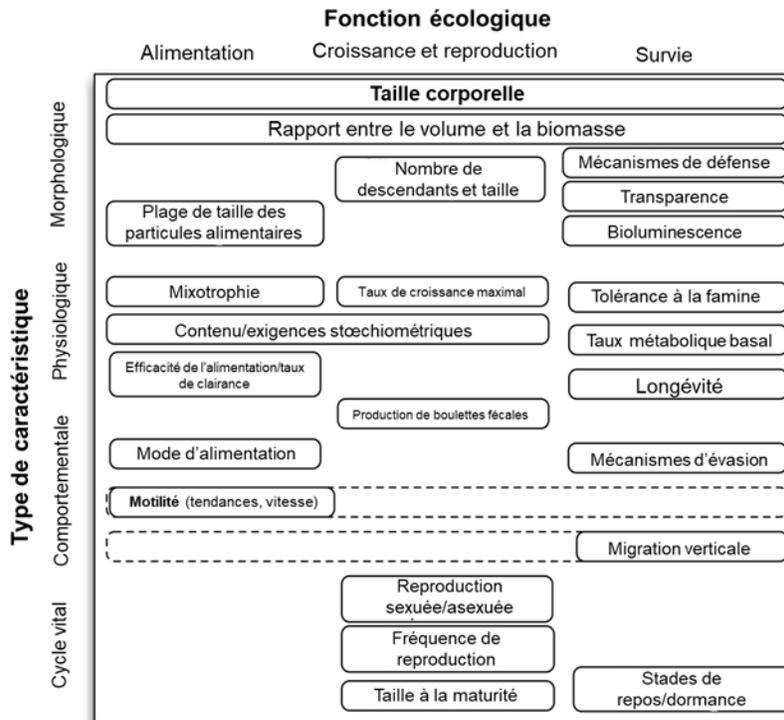


Figure 21. Exemples de caractéristiques fonctionnelles couramment utilisées pour décrire les espèces de zooplancton. Les caractéristiques sont divisées selon le type de classification (rangées; morphologique, physiologique, comportementale ou cycle biologique) et les fonctions écologiques influencées (colonnes; alimentation, croissance et reproduction, et survie). Les caractéristiques qui transcendent de nombreuses fonctions et influencent d'autres attributs sont indiquées en gras (taille du corps et motilité; source : Litchman *et al.* 2013).

ÉTUDE DE CAS 3 : Variation temporelle de l'utilisation du carbone dérivé des algues de glace de mer dans le réseau trophique de l'Arctique

Les milieux marins de l'Arctique sont principalement alimentés par deux sources distinctes de carbone organique, à savoir la prolifération des algues de glace de mer, qui est habituellement suivie de la prolifération plus prononcée de phytoplancton, ou qui est désormais concomitante avec cette dernière (Leu *et al.* 2015; Wassmann et Riegstad 2011). Les algues de glace et les cellules de phytoplancton pélagique qui ne sont pas consommées dans la couche de surface peuvent couler au fond. Au cours de cette période, les cellules de phytoplancton pélagique qui coulent lentement peuvent subir une dégradation et une transformation microbiennes importantes (Kellogg *et al.* 2011). En revanche, les

algues de glace peuvent être relativement bien conservées dans les sédiments pour les raisons suivantes : a) elles forment des groupes dans une matrice de type gélatineuse (exopolymères) qui peut couler rapidement, réduisant ainsi au minimum le temps d'exposition à la lumière du soleil et aux bactéries dans la partie supérieure de la colonne d'eau qui contribuent à la dégradation; b) les bactéries fixées aux algues de glace peuvent souvent être inactives ou mortes en raison du stress causé par la salinité et la lumière dans la partie supérieure de la colonne d'eau avant de couler; c) des composés bactéricides sont produits à la suite de ce stress et limitent la colonisation des cellules d'algues de glace par les bactéries benthiques (figure 22; Renaud *et al.* 2007; Amiraux *et al.* 2020; Rontani *et al.* 2022). Par conséquent, les algues de glace peuvent être une source de nourriture de meilleure qualité pour certains consommateurs benthiques en raison de leur état relativement intact dans les sédiments et de leurs profils nutritionnels uniques (Amiraux *et al.* 2021, 2022). Bien que certains groupes taxonomiques et de consommateurs dépendent davantage des algues de glace que d'autres (Yunda-Guarin *et al.* 2020; Amiraux *et al.* 2023a), de fortes contributions de carbone dérivé de la glace de mer aux réseaux trophiques

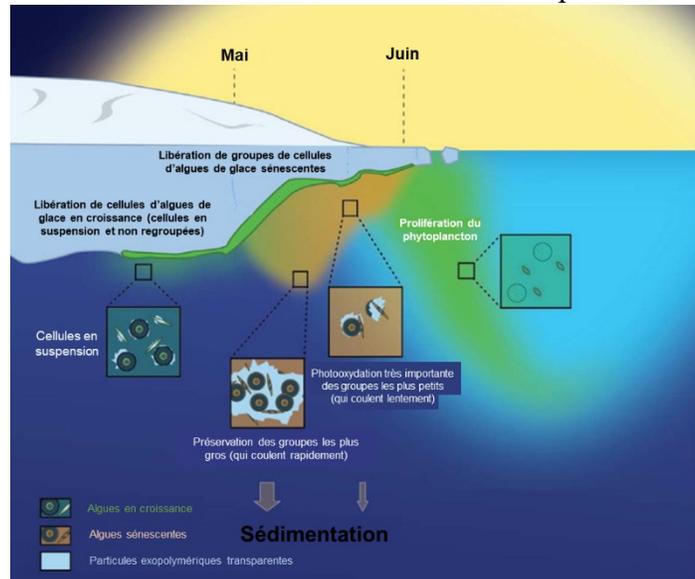


Figure 22. Dessin conceptuel des processus dans la partie supérieure de la colonne d'eau qui contribuent à la préservation des algues de glace de mer dans les sédiments. Les algues de glace libérées dans la colonne d'eau pendant la fonte des glaces en mai sont vivantes et peuvent couler rapidement ou rester en suspension dans la colonne d'eau en tant que cellules non regroupées. À mesure que la fonte se poursuit, les cellules en suspension dans la colonne d'eau subissent un stress causé par le processus de fonte, car elles sont exposées à une salinité élevée et à des conditions de basse température et de faible éclairage énergétique qui favorisent la dégradation induite par la lumière (photooxydation). Les plus petites cellules subissent le plus fort degré de photooxydation, en partie parce qu'elles restent plus longtemps dans la partie supérieure de la colonne d'eau. En revanche, les gros groupes de cellules coulent plus rapidement et sont mieux préservés. La photooxydation des grosses et des petites cellules peut également contribuer à la préservation des cellules dans les sédiments en produisant des composés bactéricides qui empêchent la colonisation des bactéries benthiques (adapté de : Rontani *et al.* 2016 avec l'autorisation d'Elsevier).

benthiques ont été régulièrement observées dans l'ensemble de l'Arctique, depuis les écosystèmes côtiers jusqu'au plateau continental et aux eaux profondes (Roy *et al.* 2015a; Yunda-Guarin *et al.* 2020; Amiraux *et al.* 2023a). Cependant, on en sait peu sur l'utilisation saisonnière du carbone dérivé de la glace de mer par les consommateurs des réseaux trophiques de l'Arctique, et sur la façon dont la contribution à la faune benthique du carbone dérivé de la glace de mer a changé au cours de plusieurs décennies avec le recul de la glace de mer.

Les isoprénoïdes hautement ramifiés (HBI) sont des lipides produits par des diatomées qui peuvent être utilisés comme traceurs propres à la source pour évaluer les sources de carbone utilisées par les consommateurs marins dans l'Arctique. Certains lipides des HBI ne sont synthétisés que par des espèces de diatomées de la glace de mer, tandis que d'autres HBI sont produits par des espèces de phytoplancton (Belt *et al.* 2007; Brown *et al.* 2014a). Les deux approximations peuvent être utilisées ensemble pour déterminer dans quelle mesure un consommateur à n'importe quel niveau trophique a utilisé des aliments qui sont en fin de compte soutenus par le carbone fixé par la production primaire d'algues pélagiques par rapport à la production primaire d'algues de glace de mer (Brown *et al.* 2014b). Récemment, 2 300 échantillons de 159 espèces de tous les niveaux trophiques (invertébrés, poissons, oiseaux de mer et mammifères marins) ont révélé que 96 % des individus étudiés présentaient des signatures de HBI d'algues de glace (Figure 23; Koch *et al.* 2023). Cela comprend les échantillons recueillis pendant les mois d'hiver, longtemps après la fin de la prolifération des algues de glace de mer, ce qui indique un mécanisme de stockage du carbone de la glace de mer (c.-à-d. une « banque » de carbone issu de la glace de mer) et un accès continu pour les consommateurs de l'Arctique. Les hétérotrophes benthiques (p. ex. les consommateurs de dépôts de surface et les bactéries) qui se nourrissent des dépôts sédimentaires de carbone de la glace de

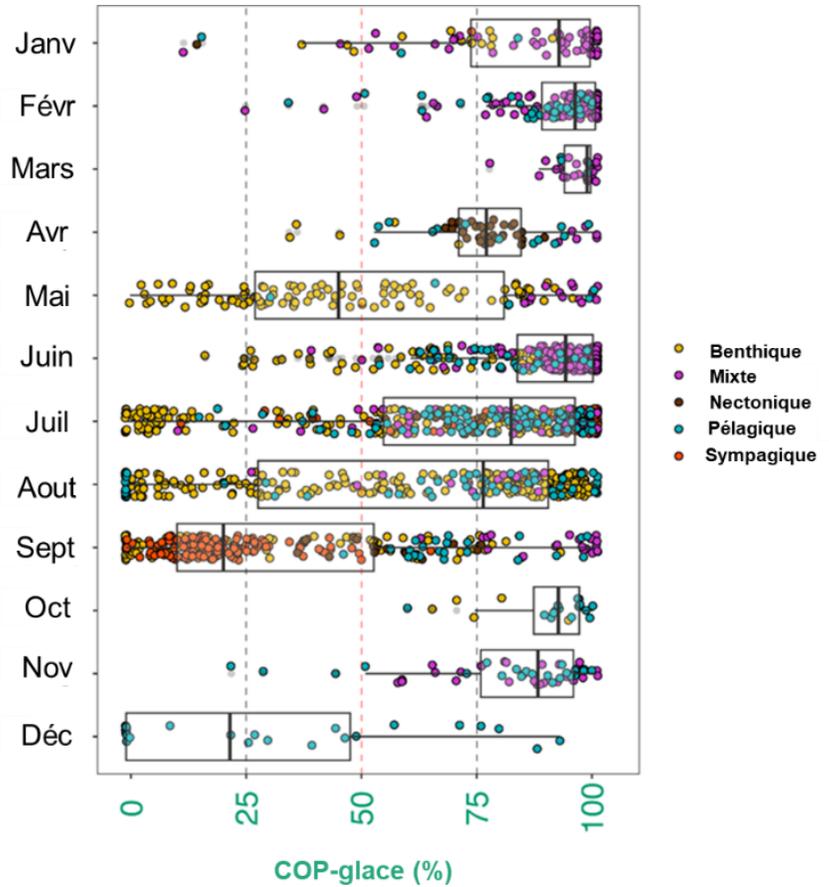


Figure 23. Teneur en carbone organique particulaire de la glace de mer (COP-glace, 0 à 100 %) des consommateurs de l'Arctique par mois pour tous les individus échantillonnés entre 1982 et 2019. Les points de données représentent des échantillons distincts et sont colorés pour indiquer les affectations d'habitat qui comprennent les espèces benthiques, nectoniques, mixtes (consommateurs benthiques et pélagiques), pélagiques et sympagiques. Une forte utilisation du carbone organique particulaire provenant de la glace de mer a été observée tout au long de l'année (source : Koch *et al.* 2023).

mer sur le plancher océanique sont probablement responsables de la « remobilisation » de ce carbone tout au long de l'année et de son transfert vers le haut du réseau trophique jusqu'aux superprédateurs par le biais des relations trophiques réticulées dans les réseaux alimentaires de l'Arctique.

La réduction de l'étendue de la glace de mer en été dans certaines régions de l'Arctique canadien et l'évolution de sa phénologie ont des répercussions sur le fonctionnement de l'écosystème en raison de son influence sur la productivité primaire. Une incertitude existe quant à la capacité d'adaptation des animaux dont le cycle biologique et les comportements de recherche de nourriture ont évolué avec la phénologie de la production primaire dérivée des glaces. Par exemple, le morse de l'Atlantique (*Odobenus rosmarus rosmarus*) se nourrit principalement de bivalves sur le plancher océanique. Une diminution importante à l'échelle décennale de près de 75 % de la contribution du carbone de la glace de mer à cette espèce benthivore s'est produite dans le bassin Foxe (latitude moyenne de l'Arctique) entre 1982 et 2016, en association avec une diminution de 18 % de la concentration de la glace de mer (Figure 24; Yurkowski *et al.* 2020). En revanche, malgré un pourcentage similaire de réduction de la glace de mer dans le détroit de Jones (Extrême-Arctique), le morse de l'Atlantique a maintenu une forte utilisation du carbone de la glace de mer (98 % en 1996 et 89 % en 2006). La position trophique du morse de l'Atlantique n'a pas changé de façon significative au fil du temps dans l'un ou l'autre des emplacements (Yurkowski *et al.* 2020). Cela laisse entendre qu'il y aura une variabilité spatiale dans la façon dont les organismes réagissent aux changements climatiques dans le couplage de la glace de mer et des habitats benthiques, et aux modifications connexes de la dynamique énergétique du carbone à la base du réseau trophique.

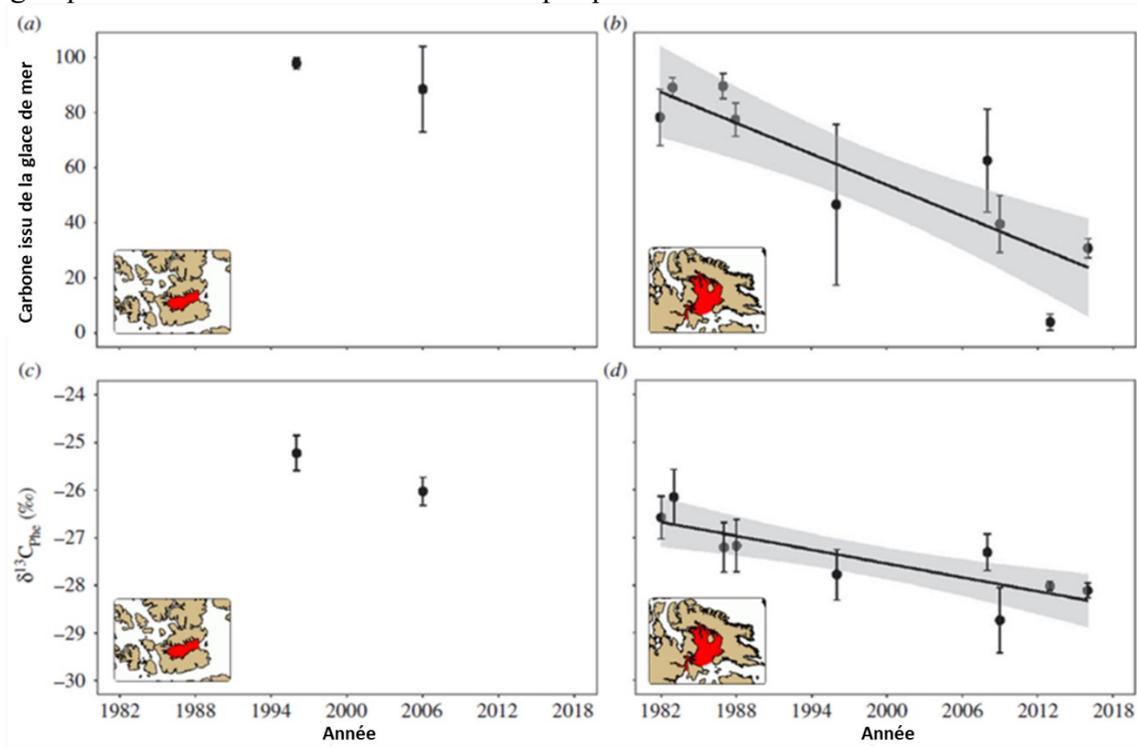


Figure 24. Les tendances temporelles de l'utilisation du carbone issu de la glace de mer (%) et de la phénylalanine ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Phe}}$) mesurées chez le morse de l'Atlantique dans le détroit de Jones (a, c) et le bassin Foxe (b, d). La phénylalanine est plus élevée avec une utilisation accrue du carbone issu de la glace de

mer. Les emplacements du détroit de Jones et du bassin Foxe sont indiqués en rouge sur les cartes en médaillon. Des régressions linéaires (lignes noires) avec des intervalles de confiance à 95 % (zones grises) ont été effectuées sur les valeurs annuelles moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart-type (source : Yurkowski *et al.* 2020).

ÉTUDE DE CAS 4 : Plongée en profondeur pour le repas

La souplesse dans le régime alimentaire et l'utilisation de l'habitat sont considérées comme des variables fondamentales qui protègent les mammifères marins de l'Arctique contre les effets ascendants des changements climatiques, permettant aux animaux d'adapter leurs comportements de recherche de nourriture pour satisfaire leurs besoins énergétiques face aux modifications de la répartition et de l'abondance des proies (Laidre *et al.* 2008).

Pour la première fois, des profils de plongée ont été obtenus sur une année entière grâce à des bélugas de l'est de la mer de Beaufort marqués et ont été caractérisés à l'aide de mesures du temps et de la profondeur. Huit types de plongée ont été déterminés pour les bélugas mâles marqués en 2018 et 2019 (Figure 25; Storrie *et al.* 2022a). Les structures temps-profondeur des plongées ont révélé que les bélugas de l'est de la mer de Beaufort se nourrissaient toute l'année, mais avec des stratégies variées selon la région et la saison. Les bélugas ont effectué des plongées profondes (environ 450 m) jusqu'au fond marin pendant l'été, alors qu'ils occupaient la mer de Beaufort et le détroit du Vicomte de Melville, et ont effectué leurs plongées les plus profondes (environ 1 000 m) le long du talus de Beaufort au printemps. En revanche, ils ont effectué des plongées moins profondes (environ 50 m) jusqu'à la fin de l'automne et l'hiver. Les différences dans la fréquence et la structure de ces plongées ainsi que les études publiées sur le régime alimentaire et la répartition des proies du béluga (Quakenbush *et al.* 2015; Choy *et al.* 2020; Majewski *et al.* 2013, 2017) permettent de mieux comprendre les coûts et les gains énergétiques de la recherche de nourriture. Les plongées plus profondes et plus longues en été sont énergiquement coûteuses, mais elles ciblent probablement la morue polaire riche en lipides. L'alimentation hivernale en eau peu profonde coûte moins cher sur le plan énergétique, mais elle peut être moins avantageuse, car les études sur l'alimentation laissent penser que des proies de moindre qualité, comme les invertébrés, sont ciblées à ce moment (Quakenbush *et al.* 2015). La structure, la fréquence et l'association avec les variables environnementales appuient l'utilisation d'autres types de plongée pour la récupération, le transit et la navigation à travers la glace de mer (Storrie *et al.* 2022a). La souplesse apparente dont font preuve les bélugas de l'est de la mer de Beaufort dans leurs stratégies de recherche de nourriture fournit une base de référence importante pour surveiller les modifications possibles de ce comportement qui peuvent être associées aux changements environnementaux et à l'évolution des assemblages de proies.

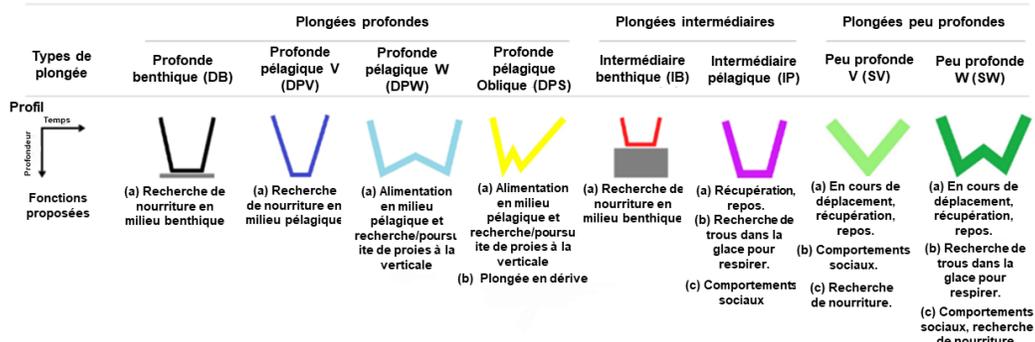


Figure 25. Les types de plongée du béluga sont résumés par leurs profils bidimensionnels, le temps et la profondeur étant indiqués par les axes vertical et horizontal, respectivement. La fonction hypothétique de chaque type de plongée est inscrite sous le profil de plongée, les lettres a) à c) indiquant la probabilité que la spéculation soit exacte, de la plus élevée à la plus basse (source : Storrie *et al.* 2022a, voir la référence pour la justification des fonctions proposées).

Une caractéristique unique aux latitudes élevées est le caractère saisonnier extrême des cycles de la lumière, ce qui signifie que les animaux qui occupent ces latitudes connaissent le soleil de minuit, la nuit polaire et les cycles quotidiens de lumière et d'obscurité à différents moments de l'année. Au cours de la période où il faisait jour 24 heures sur 24, le comportement des bélugas ne suivait pas de cycle nycthéral. Les bélugas effectuaient des plongées profondes vers le fond marin pour se nourrir ou se reposaient à des heures irrégulières sur une période de 24 heures (Storrie *et al.* 2022b). Mais lorsque le soleil a commencé à se coucher à l'automne, les bélugas ont commencé à présenter des cycles de comportements nycthéraux distincts. Ils effectuaient des plongées progressivement moins profondes entre la base de la thermocline et la surface pendant les heures d'obscurité, lorsque le soleil se trouvait plus bas sous l'horizon, et des plongées plus profondes, ou sinon se reposaient, pendant les heures de clarté. Cependant, les modèles de comportement nycthéral étaient complexes et liés à la profondeur du plancher océanique ainsi qu'à la structure thermique de la colonne d'eau. Les bélugas ont mis fin aux cycles de comportement nycthéral à des profondeurs inférieures à 700 m. Les profondeurs de plongée des bélugas étaient probablement liées à la répartition de leurs proies, de sorte que l'information sur leurs comportements de plongée donne un aperçu des migrations verticales nycthérales des espèces de proies dans la région sous-étudiée de l'océan Arctique central. Bien que les cycles de lumière du jour et de la nuit et les migrations verticales nycthérales connexes des proies puissent moduler les cycles comportementaux d'un prédateur dans certaines conditions, les interactions complexes de facteurs abiotiques avec le régime lumineux peuvent les modifier. Par conséquent, la vision traditionnelle d'un lien étroit et omniprésent entre les comportements de plongée des prédateurs et les migrations verticales nycthérales des proies simplifie trop les interactions verticales prédateur-proie.

À l'instar du béluga, les comportements de recherche de nourriture de la baleine boréale de l'est du Canada et de l'ouest du Groenland varient selon la saison quant à la profondeur, au temps consacré à la recherche de nourriture et à la couverture de glace de mer (Fortune *et al.* 2023). Au printemps et en été, dans leur habitat situé dans l'archipel arctique canadien et l'ouest de la baie de Baffin, les baleines boréales ont effectué des plongées de recherche de nourriture épipelagiques de moins de 200 m, vraisemblablement sur des rassemblements de zooplancton, de mysidacés, d'euphausiacés et de chétognathes se nourrissant près de la surface (Fortune *et al.* 2020a, b, 2023). En hiver, les baleines boréales ont effectué des plongées mésopelagiques plus profondes (plus de 400 m), coïncidant avec des rassemblements profonds d'espèces du genre *Calanus* à des étapes à haute énergie et en diapause (c.-à-d. en période de développement interrompu) de leur cycle de vie (Fortune *et al.* 2020a, b, 2023).

La baleine boréale utilise la filtration en continu par nage à bouche grande ouverte pour se nourrir sur des parcelles denses de zooplancton dans la colonne d'eau. Pendant une plongée d'alimentation, elle peut se déplacer très lentement (moins de 1 m s^{-1}), ce qui lui permet de se nourrir continuellement, filtrant environ 2 000 tonnes d'eau et de proies par plongée (Simon *et al.* 2009). Son comportement de plongée est caractérisé par trois catégories, y compris les plongées en V, qui sont utilisées pour localiser des parcelles denses de zooplancton, et les plongées en U et en forme de carré, qui sont utilisées pour cibler des parcelles de proies. L'espèce utilise différents types de plongées pour cibler des parcelles denses de zooplancton dans la colonne d'eau, en fonction de leur répartition verticale. Au printemps et en été, les plongées en forme de carré étaient les plongées dominantes (68 à 71,8 %), suivies des plongées

en forme de U (20,7 à 22 %) et en forme de V (7,0 %; Fortune *et al.* 2020a; Pontbriand *et al.* 2023). En toutes saisons, les baleines boréales ont choisi un habitat où la couverture de glace de mer était relativement élevée (65 % et 90 % respectivement en été et en hiver) et n'ont consacré qu'une petite partie de leur journée à la recherche de nourriture (11 à 30 %; Fortune *et al.* 2020a, 2023).

La baleine boréale dépend de la consommation d'espèces de copépodes riches en lipides comme *C. hyperboreus* et *C. glacialis*. Cependant, la répartition du zooplancton est sensible aux changements de température, de salinité, de vitesse des courants et de couverture de glace de mer (Oziel *et al.* 2020; Ershova *et al.* 2021). Il existe des données indiquant une certaine redistribution des étapes du cycle de vie des espèces du genre *Calanus* dans le centre de l'Arctique en réaction à l'emplacement du front des glaces de mer (Ershova *et al.* 2021). Cependant, il n'existe actuellement aucune donnée probante de changements à grande échelle de la répartition et d'une variation de l'abondance relative des principales espèces de zooplancton dans les eaux canadiennes, comme on l'a signalé pour certaines eaux (c.-à-d. la baie de Disko) près du Groenland (Møller et Nielsen 2020). On ne comprend toujours pas bien si les copépodes peuvent avoir de la difficulté à répondre à leurs besoins énergétiques. La plasticité des comportements de dispersion et de recherche de nourriture peut être essentielle à l'adaptation de la baleine boréale si la répartition de ses proies change à l'avenir (Fortune *et al.* 2023). De plus, la profondeur de plongée d'alimentation des baleines boréales individuelles et des traceurs alimentaires mesurés dans leurs tissus variait entre l'archipel Arctique canadien et l'ouest de la baie de Baffin. Lorsque les individus de l'archipel Arctique canadien étaient rassemblés, ils affichaient une augmentation mensuelle de la profondeur de plongée qui suivait probablement la migration descendante saisonnière des copépodes en diapause, tandis que les individus qui utilisaient l'ouest de la baie de Baffin présentaient des profondeurs de plongée de recherche de nourriture plus constantes entre les mois (Figure 26 b, c; Pontbriand *et al.* 2023). La profondeur médiane des plongées en forme de carré s'est révélée être le meilleur prédicteur de valeurs stables de l'azote et du carbone, qui tracent le niveau trophique et la source de carbone des consommateurs, respectivement. Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et de $\delta^{13}\text{C}$ chez les baleines boréales ont diminué à mesure que la profondeur médiane des plongées en forme de carré s'est approfondie, ce qui suggère que l'espèce a la capacité de suivre les variations de la répartition de ses proies au moyen de longues migrations saisonnières et de tirer parti de différentes sources de proies en fonction de la disponibilité locale. Cependant, certains individus qui restent limités dans leurs mouvements horizontaux et qui maintiennent un régime alimentaire relativement restreint peuvent être plus vulnérables aux changements de répartition des proies induits par le climat, le cas échéant. Ces connaissances améliorées sur la recherche de nourriture par des mammifères marins fournissent des renseignements précieux sur la façon dont le béluga et la baleine boréale accèdent à leurs ressources et répartissent leur énergie dans des environnements variables et changeants.

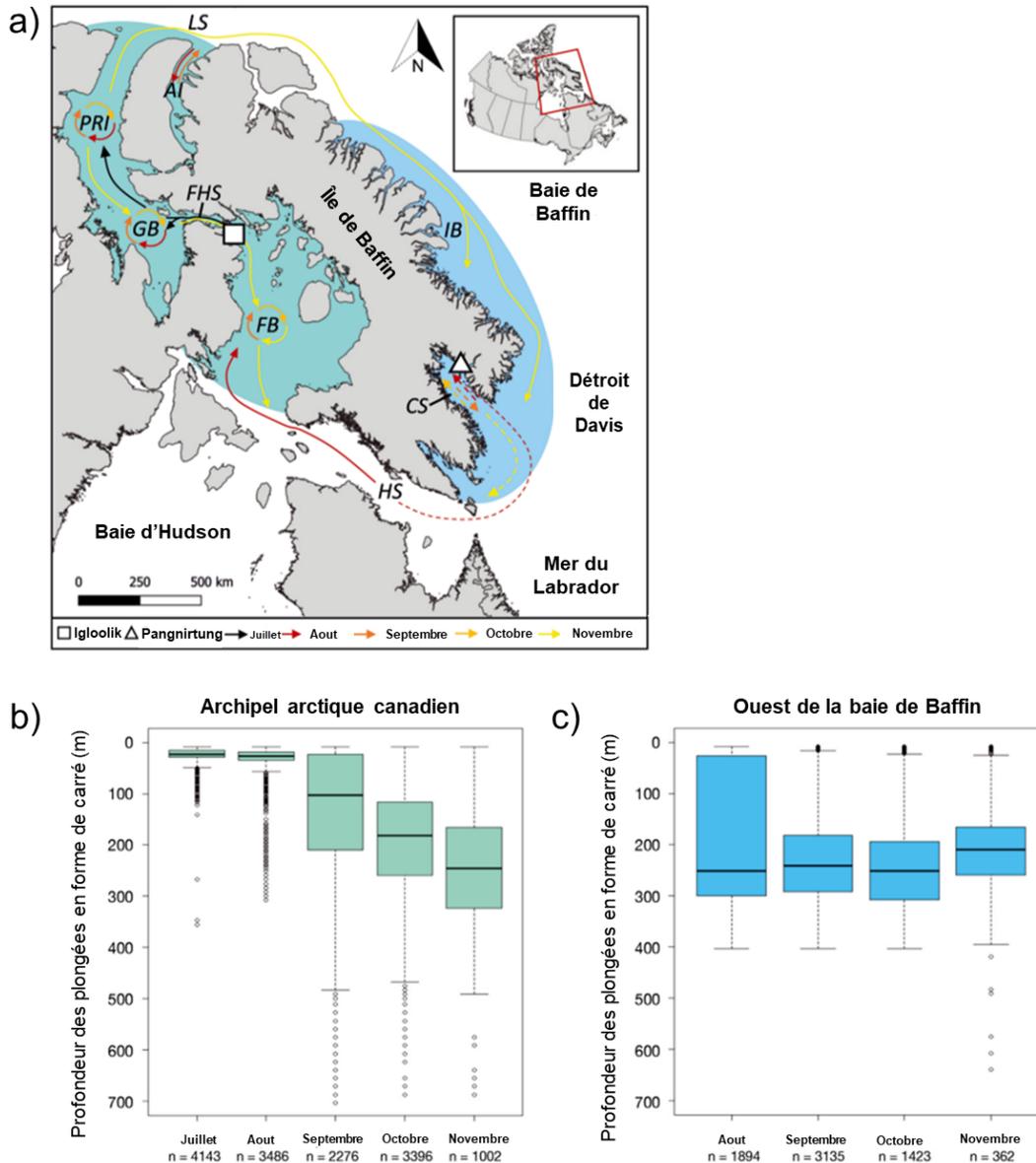


Figure 26. Endroits où 16 baleines boréales ont été marquées à Igloolik (carré blanc) et à Pangnirtung (triangle blanc) en 2012, 2013 et 2016 (a). Les zones océaniques ombragées représentent les deux principaux habitats utilisés par l'espèce en été, soit l'archipel Arctique canadien en vert et l'ouest de la baie de Baffin en bleu. Les flèches représentent les habitudes de déplacements mensuels généraux des baleines après leur marquage. Les baleines boréales qui utilisaient l'archipel Arctique canadien affichaient une augmentation mensuelle de la profondeur de plongée qui a probablement suivi la migration descendante saisonnière des copépodes en diapause (b), tandis que les individus qui utilisaient la baie de Baffin présentaient des profondeurs de plongée de recherche de nourriture plus constantes entre les mois (c). Le nombre total de plongées détectées est indiqué pour chaque mois sous l'axe des x. Sur la carte, AI : bras Admiralty; CS : baie Cumberland, FB : bassin Foxe; FHS : détroit de Fury et Hecla; GB : golfe de Boothia, HS : détroit d'Hudson, LS : détroit de Lancaster; PRI : bras Prince Regent (source : Pontbriand *et al.* 2023).

4.4 Liens avec l'habitat

La présente section réunit les connaissances et les tendances actuelles en ce qui concerne les liens entre les organismes marins de l'Arctique et leurs différents habitats. Les principaux habitats marins sont le benthos (plancher océanique), la glace de mer de différents types et la colonne d'eau elle-même, qui est très dynamique. Les caractéristiques de ces habitats peuvent varier entre les zones côtières, les plateaux continentaux, les talus et les bassins plus profonds. Les sections et les études de cas suivantes traitent des connaissances actuelles sur la façon dont les habitats sont utilisés ou formés (p. ex. les habitats biogènes) et indiquent la façon dont un habitat peut affecter la structure et le fonctionnement d'un autre habitat.

4.4.1 Glace de mer

La glace de mer est un habitat essentiel pour les espèces dépendantes de la glace (annexe A). Le phoque annelé (*Phoca hispida*) creuse des tanières dans des bancs de neige compactés sur la glace marine de rive afin d'offrir une protection contre les prédateurs pendant la mise bas et l'allaitement. Les échoueries de phoques et de morses sur la glace de mer sont nécessaires pour les comportements routiniers et essentiels, y compris le repos, la mue annuelle et la mise bas. La glace de mer est également un habitat de chasse essentiel pour l'ours polaire, y compris les chenaux de séparation et les polynies qui peuvent être utilisées comme corridors de déplacement (Henderson et Derocher 2022). Bien que des collectivités signalent que la glace de mer change, notamment une glace de mer plus mince, des polynies plus grandes, des changements de l'emplacement de la lisière des floes (plus près de la côte), ainsi qu'une débâcle plus précoce et une prise des glaces plus tardive, les Inuits Qaujimaqatungit de Pangnirtung et de Kimmirut indiquent que le *nanuq* (ours polaire) de la sous-population du détroit de Davis est très adaptable aux changements de l'habitat et de la glace de mer (Tomaselli *et al.* 2022).

Les habitats de glace de mer soutiennent également diverses communautés microbiennes qui jouent un rôle essentiel dans le cycle du carbone océanique et contribuent de façon importante à la base du réseau trophique marin (Mundy et Meiners 2021). Tout au long de l'année, la glace de mer saisonnière et de plusieurs années contient de l'eau liquide où peut exister une vie microbienne. Les canaux d'eau saumâtre à forte salinité (inclusions), les bassins d'inondation de surface et les mares d'eau de fonte de surface contiennent divers assemblages d'algues (plus de 1 000 espèces; Poulin *et al.* 2011), des bactéries (p. ex. genres *Octadecabacter*, *Polaribacter* et *Glaciecola*), des brouteurs eucaryotes unicellulaires (p. ex. ciliés et flagellés) et du zooplancton de petite taille. Dans le nord-ouest de la baie d'Hudson, l'utilisation d'outils moléculaires a récemment montré que l'habitat de glace de mer était utilisé par des nématodes et des copépodes tolérants au sel dont la taille était supérieure à 10 µm, et ce, dans une plus grande mesure que prévu, bien que l'utilisation de l'habitat ait été très variable dans l'espace et le temps (Campbell *et al.* 2022).

En tant qu'habitat temporaire et mobile, la glace de mer influe sur tous les autres habitats océaniques. L'interaction entre les habitats peut être directe comme l'érosion du fond marin par la glace (Hatcher *et al.* 2021), la fonte des glaces contrôlant la structure de l'habitat de la couche

de surface de l'océan (étude de cas 11), ou le dépôt de ressources associées à la glace dans la colonne d'eau et les habitats benthiques (étude de cas 3). La glace de mer et la couverture de neige qui y est associée contrôlent la quantité d'énergie solaire et éolienne et le moment de leur apparition (Rosenblum *et al.* 2022; Vérin *et al.* 2022; étude de cas 7), et l'échange de gaz (étude de cas 1) qui se produit dans les habitats côtiers, de la colonne d'eau et du fond marin, ce qui a une incidence sur la présence et la répartition de la vie marine. Cette interaction entre les habitats a changé au cours des dernières décennies et peut avoir de profondes répercussions sur l'ensemble des écosystèmes. À l'échelle des espèces et des individus, les changements dans les interactions entre les habitats peuvent avoir une incidence sur la répartition et la disponibilité des ressources, ce qui peut avoir des conséquences sur la reproduction et la viabilité de la population.

L'interaction entre la glace de mer et l'habitat en eaux libres peut jouer un rôle important dans la reproduction des espèces d'oiseaux de mer en ayant une incidence sur l'habitat et la disponibilité des ressources. Toutefois, la façon dont la glace de mer influe sur la reproduction et l'alimentation peut varier d'une espèce à l'autre. Le guillemot de Brünnich (*Uria lomvia*) et le fulmar boréal (*Fulmarus glacialis*) comptent parmi les espèces d'oiseaux de mer les plus abondantes dans l'Arctique canadien pendant l'été; ils dépendent tous deux d'une alimentation intensive juste avant la reproduction pour produire un seul œuf. Par contre, ces espèces ont des stratégies contrastantes de recherche de nourriture en mer qui influent sur la mesure dans laquelle la glace de mer a une incidence sur l'alimentation et la reproduction qui en résulte. Le guillemot de Brünnich choisit un lieu de reproduction où il y a de la glace de mer et plonge pour capturer des poissons et du macrozooplancton à la lisière des glaces. La glace de mer peut donc être avantageuse pour la recherche de nourriture et la production d'œufs si un nombre suffisant de chenaux ou de fissures donnent accès à des proies riches en nutriments associées à la glace. Par exemple, la densité des guillemots de Brünnich qui se nourrissent le long de la zone de glace marginale dans la baie de Baffin était positivement corrélée avec l'abondance de la morue polaire juvénile, une proie favorite, qui se rassemble dans la zone épipelagique sous la glace de mer (LeBlanc *et al.* 2019). Dans la baie d'Hudson, une colonie de guillemots de Brünnich a déplacé son aire de répartition vers des régions où les températures de surface de la mer sont demeurées suffisamment froides pour favoriser leurs proies associées à la glace, alors que la température de l'air et la diminution de la couverture de glace de mer permettaient un meilleur accès à ces proies (Patterson *et al.* 2021). De plus, les œufs produits par les guillemots de Brünnich dans le refuge d'oiseaux migrateurs de l'île Prince Leopold étaient plus gros, plus denses sur le plan énergétique et contenaient des proportions plus élevées d'acides gras issus de la glace au cours des années où la couverture de glace était plus étendue, mais seulement lorsque la glace près de la colonie était fragmentée en floes, contrairement aux années où les guillemots étaient forcés de parcourir des centaines de kilomètres jusqu'à la lisière de glace la plus proche (Figure 27; Cusset *et al.* 2019). Ces observations laissent croire que l'espèce adapte sa recherche de nourriture et sa reproduction à l'état des glaces près du site de la colonie. En revanche, le fulmar boréal se nourrit de façon opportuniste à la surface de l'océan, choisit un lieu de reproduction dans des eaux avec ou sans glace, et parcourt souvent des distances beaucoup plus longues que le guillemot de Brünnich pour se nourrir en eaux libres.

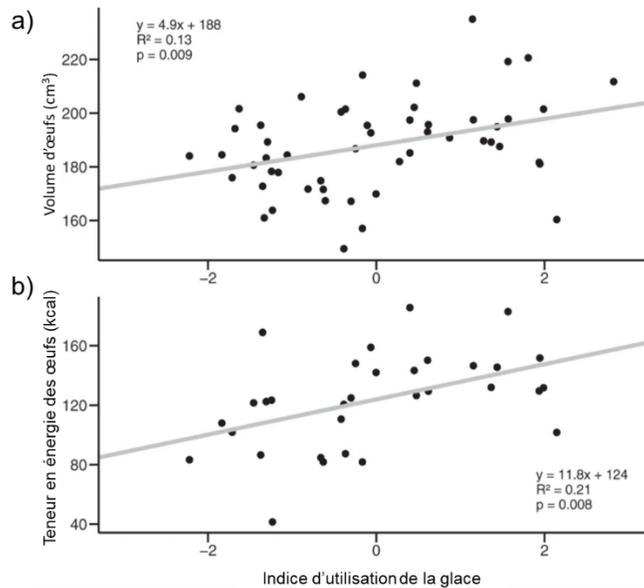


Figure 27. Influence de l'association à la glace (indice d'utilisation de la glace) sur a) le volume (cm^3) et b) la teneur en énergie des œufs de guillemots de Brünnich recueillis entre 2010 et 2013 sur l'île Prince Leopold. Les œufs produits par les guillemots de Brünnich sont devenus beaucoup plus gros et plus denses en énergie avec l'utilisation croissante des ressources alimentaires associées à la glace. (source : Cusset *et al.* 2019).

Dans le refuge d'oiseaux migrateurs de l'île Prince Leopold, les concentrations d'acides gras issus de la glace étaient cinq fois plus faibles dans les œufs de fulmars boréaux que dans ceux de guillemots de Brünnich pendant les mêmes saisons de reproduction, ce qui laisse croire que leurs habitudes de recherche de nourriture n'étaient pas influencées par l'état de la glace près de la colonie, mais que les oiseaux se déplaçaient plutôt vers des aires d'alimentation en eau libre plus prévisibles, sans tenir compte de la couverture de glace (Cusset *et al.* 2019). Toutefois, la glace de mer étendue pourrait avoir une incidence négative sur le succès de reproduction des deux espèces, quelle que soit la stratégie d'alimentation dans certains cas : une couverture de glace plus étendue et consolidée augmente la distance vers les habitats en eau libre, ce qui est associé à une diminution de la fréquentation des colonies pour les fulmars boréaux et à une ponte plus tardive pour les guillemots de Brünnich (Gutowsky *et al.* 2022), ce qui peut entraîner une baisse du succès de reproduction de ces espèces (Gaston *et al.* 2005).

L'interaction entre la glace de mer et l'habitat en eau libre peut donc avoir d'importantes répercussions sur les oiseaux de mer à de multiples stades de leur cycle vital et peut toucher les individus d'une même espèce de différentes façons. Les effets cumulatifs 1) des changements dans la couverture de glace et de la disponibilité des proies et 2) de la capacité des individus à choisir le meilleur moment pour la reproduction peuvent avoir une incidence à plus grande échelle sur le recrutement de la progéniture, avec des effets variant selon l'espèce.

L'habitat saisonnier de glace de mer a une forte influence sur la phénologie de l'écosystème (section 4.5), influençant le moment de la production primaire à la base du réseau trophique, les liens entre les ressources, les brouteurs et les prédateurs, la migration des mammifères marins et le moment de l'activité humaine (section 3.0). Pour les Inuits, la glace de mer est un prolongement de la terre, une infrastructure essentielle au centre de la culture, de la collectivité et

des moyens de subsistance (Angnatok et Laing 2018). La glace de mer, en tant que plateforme, donne aux Inuits un accès à l'océan et à ses ressources, relie les zones de récolte sur terre et sur l'eau, et leur permet d'accéder à des zones historiques et culturelles importantes (Babb *et al.* 2022). Les liens entre la glace de mer saisonnière et d'autres habitats de glace de mer (p. ex. zones de glace de plusieurs années et polynies) peuvent avoir des effets importants sur les points névralgiques de l'écosystème arctique et les tendances liées à la perte de glace de mer (p. ex. étude de cas 5).

4.4.2 Colonne d'eau

La profondeur et la stratification sont deux caractéristiques essentielles qui influent sur l'utilisation de l'habitat de la colonne d'eau. La stratification est un facteur de premier plan pour la productivité des organismes de niveau trophique inférieur et leur utilisation de l'habitat, tandis que la variabilité de l'abondance et de la répartition des poissons et des mammifères marins est plus étroitement associée à la profondeur de la colonne d'eau.

Comme il est décrit à la section 4.2, la productivité primaire se limite à la zone euphotique éclairée par le soleil et à la couche de surface mixte qui nécessite un réapprovisionnement en nitrate des eaux plus profondes. La stratification et le brassage vertical de l'habitat dans la partie supérieure de la colonne d'eau sont influencés en été par l'accumulation d'eau de fonte provenant de la glace de mer et du ruissellement terrestre et fluvial. En hiver, le rejet de saumure de la glace qui gèle crée de la turbulence et peut affaiblir la stratification dans la partie supérieure de la colonne d'eau. Dans l'Arctique canadien, certaines eaux sur les plateaux continentaux subissent un brassage hivernal en profondeur, ce qui permet le réapprovisionnement en nitrate dans les eaux de surface (p. ex. zones de la baie de Baffin). Toutefois, dans les eaux plus profondes comme le bassin Canada, le brassage hivernal ne s'étend pas à la couche du Pacifique et la stratification de surface persiste tout au long de l'année. Les zones extracôtières où la stratification est persistante reçoivent donc un réapprovisionnement plus faible en nitrate dans les eaux de surface, ont une production primaire globale plus faible (c.-à-d. oligotrophe) et sont généralement dominées par le phytoplancton de petite taille. En comparaison, l'habitat aquatique sur les plateaux (environ 200 m de profondeur et moins) est plus productif sur le plan biologique.

Le zooplancton n'est pas limité aux eaux de surface, bien qu'il soit étroitement lié au moment et à l'ampleur de la production primaire (voir la section 4.5). Il est composé d'espèces fourragères cruciales pour les poissons et les mammifères marins et il peut effectuer des migrations quotidiennes et saisonnières (Darnis et Fortier 2014; Schmid et Fortier 2019; Dmitrenko *et al.* 2020) en utilisant tout l'habitat de la colonne d'eau. À l'échelle pancanadienne de l'Arctique (Figure 28), le zooplancton a des assemblages distincts sur les plateaux comparativement aux emplacements océaniques plus profonds, reflétant ses préférences en matière d'habitat de la colonne d'eau, sa répartition verticale et les caractéristiques topographiques qui influent sur la circulation océanique (Darnis *et al.* 2022). Lorsque les habitats du fond jusqu'à la surface sont pris en compte pour l'Arctique canadien, les assemblages de zooplancton (c.-à-d. la biogéographie) reflètent les gradients bathymétriques plutôt qu'un gradient longitudinal du Pacifique à l'Atlantique.

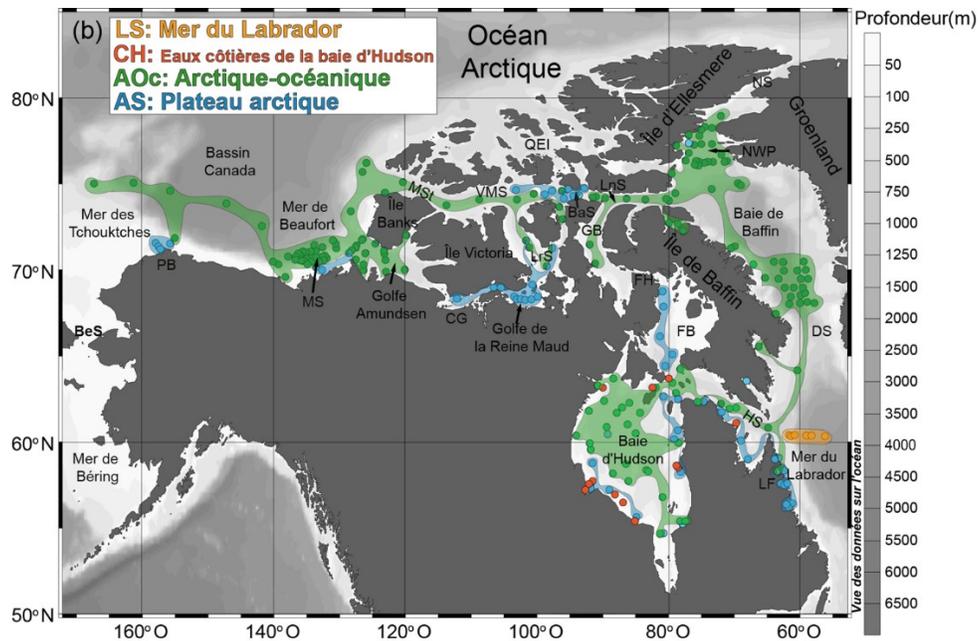


Figure 28. Répartition de quatre grands assemblages de mésozooplancton désignés par l’analyse typologique à 409 stations échantillonnées dans l’Arctique canadien entre 2005 et 2018. Les assemblages de zooplancton reflètent les gradients bathymétriques plutôt qu’un gradient longitudinal du Pacifique à l’Atlantique. Abréviations : détroit de Barrow (BaS), détroit de Béring (BeS), golfe Coronation (CG), détroit de Davis (DS), détroit de Fury et Hecla (FH), golfe de Boothia (GB), détroit d’Hudson (HS), fjords du Labrador (LF), détroit de Lancaster (LnS), détroit de Larsen (LrS), plateau du Mackenzie (MS), détroit de M’Clure (MSt), polynie des eaux du Nord (NWP), détroit de Nares (NS), pointe Barrow (PB), îles de la Reine-Élisabeth (QEI) et détroit du Vicomte de Melville (VMS; source : Darnis *et al.* 2022).

À plus petite échelle, les proliférations phytoplanctoniques sont des caractéristiques temporaires essentielles de l’habitat qui influencent la migration et le choix de l’habitat du zooplancton. Dans la baie de Baffin, *C. glacialis* et *C. hyperboreus* ont été observés effectuant une migration ascendante la nuit vers une prolifération phytoplanctonique de subsurface à des étapes avancées de leur cycle de vie (p. ex. copépodites des stades C4 et C5), mais ils utilisaient différentes parties de la prolifération une fois arrivés. *C. glacialis* restait en périphérie, tandis que *C. hyperboreus* se trouvait au centre de la prolifération (Schmid et Fortier 2019). Cette sélection de l’habitat au sein de la prolifération phytoplanctonique indique des interférences de recherche de nourriture entre ces deux espèces principales ou peut-être des préférences alimentaires pour les microalgues ou le microzooplancton qui peuvent occuper différentes parties de l’emplacement de la prolifération. De récentes observations optiques du réseau dans la baie de Baffin montrent également comment l’utilisation de l’habitat du zooplancton peut varier entre les périodes de couverture glacielle (avant la prolifération), de débâcle (prolifération) et sans glace (après la prolifération), les microalgues et la neige marine influant sur la qualité de l’habitat du zooplancton à des stations peu profondes (p. ex. moins de 100 m, Figure 29; Trudnowska *et al.* 2021). La neige marine se compose d’agrégats gélatineux de grande taille (plus de 500 μm) qui peuvent comprendre des débris (p. ex. boulettes fécales de zooplancton), des matières organiques (p. ex. morceaux de cellules de phytoplancton et leurs exsudats) ou des matières inorganiques (p. ex. sédiments).

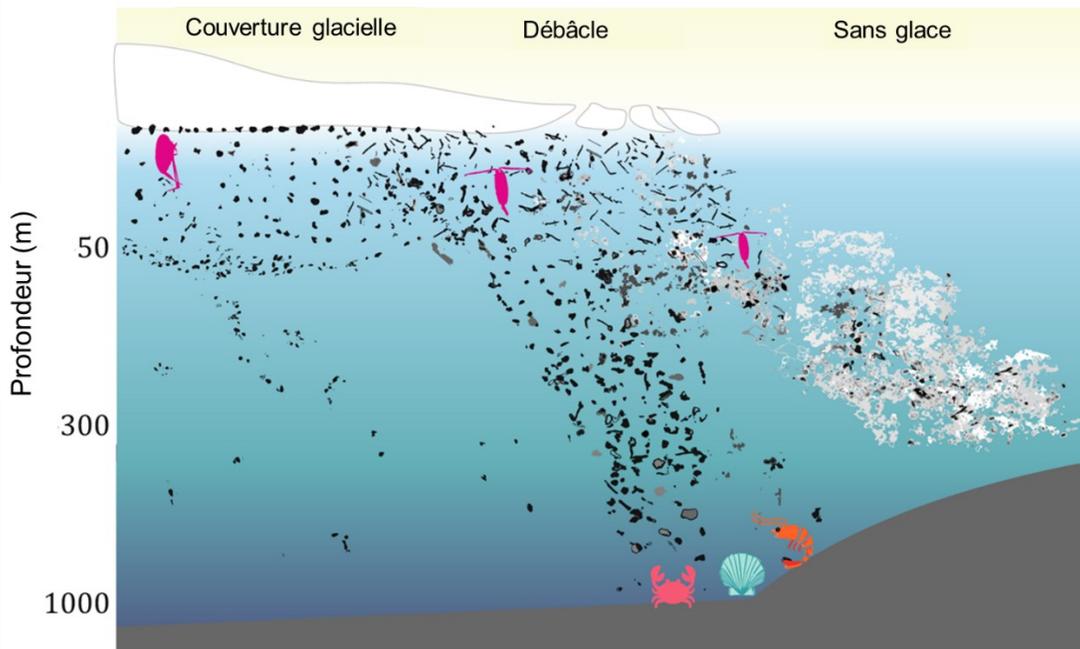


Figure 29. Dessin conceptuel comprenant des images de neige marine captées par un profileur de vision sous-marine déployé dans la baie de Baffin, montrant comment la quantité et la forme des groupes de neige marine modifient l’habitat du zooplancton dans les périodes de couverture glacielle, de débâcle et sans glace (source : adapté de Trudnowska *et al.* 2021).

La connaissance de l’utilisation de l’habitat par les poissons de mer continue de s’élargir dans l’Arctique canadien. La répartition extracôtière des assemblages de poissons dans le golfe Amundsen a récemment été décrite pour la première fois (Majewski *et al.* en préparation). On a constaté que les assemblages de poissons dans le golfe Amundsen étaient étroitement liés aux couches d’eau (c.-à-d. les masses d’eau du Pacifique et de l’Atlantique), bien que de grandes échancrures comme les baies Franklin et Darnley fournissent des habitats uniques pour les poissons qui ne sont pas communs dans les eaux extracôtières du golfe. Les eaux de l’Atlantique forment la couche la plus profonde du golfe Amundsen et soutiennent la plus forte abondance de morues polaires adultes, comparativement aux couches supérieures de la colonne d’eau. La limite entre les couches du Pacifique et de l’Atlantique peut varier en profondeur selon le brassage et le réchauffement qui se produisent dans la couche de surface, créant une variabilité dans la communauté de poissons dans la plage de profondeur de 150 à 200 m (Figure 30).

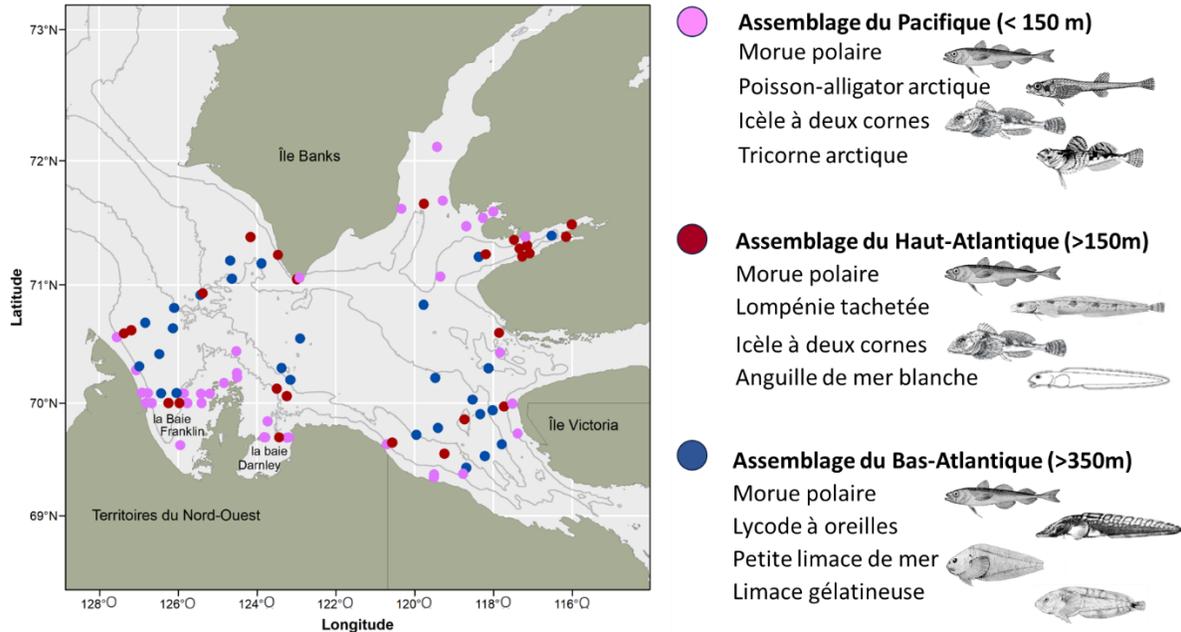


Figure 30. Répartition des assemblages de poissons de mer dans le golfe Amundsen. Des assemblages distincts ont été observés dans les échancrures (c.-à-d. baies Franklin et Darnley) et les masses d'eau du Pacifique et de l'Atlantique (source : Majewski, en préparation).

Bien que la glace de mer soit un habitat important pour de nombreux mammifères marins (voir l'annexe A), les points névralgiques des mammifères marins peuvent être fortement associés aux eaux des plateaux continentaux productifs, dont bon nombre se trouvent dans les eaux canadiennes (Figure 31; Hamilton *et al.* 2022). Les habitudes saisonnières de recherche de nourriture de certains cétacés peuvent être associées à la profondeur de la colonne d'eau et à la structure du plancher océanique (c.-à-d. la bathymétrie). La répartition du béluga se situe près des régions circumpolaires, et la plupart des populations montrent une utilisation saisonnière des habitats estuariens et côtiers en été et se déplacent au large en hiver. On sait que la population de l'est de la mer de Beaufort possède l'une des plus grandes aires de répartition principales connues et peut donc afficher une utilisation plus complexe des habitats que les autres populations. Les bélugas de l'est de la mer de Beaufort migrent au printemps à partir de leurs aires d'hivernage dans la mer de Béring, le long de la côte nord de l'Alaska, vers leurs zones d'estivage dans l'estuaire du Mackenzie, la mer de Beaufort au large et le golfe Amundsen (Fraker 1979; Richard *et al.* 2001). La population de béluga de l'ouest de la baie d'Hudson migre également de son aire d'estivage dans les baies et les estuaires de la baie d'Hudson vers son aire d'hivernage dans les eaux libres du détroit d'Hudson.

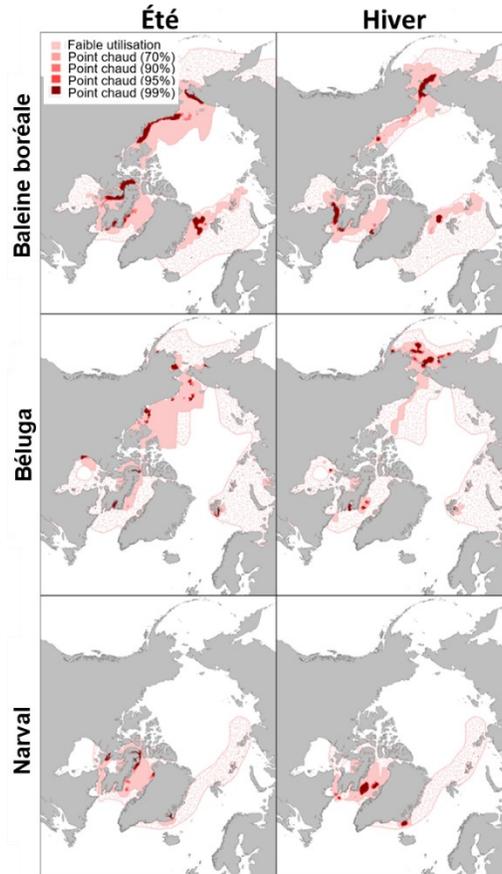


Figure 31. Les points chauds de l'utilisation de l'habitat par la baleine boréale, le béluga et le narval dans l'Arctique circumpolaire pendant l'été (juin à novembre) et l'hiver (décembre à mai) en fonction du nombre d'individus marqués par cellule de grille. Les données de télémétrie utilisées pour montrer les points chauds ont été recueillies de 2005 à 2019. L'intensité croissante du rouge indique des points chauds de plus en plus significatifs sur le plan statistique. Le polygone en pointillés rouges montre l'aire de répartition globale de l'espèce (Liste rouge de l'UICN). De nombreux points chauds mondiaux de l'utilisation de l'habitat par les cétacés de l'Arctique se trouvent dans les eaux canadiennes (source : Hamilton *et al.* 2022).

Les caractéristiques des groupes de bélugas, comme la taille et la composition du groupe, la distance entre les individus et la direction de la nage, ont été comparées entre l'habitat extracôtier de la mer de Beaufort et l'habitat côtier de l'estuaire du Mackenzie. La profondeur de la colonne d'eau a influé sur le type d'activités (c.-à-d. la socialisation et la recherche de nourriture le long des côtes par opposition au déplacement au large), mais la cohésion du groupe a persisté dans les habitats côtiers et extracôtiers (Mayette *et al.* 2022). En plus du type de groupe social (bélugas seuls, groupes d'adultes et groupes avec des juvéniles), la température de l'eau et les caractéristiques bathymétriques (profondeur et pente) permettaient de prédire de façon significative l'utilisation de l'habitat par le béluga en été (Mayette *et al.* 2023). En juillet et en août, les bélugas ont préféré les eaux froides et profondes qui correspondaient à la présence connue de proies (Figure 32), ce qui laisse entendre que la recherche de nourriture est un important facteur d'utilisation de l'habitat dans la mer de Beaufort (Mayette *et al.* 2023). Les plongées dans des habitats profonds et des périodes de déplacement plus longues vers des zones

de glace de mer épaisse sont très coûteuses en énergie. L'utilisation de ces habitats est fort probablement compensée par l'accès à des proies plus énergétiques, qu'il s'agisse de la taille du corps ou des besoins en matière d'allaitement.

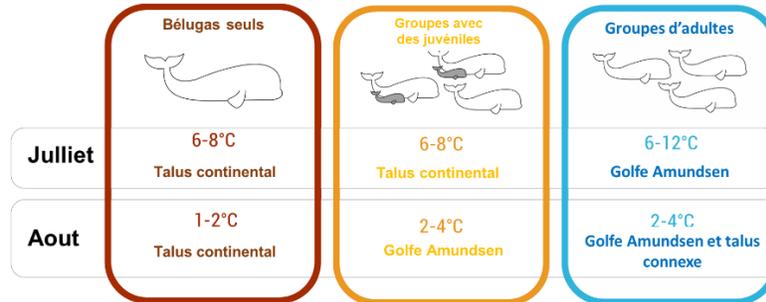


Figure 32. Les préférences en matière d'habitat de trois types de groupes sociaux de bélugas en juillet et en août dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort, qui s'expliquent le mieux par la température de la surface de la mer, la bathymétrie et la pente (source : Mayette *et al.* 2023).

BOÎTE À OUTILS : La télédétection par satellite nous renseigne sur d'importantes différences dans l'habitat en surface dans l'est de la mer de Beaufort

Les observations par satellite sont un outil indispensable pour comprendre les conditions de la glace de mer et de la surface de la mer dans l'Arctique canadien. Les mesures satellitaires de la couleur des océans soutiennent particulièrement les travaux de base en fournissant des renseignements sur la concentration de surface des sédiments et la concentration de chlorophylle *a*, un indice de la biomasse du phytoplancton.

Dix-sept années de données satellitaires (2003 à 2019) sur la concentration de la glace de mer, la température de surface de la mer, les sédiments et la chlorophylle *a* de surface ont montré que l'est de la mer de Beaufort pouvait être divisé en six habitats océanographiques distincts (Figure 33; Hilborn et Devred 2022). La région du delta du Mackenzie a connu la température moyenne la plus élevée, avec un pic d'environ 13,4 °C à la fin de l'été. Les concentrations de matières particulaires les plus élevées ont été observées sur le plateau, tandis que des signes de prolifération phytoplanctonique à la lisière des glaces ont été observés au bord du plateau et dans le bassin Canada. L'habitat du golfe Amundsen présentait un cycle saisonnier distinct du phytoplancton en réponse au forçage hydrodynamique avec un court pic après le retrait de la glace de mer, suivi d'une lente augmentation.

Les analyses des séries chronologiques des données satellitaires n'ont pas révélé de tendances significatives, sauf une diminution de la concentration de la glace de mer et de la charge sédimentaire dans l'habitat du bassin Canada. Il semble contre-intuitif que la température de

surface de la mer n'ait pas montré de tendance au réchauffement étant donné que tout l'océan Arctique se réchauffe rapidement. Par contre, les eaux de surface se sont réchauffées plus tôt dans l'année, ce qui s'est accompagné d'une augmentation des concentrations de sédiments et de chlorophylle *a*. Chacun des six habitats a réagi différemment au retrait saisonnier de la glace de mer. On a également constaté une corrélation négative entre la température et la concentration de la glace de mer dans les six zones, ce qui indique que la température de l'eau de surface et la concentration de la glace de mer de l'est de la mer de Beaufort ont réagi au forçage mondial. Cependant, la dynamique des sédiments et de la chlorophylle *a* a montré des réponses et des modèles saisonniers différents aux facteurs environnementaux dans l'ensemble des habitats, de sorte que plus les habitats étaient éloignés les uns des autres, plus la différence quant aux réponses saisonnières était grande (Hilborn et Devred 2022).

Les réponses de l'habitat dans l'est de la mer de Beaufort aux changements climatiques ne concordent pas nécessairement avec les observations pour l'ensemble de l'océan Arctique, ce qui met l'accent sur la nécessité de tenir compte des effets locaux sur l'habitat lorsqu'on étudie les changements de l'écosystème et les répercussions possibles sur les collectivités du Nord. Les données satellitaires sont un outil utile pour décrire l'environnement de la surface océanique. Dans l'est de la mer de Beaufort, l'évaluation des données satellitaires a fourni de nouveaux renseignements sur les habitats et la productivité (Galley *et al.* 2022; Hilborn et Devred 2022) et pour la recherche sur les mammifères marins en déterminant si l'habitat convient au béluga dans la région du delta du Mackenzie (Noel *et al.* 2022; voir la section 7.3).

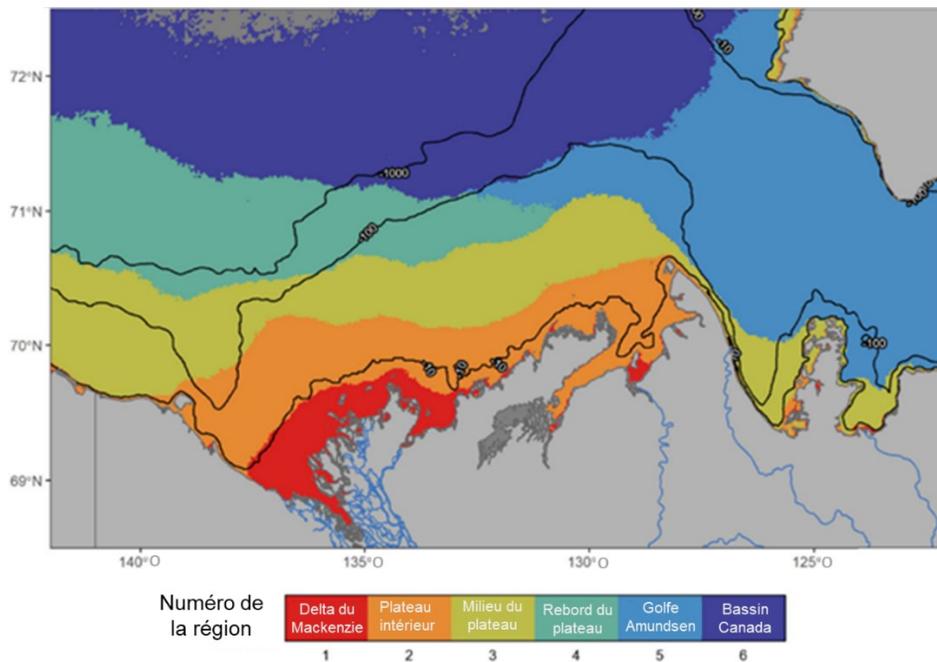


Figure 33. Les six habitats océanographiques de l'est de la mer de Beaufort désignés à partir de 17 années (2003 à 2019) de données de télédétection par satellite de la température de surface de la mer et de la concentration de matières particulaires en suspension (c.-à-d. sédiments et chlorophylle *a*). Les lignes noires pleines correspondent aux isobathes de 10, 100 et 1 000 mètres (source : Hilborn et Devred 2022).

4.4.3 Habitats benthiques et biogènes

Certains groupes d'organismes benthiques créent des structures biologiques supplémentaires sur le fond marin qui constituent elles-mêmes un habitat pour d'autres espèces et qui font partie intégrante de la fonction écosystémique. Dans les zones côtières de l'Arctique, ces habitats biogènes comprennent des habitats végétalisés peu profonds dominés par de la zostère marine, du varech ou de grandes macroalgues brunes (Figure 34). La répartition de ces forêts marines devrait changer à mesure que les eaux côtières se réchauffent et que la couverture de glace diminue (étude de cas 6). Dans les environnements polaires profonds, les

rassemblements denses de coraux d'eaux froides formant des structures (p. ex. gorgones, pennatules) et les éponges sont également considérés comme des ingénieurs écologiques. Les coraux et les éponges des grands fonds augmentent la complexité structurelle des habitats en eaux profondes et élargissent la disponibilité des microhabitats pour les poissons et les invertébrés en modifiant l'environnement physique (Buhl-Mortensen *et al.* 2010; Neves *et al.* 2015). En outre, en raison d'aspects de leur cycle biologique (croissance lente, longue vie) ou de caractéristiques structurelles (fragilité, croissance verticale) bon nombre de coraux et d'éponges sont considérés comme des indicateurs des écosystèmes marins vulnérables qui sont particulièrement sensibles aux effets néfastes des dommages mécaniques causés par les engins de pêche entrant en contact avec le fond (Fuller *et al.* 2008).

Habitat biogène : Un habitat biogène est composé de structures ou d'environnements physiques uniques créés par des organismes vivants. Il peut s'agir des organismes eux-mêmes, comme dans le cas d'un herbier marin ou d'un récif corallien, ou de structures créées par des organismes comme les terriers. Habituellement, la création d'un habitat biogène dépend de l'abondance et de la densité locales des espèces en question. Par exemple, quelques laminaires ici et là ne sont pas assez denses pour créer un environnement très différent de celui qui les entoure. Cependant, un grand nombre d'entre elles rassemblées crée une forêt offrant un habitat biogène complexe qui séquestre le carbone, abrite d'autres êtres vivants et fournit des microhabitats et des sources de nourriture uniques et, par conséquent, soutiennent les communautés côtières avec une plus grande biodiversité que celles des habitats extracôtiers à proximité (Krause-Jensen *et al.* 2016; Teagle *et al.* 2017).

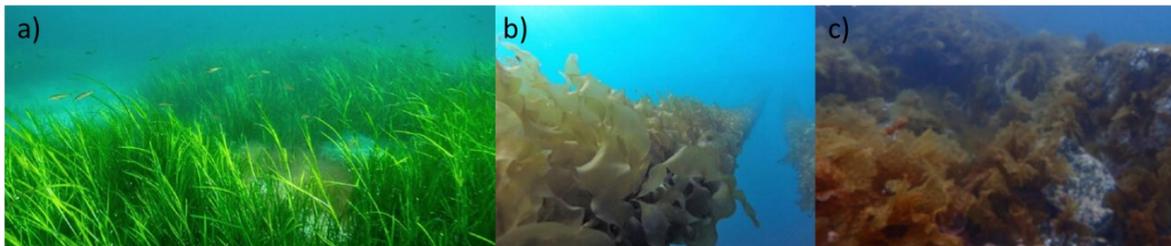


Figure 34. Exemples de macroalgues formant des habitats structurels importants dans l'Arctique canadien : a) zostère marine (*Zostera marina*; source : Howarth *et al.*); b) laminaire sucrée (*Saccharina latissima*; source : Boldreel *et al.* 2023); c) substrat rocheux dominé par *Agarum clathratum* (source : Filbee-Dexter *et al.* 2022a).

Les espèces constituant un habitat dans les eaux profondes, comme les coraux et les éponges (Figure 35) sont également vulnérables aux changements environnementaux associés au climat et à d'autres répercussions liées aux activités humaines (p. ex. interactions avec la pêche) en raison de leurs caractéristiques structurales, de leur nature sessile et des caractéristiques de leur cycle biologique. Par conséquent, des efforts considérables ont été déployés pour détecter les rassemblements importants de coraux et d'éponges dans l'Arctique canadien, délimiter leur répartition et déterminer leurs exigences environnementales. Les coraux et les éponges semblent être plus courants dans l'est de l'Arctique que dans la mer de Beaufort, le golfe Amundsen et l'ouest de l'archipel (Roy *et al.* 2015a). Toutefois, il existe beaucoup plus de données sur leur répartition dans l'est de l'Arctique en raison des relevés plurispécifiques au chalut de fond effectués chaque année par le MPO et la Northern Shrimp Research Foundation pour évaluer le flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*), la crevette nordique (*Pandalus borealis*) et la crevette d'Ésope (*P. montagui*) dans la baie de Baffin, le détroit de Davis et la baie d'Ungava. Les registres des prises effectuées lors de ces relevés ont servi à déterminer des concentrations importantes de coraux et d'éponges (Kenchington *et al.* 2016), modéliser et prévoir la qualité de l'habitat (Beazley *et al.* 2016) et caractériser les assemblages d'éponges (Murillo *et al.* 2018). Pour les grandes gorgones, des concentrations importantes et une qualité élevée de l'habitat sont observées dans des zones profondes du talus continental à l'est du cap Chidley à l'entrée du détroit d'Hudson et dans le sud de la baie de Baffin, tandis que des petites colonies de gorgones sont plus répandues autour du détroit de Davis (Beazley *et al.* 2016; Kenchington *et al.* 2016). Un habitat de grande qualité et de vastes champs de pennatules sont également présents dans le détroit de Davis, mais aussi plus au nord le long des pentes ouest de la baie de Baffin et de l'entrée du détroit de Lancaster (Beazley *et al.* 2016; Kenchington *et al.* 2016). D'importants lits d'éponges se trouvent dans la baie d'Ungava, le détroit d'Hudson, l'est du cap Chidley et le détroit de Davis (Kenchington *et al.* 2016), bien que l'on prévoie également une bonne qualité de l'habitat tout le long des talus de l'ouest de la baie de Baffin et aux entrées du détroit de Lancaster et du détroit de Jones (Beazley *et al.* 2016). Murillo et ses collaborateurs (2018) ont aussi déterminé que les éponges appartiennent à cinq types d'assemblage distincts fondés sur des tendances de cooccurrence et des exigences environnementales communes. Il s'agit de deux assemblages de grandes espèces constituant des structures, l'un caractérisé par une faune arctique ou adaptée au froid à des profondeurs moyennes dans la baie de Baffin et l'autre par des espèces boréales plus au sud dans le détroit de Davis. L'assemblage le long des talus de l'ouest de la baie de Baffin est caractérisé par des éponges carnivores et siliceuses.

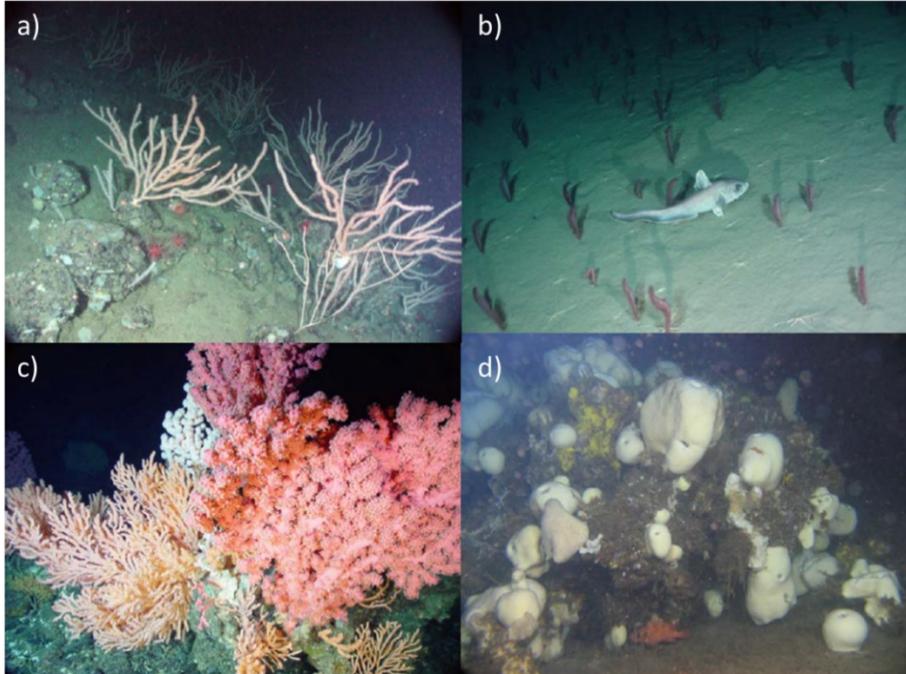


Figure 35. Exemples de taxons de coraux et d'éponges présents dans l'est de l'Arctique (détroit de Davis et baie de Baffin) qui forment d'importants habitats biogènes : a) corail bambou du genre *Keratoisis*; b) champs de pennatulés; c) corail arborescent (*Paragorgia arborea*) et corail de résédas (*Primnoa resedaeformis*); d) éponges du genre *Geodia* (source : Kenchington *et al.* 2011).

Les modèles de qualité de l'habitat mettent souvent en évidence la température au fond, la vitesse des courants de surface et de fond, divers indicateurs de la productivité de surface et de l'approvisionnement alimentaire, et les paramètres de la chimie du carbonate en tant que prédicteurs importants de la répartition des coraux et des éponges des grands fonds dans l'est de l'Arctique canadien et dans l'Atlantique Nord (Beazley *et al.* 2016; Murillo *et al.* 2018; Morato *et al.* 2020). Ces relations sont essentielles pour évaluer dans quelle mesure ces habitats biogènes sont vulnérables aux changements climatiques (p. ex. réchauffement, acidification, changements des modes de circulation actuels et de l'approvisionnement alimentaire). Par exemple, les coraux scléactiniaires (p. ex. les madréporaires solitaires) forment un squelette d'aragonite externe, tandis que les gorgones sécrètent de la calcite de magnésium, ce qui les rend tous deux vulnérables à l'acidification des océans. Bien que l'acidification dans le nord-est de l'Atlantique et la diminution de la disponibilité de la nourriture sur la dorsale médio-atlantique devraient réduire l'habitat du corail scléactiniaire d'ici 2100, on s'attend à des gains d'habitat convenable dans la mer du Labrador et le détroit de Davis en raison du réchauffement (Morato *et al.* 2020). En revanche, la perte prévue d'un habitat convenable pour les gorgones d'ici 2100 dans le détroit de Davis et la mer du Labrador est liée à une exposition accrue à l'acidification des océans qui a une incidence sur la formation des coquilles.

ÉTUDE DE CAS 5 : Arches de glace – défenseures des habitats de glace de mer

Les arches de glace sont d'importantes formations de glace de mer dans l'Arctique canadien. Une arche de glace est un pont de glace solide ancré à une glace stable près de la terre ferme. Elle empêche la glace de mer mobile de s'écouler, ce qui permet aux polynies de se former et de persister à proximité.

On trouve couramment des arches de glace dans l'archipel Arctique canadien (Figure 36) et autour des îles de la baie d'Hudson (Barber et Massom 2007; Babb *et al.* 2022). Une arche de glace forme la frontière nord des eaux du Nord (appelée « sarvarjuaq » en inuktitut et « pikialasorsuaq » en kalaallisut; flèche violette dans la Figure 36), une zone unique d'eaux libres et de glace mince qui soutient une productivité biologique et une biodiversité élevées (Hornby *et al.* 2021). Cette arche de glace de la limite nord se forme lors de la plupart des années dans la partie du bassin Kane du détroit de Nares (Figure 36c). Cependant, on constate des signes d'instabilité croissante de l'emplacement et de la durée de cette importante arche de glace. Pour la première fois depuis le début des observations aériennes dans les années 1950, l'arche de glace qui protège les eaux du Nord n'a pas été bien formée en 2007, puis de nouveau en 2009, 2010, 2017 et 2019 (Vincent 2020). Le blocage du détroit de Nares par l'arche de glace du bassin Kane a diminué de 2,1 jours par année entre 1979 et 2019, de sorte qu'en moyenne, le blocage de l'arche de glace du détroit de Nares était de 177 jours par année avant 2007 et de seulement 128 jours par année après 2007 (Vincent 2019). Pour que l'arche de glace du bassin Kane se forme à la limite nord des eaux du Nord, il faut de la glace de rive stable dans l'est du bassin Kane. Au cours des années où l'arche de glace s'est rompue, de gros morceaux de glace se sont détachés de la glace de rive normalement forte, perturbant le point d'ancrage est de l'arche de glace. L'amincissement de la glace, de fortes marées, l'augmentation des températures de l'air de surface, les forces des vents et de la glace et le réchauffement des eaux océaniques pourraient tous avoir contribué à la diminution de la stabilité et de la prévisibilité des arches de glace dans l'Arctique canadien (Moore et McNeil 2018; Vincent 2020; Kirillov *et al.* 2022).

Polynies : Les polynies sont des zones de glace mince ou d'eaux libres, présentes pendant la période où l'Arctique est couvert de glace (Figure 15). Ce sont des habitats productifs menacés par un réchauffement qui modifie les cycles de la glace de mer, le contenu thermique des océans et l'apport en eau douce. Des changements dans la dynamique de la glace de mer ont entraîné l'observation de nouvelles polynies transitoires à Tuvaijuittuq (le dernier refuge de glace, Moore *et al.* 2021a). Cependant, l'instabilité des polynies récurrentes comme *pikialasorsuaq* (les eaux du Nord) s'accroît. L'instabilité des habitats des polynies a influencé l'établissement humain et la culture depuis la période de l'Holocène (Ribeiro *et al.* 2021) et les polynies actuelles risquent d'être perdues ou considérablement modifiées (Buchart *et al.* 2022), avec des conséquences incertaines pour les réseaux trophiques et les communautés qu'ils soutiennent.

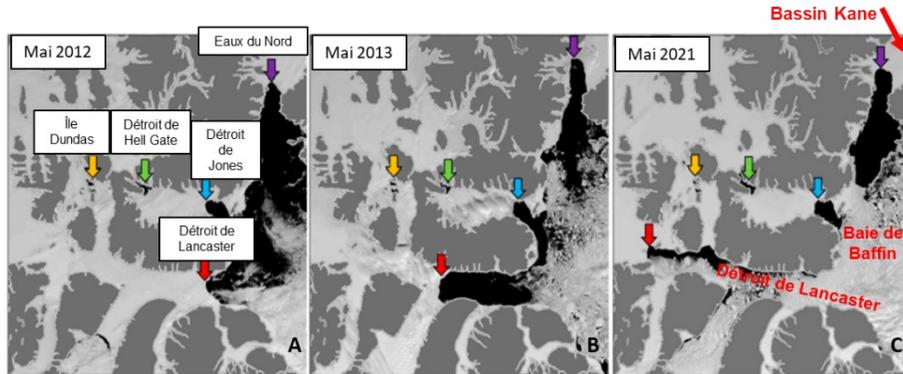


Figure 36. Images satellitaires (terre en gris foncé, glace en blanc et eaux libres en noir) montrant l'emplacement des arches de glace et des polynies récurrentes connexes (nommées dans la figure A) dans l'archipel Arctique canadien en mai 2012, 2013 et 2021. Les flèches de couleur indiquent l'emplacement correspondant de chaque arche de glace au cours des différentes années. L'arche de glace du détroit de Lancaster peut varier de plus de 500 km, ce qui modifie considérablement la zone de la polynie (images modifiées de : Vincent 2023).

Une arche de glace peut également se former en travers de la mer de Lincoln à l'extrémité nord du détroit de Nares. Cette arche de glace de la mer de Lincoln s'effondre habituellement en juillet ou en août, mais en 2017, elle s'est effondrée au début de mai, le plus tôt jamais enregistré (Moore et McNeil 2018). Au sud-ouest des eaux du Nord se trouve l'arche de glace qui forme la limite ouest de la polynie du détroit de Lancaster, une polynie récurrente très variable dans l'Arctique canadien (flèche rouge dans la Figure 36). L'emplacement de l'arche de glace de Lancaster se déplace vers l'est et vers l'ouest, et depuis 1979, elle montre une tendance à l'effondrement plus précoce et à une formation plus tardive, la tendance s'affaiblissant entre 2001 et 2022 (Vincent 2023). Fait intéressant, lorsqu'on compare la dynamique de l'arche de glace des eaux du Nord et celle de l'arche du détroit de Lancaster (Figure 37), il est évident que les tendances des arches de glace voisines ne réagissent pas de la même façon aux forces atmosphériques ou océaniques, surtout depuis l'an 2000. Les arches des eaux du Nord et du détroit de Lancaster se forment plus tard, s'effondrent plus tôt et présentent une grande variabilité interannuelle. Entre 2001 et 2022, il n'y a pas eu de tendance significative quant à la durée de l'arche pour l'une ou l'autre d'entre elles. Les deux arches présentent une tendance à la baisse de leur durée (Figure 37) qui était semblable entre 1979 et 2000, mais les tendances ne sont plus corrélées entre 2001 et 2022.

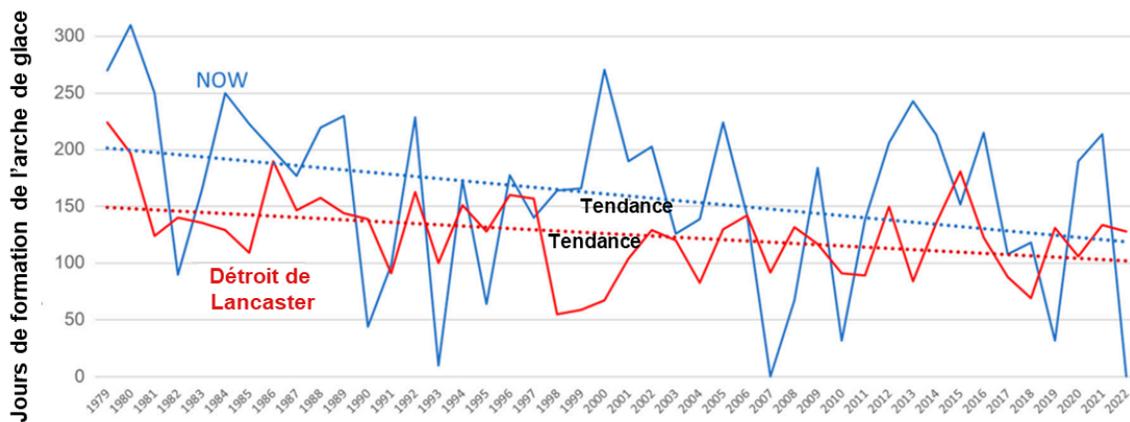


Figure 37. Tendances de la durée des arches de glace des eaux du Nord (NOW) et du détroit de Lancaster (1979 à 2022), qui ne sont statistiquement corrélées qu’entre 1979 et 2000. Depuis 1979, l’arche de glace des eaux du Nord montre une diminution de sa durée d’environ 3 mois comparativement à environ 1,5 mois pour l’arche du détroit de Lancaster (source : Vincent 2023).

Les arches de glace sont essentielles à la structure et à la fonction actuelles des habitats productifs des polynies. L’imprévisibilité croissante des arches de glace dans l’est de l’Arctique canadien crée des défis pour les modèles climatiques de l’Arctique qui peuvent appuyer la gestion des aires de conservation, y compris Tallurutiup Imanga, Tuvaijuittuq et Pikialasorsuaq. Les effets de l’instabilité des arches de glace devraient continuer. Sans les arches de glace qui bloquent la circulation de la glace de mer vers le sud dans le détroit de Nares, les vents et les courants océaniques ne peuvent former la polynie des eaux du Nord.

L’instabilité, ou l’absence de formation, des arches de glace du bassin Kane et de la mer de Lincoln peut également faciliter la perte de glace de mer de plusieurs années du bassin arctique. On estime que l’absence de formation de l’arche de glace des eaux du Nord pourrait entraîner une perte supplémentaire de 20 000 à 30 000 km² de glace dans le bassin arctique chaque année (Vincent 2020). Depuis la fin des années 1990, la superficie et le volume de glace se déplaçant dans le détroit de Nares ont augmenté à mesure que la formation de l’arche de glace diminuait (Moore *et al.* 2021b).

Le savoir inuit décrit également des arches de glace (*nunniq*) qui sont intermittentes plutôt que récurrentes. La collectivité de Coral Harbour décrit comment l’arche de glace et la polynie qui y est associée dans le détroit de Rose Welcome se produisent, en moyenne, tous les quatre ans (Babb *et al.* 2022). La compréhension de la combinaison particulière de facteurs nécessaires à la formation de l’arche de glace, y compris les marées basses (mortes-eaux), les vents de chenal et la température de l’air très froide concomitante (moins de -25 °C), aide les membres de la collectivité à comprendre comment les changements climatiques peuvent influencer sur leur utilisation de l’arche de glace pour se déplacer à des fins de chasse et pour visiter des lieux ancestraux. La perte de la fonction des arches de glace dans l’Arctique canadien aura des répercussions sur l’ensemble des écosystèmes marins et côtiers, ainsi que sur les liens culturels.

ÉTUDE DE CAS 6 : Répartition changeante des macrophytes dans l'Arctique canadien – gains et pertes d'habitat

Les macrophytes jouent un rôle principal pour la création d'habitats biogènes dans les écosystèmes côtiers (voir la section 4.4.3). Ils sont également précieux pour l'économie bleue et les stratégies d'atténuation des changements climatiques. On pense que la matière organique produite et enfouie dans les herbiers de zostère marine ou encore exportée des forêts de varech et des herbiers de zostère marine et enfouie dans des habitats sédimentaires plus profonds contribue à la séquestration du carbone à l'échelle mondiale (Krause-Jensen *et al.* 2016). La valeur économique de la séquestration par ces écosystèmes de « carbone bleu » a été estimée à 394 et 163 \$ US par hectare par année pour la zostère marine et le varech, respectivement (Dewsbury *et al.* 2016; Eger *et al.* 2023). Il est donc important de comprendre comment la répartition et l'abondance des principales espèces de macrophytes changent dans l'Arctique canadien.

Le varech est une algue brune de grande taille de l'ordre des *Laminariales* qui forme une canopée et qui prospère dans des eaux froides et riches en nutriments le long de rives rocheuses semi-exposées. Bien qu'un examen des tendances de la végétation marine à l'échelle de l'Arctique ait mis en évidence le fait que les macrophytes prennent généralement de l'expansion en réponse aux changements climatiques, les quelques sites canadiens ayant une série chronologique d'au moins 10 ans n'ont montré aucun changement global de l'abondance du varech ou de la composition des espèces (Krause-Jensen *et al.* 2020). Néanmoins, étant donné que l'épaisseur et l'étendue de la glace de mer, les jours sans glace et la température de l'eau de mer permettent de prédire la répartition, l'abondance, l'étendue en profondeur, la composition et la richesse des espèces de varech (Wilson *et al.* 2019; Goldsmit *et al.* 2021b; Filbee-Dexter *et al.* 2022b; Castro de la Guardia *et al.* 2023), ces dernières devraient étendre leurs limites biogéographiques vers le pôle et afficher une répartition et productivité supérieures dans l'Arctique canadien avec un réchauffement continu et la perte de glace de mer (Figure 38). Les espèces adaptées au froid, comme le varech endémique *Laminaria solidungula*, sont une exception, avec une perte globale prévue d'habitat convenable avec les changements climatiques futurs (Goldsmit *et al.* 2021b; Bringloe *et al.* 2022) ce qui pourrait entraîner d'importants changements dans la composition des espèces présentes dans les forêts de varech arctiques. On ne sait pas non plus comment une période sans glace plus longue s'équilibrera avec une productivité éventuelle plus élevée du phytoplancton et une turbidité accrue causée par le ruissellement fluvial, l'érosion côtière et la remise en suspension des sédiments, ce qui aura une incidence sur la disponibilité de la lumière et, par conséquent, sur la profondeur et l'étendue spatiale des habitats de varech dans cette région (Figure 39; Castro de la Guardia *et al.* 2023).

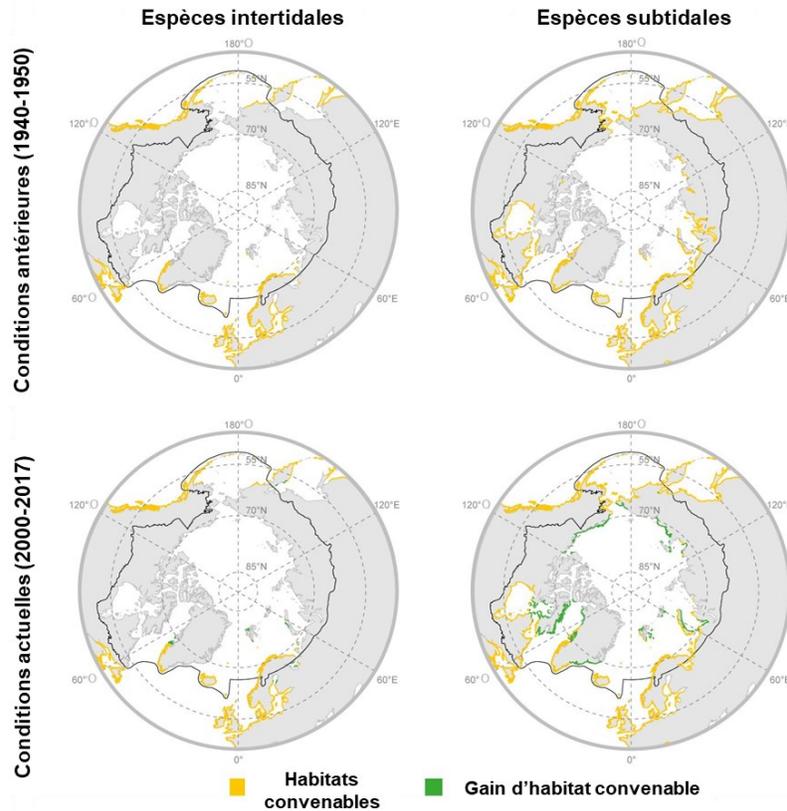


Figure 38. Des zones d'habitat convenables pour les macroalgues intertidales et subtidales ont été prédites pour une période passée (1940 à 1950) et une période actuelle (2000 à 2017) en fonction de la température, de l'état des glaces, des nutriments et de la salinité, et non des conditions du substrat. Les lignes noires représentent les limites géographiques définies par le Conseil de l'Arctique (adaptée de : Krause-Jensen *et al.* 2020).

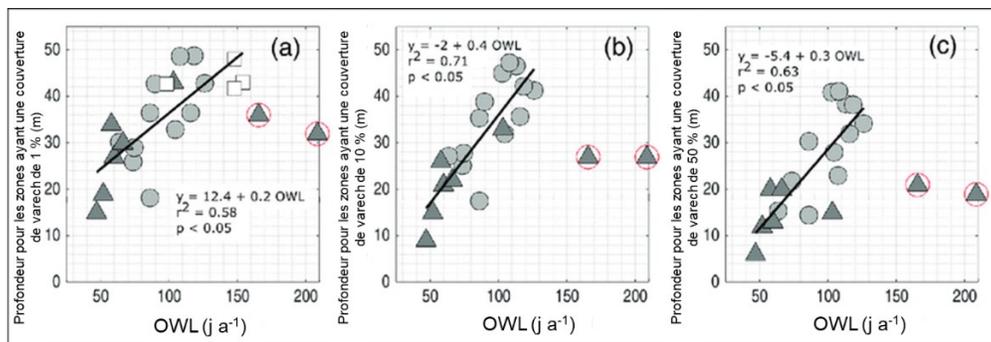


Figure 39. L'étendue en profondeur du varech en fonction des jours sans glace et avec lumière (OWL) pour les zones ayant (a) 1 %, (b) 10 % et (c) 50 % de couverture de varech. Les données proviennent de l'île Southampton (cercles gris pâle), de l'ouest du Groenland (triangles gris foncé) et du large de la baie de Disko (carrés blancs). Chaque point représente une station; les données sur l'étendue en profondeur dans la baie de Disko ne sont accessibles que pour la couverture de varech de 1 % dans le graphique (a). La ligne noire dans chacun des trois graphiques est la régression linéaire excluant les observations aberrantes (stations encerclées en rouge). Le varech s'étend à des habitats plus profonds dans les régions qui comptent plus de jours par année sans glace et avec lumière du jour (source : Castro de la Guardia 2023).

Les zostères sont des plantes à fleurs qui forment des herbiers dans des habitats estuariens et marins à sédiments mous, des régions tropicales aux régions polaires (Jayatilake et Costello 2018). Les herbiers de zostère (*Zostera marina*) de la baie James étaient autrefois considérés comme les plus vastes en Amérique du Nord (Lalumière *et al.* 1994), mais des baisses spectaculaires englobant toute la côte est de la baie James à la fin des années 1990 en conjonction avec le développement hydroélectrique ont été documentées par les Cris utilisant le territoire (COMEX 2013) et aux stations de suivi à long terme (Leblanc *et al.* 2022). Des relevés récents effectués en 2019 et en 2020 indiquent que la biomasse, la densité, la couverture et des pousses plus petites de zostères se sont faiblement maintenues sur la plupart des sites depuis la perte initiale (Leblanc *et al.* 2022). Cet effondrement s’est produit dans le contexte d’une expansion ou d’une stabilité documentée de l’habitat des zostères dans d’autres parties de l’Arctique depuis le milieu du siècle dernier (Krause-Jensen *et al.* 2020). Bien qu’une maladie débilitante ait été initialement proposée comme explication de la perte généralisée de zostères dans la baie James (Lalumière et Lemieux 2002), la modélisation de la biomasse de zostères dans la région de la rivière La Grande laisse penser que la température à la surface de la mer, la débâcle précoce et le débit plus élevé d’eau douce affectent les herbiers de zostère à cet endroit (Leblanc *et al.* 2022). Par conséquent, on pose l’hypothèse que les conditions de chaleur extrême en 1998, liées à un épisode grave d’El Niño-oscillation australe (ENSO), conjuguées à un débit d’eau douce plus élevé, sont davantage susceptibles d’avoir contribué à la détérioration de la zostère dans cette région (Leblanc *et al.* 2022). La perte importante et persistante de zostère dans la baie James contredit la prévision d’une amélioration de la qualité de l’habitat et de l’expansion vers le nord de la zostère dans l’Arctique canadien d’ici la fin du siècle, avec le réchauffement continu et la perte de la glace de mer (Wilson *et al.* 2019). Les modèles de répartition des espèces supposent souvent une réponse semblable à l’évolution des conditions environnementales dans les sous-populations génétiquement distinctes d’une espèce. Cependant, une évaluation de la variation génétique et adaptative de toutes les sous-populations canadiennes de zostère a révélé que les herbiers subarctiques de la baie James présentent une diversité génétique plus faible que ceux du Pacifique et de l’Atlantique et qu’ils sont plus vulnérables aux changements climatiques en raison d’un plus grand potentiel d’inadaptation génétique (Jeffery *et al.* 2023). La zostère de la baie James a donc peut-être moins de capacité de faire face aux changements climatiques en cours et à la modification continue du débit associée au développement hydroélectrique. Le complexe de la baie d’Hudson est également un point névralgique pour l’introduction éventuelle d’espèces aquatiques envahissantes dans l’Arctique canadien (Goldsmith *et al.* 2018, 2020) avec bon nombre des espèces aquatiques envahissantes à risque le plus élevé identifiées par Goldsmith et ses collaborateurs (2021a) dont on sait qu’elles ont des effets néfastes sur les habitats de la zostère (et du varech), ce qui demande une vigilance accrue dans cette région.

La vaste zone d’habitat convenable du varech dans l’Arctique canadien (Goldsmith *et al.* 2021b), l’expansion observée des macrophytes marins le long des côtes de l’Arctique (Krause-Jensen *et al.* 2020) et l’augmentation du potentiel de puits de carbone des forêts de varech des latitudes élevées en raison de taux de décomposition plus faibles (Filbee-Dexter *et al.* 2022b) soulignent que la végétation côtière dans l’Arctique canadien pourrait jouer un rôle croissant dans les futures stratégies d’atténuation des changements climatiques, malgré la diminution prévue des espèces endémiques de l’Arctique.

4.5 Cycle saisonnier dans l'Arctique

La façon dont les saisons sont décrites dans l'Arctique dépend de la personne à qui vous posez la question et des composantes de l'écosystème qui sont prises en compte. Pour les collectivités côtières, le cycle saisonnier de l'océan Arctique fait partie intégrante de la vie quotidienne. Ces collectivités dépendent de l'océan Arctique pour leur subsistance, leurs possibilités économiques et leurs déplacements. Les saisons sont étroitement liées au déplacement et à la récolte des animaux, ainsi qu'aux conditions associées à l'utilisation et à l'accessibilité de certains territoires de chasse. Les connaissances inuites sur l'écologie des animaux peuvent représenter l'ensemble du cycle annuel (p. ex. omble chevalier, Figure 40) ou des parties précises d'une migration saisonnière (p. ex. morse de l'Atlantique), et mettre en évidence des aspects de l'écologie animale qui ne sont pas documentés (Martinez-Levasseur *et al.* 2021; Dubos *et al.* 2023).

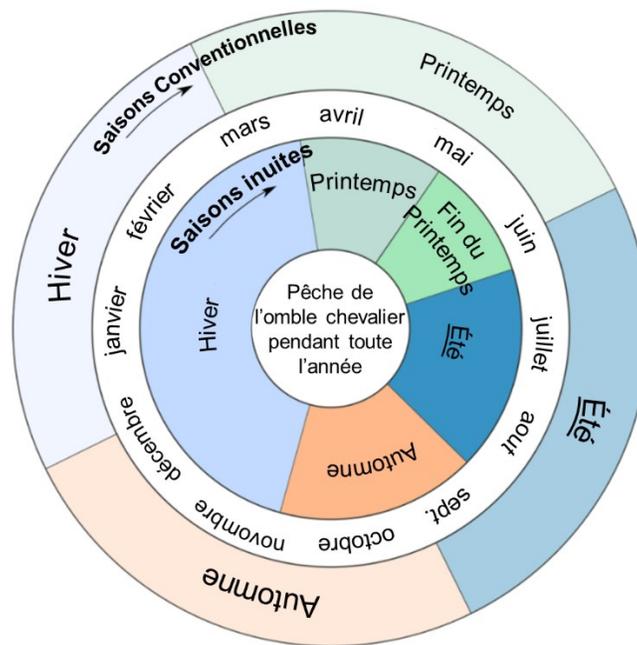


Figure 40. Saisons inuites décrites par rapport à la vie rythmique de l'omble chevalier au Nunavik (roue de couleur intérieure) comparativement aux saisons conventionnelles (roue de couleur extérieure). Le cycle saisonnier inuit présenté est fondé sur des entrevues menées en 2019 auprès d'aînés et de jeunes chasseurs actifs de trois villages du Nunavik situés dans la baie d'Ungava : Kangiqsualujuaq, Tasiujaq et Kangirsuk (source : Dubos *et al.* 2023).

Les connaissances des Inuits sur les changements saisonniers des espèces sont étroitement liées aux changements dans les modes d'utilisation des terres par les Inuits. Les connaissances des chasseurs inuits du Nunavik indiquent que certaines zones abandonnées par le morse de l'Atlantique par le passé sont maintenant de nouveau occupées à l'été ou à l'automne (Martinez-Levasseur *et al.* 2021). Les morses de l'Atlantique, qui migrent après la fonte des glaces, parcourent maintenant la côte est du Nunavik un mois plus tôt, probablement en raison des variations de la couverture de glace de mer dans les environs du Nunavik. Au cours des dernières décennies, il y a eu moins de chiens de traîneau au Nunavik qui avaient besoin d'être nourris avec du morse de l'Atlantique, car la chasse est devenue plus coûteuse et des technologies ont été introduites. Les chasseurs ont également commencé à éviter les endroits où les morses de

l'Atlantique étaient fréquemment déclarés positifs aux infections par le parasite *Trichinella*. Par conséquent, il a fallu tenir compte des modifications de la chasse et des réactions à la santé des individus pour interpréter la documentation de la répartition de l'espèce (Figure 41).

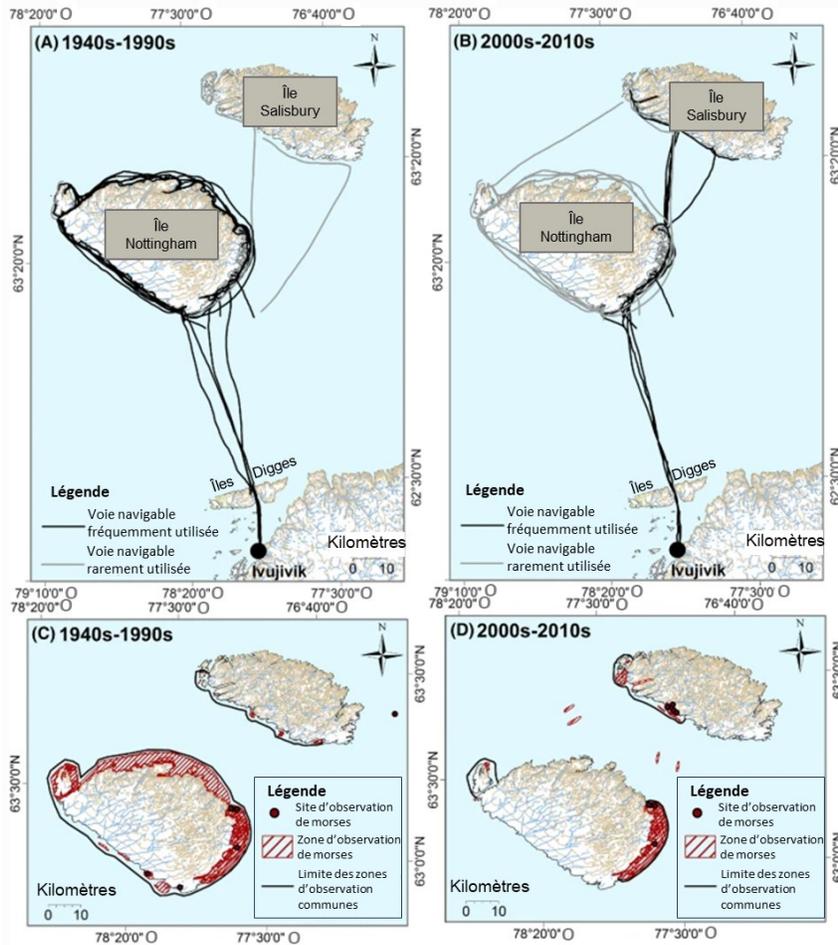


Figure 41. Itinéraires empruntés par le bateau communautaire d’Ivujivik pour aller à la chasse au morse de l’Atlantique à l’automne (principalement en septembre) dans (A) les années 1940 à 1990 et (B) les années 2000 à 2010. Les hachures rouges indiquent les endroits où les chasseurs d’Inukjuak ont observé des morses de l’Atlantique. Les changements dans les observations ont été, du moins en partie, influencés par les modifications des zones de chasse et des itinéraires empruntés au fil du temps. Les images sont fondées sur les données numérisées recueillies auprès de huit participants d’Ivujivik en 2013 et 2014 (source : Martinez-Levasseur *et al.* 2021).

Le caractère saisonnier extrême de l’Arctique, alimenté par les cycles de la lumière du jour, de la glace et de la neige, contrôle les écosystèmes de façon ascendante. La débâcle précoce, l’amincissement de la glace et les conditions changeantes de la neige devraient tous avoir une incidence sur la progression saisonnière (c.-à-d. la phénologie) de la production biologique dans les écosystèmes marins de l’Arctique (Ardyna et Arrigo 2020; Wassmann *et al.* 2021). La progression saisonnière de la production photosynthétique est initialement contrôlée par la disponibilité de la lumière, après la sombre période hivernale. La phénologie des microalgues a généralement été décrite comme la croissance des algues de glace (sympagiques) en premier, suivie de la croissance du phytoplancton. Cette progression décrit avec exactitude les périodes de

croissance maximale (c.-à-d. les proliférations), bien que la période entre les proliférations de glace de fond, sous la glace ou à la lisière des glaces puisse varier. Cependant, cette phénologie de la prolifération ne signifie pas qu'il n'y a pas de croissance du phytoplancton avant la débâcle, ou que les algues de glace et le phytoplancton ne poussent pas en même temps. En fait, des recherches récentes fournissent des données probantes supplémentaires qui montrent que, dans les zones côtières et extracôtières de l'Arctique canadien, le phytoplancton peut avoir une croissance nette sous une couverture de glace de 100 % (glace de rive ou banquise) dès février, ce qui démontre que le phytoplancton de l'Arctique est adapté à des conditions de faible luminosité extrême (Massicotte *et al.* 2020; Randelhoff *et al.* 2020b). Il est maintenant reconnu que même de petites fissures dans la glace, des mares de fonte ou de la glace mince sans neige peuvent laisser passer suffisamment de lumière pour la formation de prolifération phytoplanctonique dans les zones couvertes de glace (Mundy *et al.* 2009; Assmy *et al.* 2017; Bruyant *et al.* 2022), la consommation de nutriments sous la glace pouvant modifier la composition de la communauté phytoplanctonique plus tard dans la saison.

La phénologie des producteurs primaires a été bien décrite près de la collectivité de Qikiqtarjuaq (Figure 42). Les concentrations de chlorophylle *a*, un pigment qui permet d'estimer la quantité de microalgues, se sont révélées d'une ampleur semblable pour les algues de glace et le phytoplancton en avril et en mai. À l'emplacement de l'étude, le début de la fonte des neiges a coïncidé avec l'augmentation de la disponibilité de la lumière et la stratification de la colonne d'eau, a marqué le début de la prolifération phytoplanctonique sous la glace et, en même temps, la fin de la prolifération des algues de glace (Figure 42; Oziel *et al.* 2019; Massicotte *et al.* 2020). Avant la débâcle, le phytoplancton avait déjà consommé la plupart des nutriments de la couche de surface. Un maximum de chlorophylle de subsurface est apparu et s'est approfondi à mesure que les nutriments de surface étaient davantage assimilés par le phytoplancton, de sorte que la croissance maximale du phytoplancton, après la débâcle, s'est produite à une profondeur offrant le meilleur compromis entre la lumière et la disponibilité des nutriments.

La couverture de neige et le brassage des marées à l'interface glace-océan ont joué un rôle important dans la progression temporelle et spatiale (c.-à-d. l'emplacement vertical), respectivement, des proliférations de microalgues sur la côte de la baie de Baffin. L'étude de

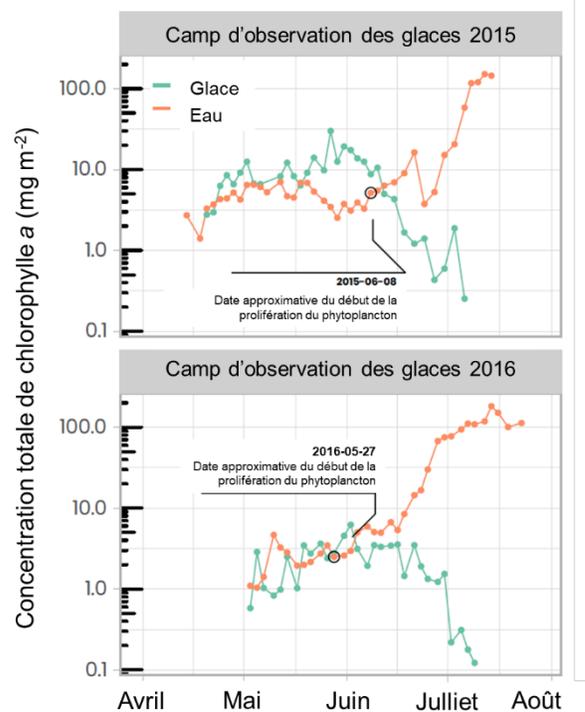


Figure 42. Progression printanière de la concentration totale de chlorophylle *a* dans la glace de mer et dans la colonne d'eau supérieure de 100 m sur la côte de la baie de Baffin. La variabilité du début de la prolifération printanière de phytoplancton est observée pour les années 2015 et 2016 (source : Massicotte *et al.* 2020).

cas 7 traite de l'importance de la neige dans ce processus. Fait intéressant, la prolifération côtière de phytoplancton dans la baie de Baffin a atteint une ampleur semblable à la prolifération de la lisière des glaces au large des côtes au cours des années à l'étude (Oziel *et al.* 2019). Au large des côtes, le moment et les effets des proliférations reflètent également la dynamique de la lumière et du brassage (voir l'étude de cas 12). Dans l'Arctique canadien, la prolifération printanière de phytoplancton peut progresser rapidement, atteignant un sommet de biomasse peu après la débâcle, la prolifération de surface pouvant ne durer que deux semaines (Randelhoff *et al.* 2019).

Bien qu'il s'agisse d'événements de courte durée, les proliférations sont essentielles au flux saisonnier de carbone organique qui alimente les réseaux trophiques marins. De la mi-juin au début de juillet dans la baie de Baffin, l'exportation de diatomées est passée d'environ 50 à 300 millions de cellules $m^{-2} j^{-1}$, les diatomées dépendantes de la glace (c.-à-d. *Nitzschia frigida*) et associées à la glace (c.-à-d. *Navicula* spp.) contribuant de façon significative au flux de carbone (Bruyant *et al.* 2022). Les boulettes fécales de zooplancton sont incluses dans le flux de carbone précoce (p. ex. juin), ce qui indique qu'ils broutent les algues de glace avant la fin de la prolifération d'algues de glace. Les copépodes continuent d'utiliser la prolifération printanière de phytoplancton, ce qui favorise peut-être le broutage sur les groupes de phytoplancton associés à l'approfondissement de la prolifération plutôt que de rester dans les eaux de surface pour se nourrir sur des cellules de phytoplancton de qualité inférieure qui se détériorent (Toullec *et al.* 2021). Le flux de matières organiques provenant des proliférations peut également stimuler rapidement l'activité benthique, comme l'indiquent les mesures de la demande en carbone benthique et les marqueurs trophiques (Yunda-Guarin *et al.* 2020; Bruyant *et al.* 2022).

Après la période de prolifération printanière et le flux d'énergie subséquent dans le système marin, l'épuisement des nutriments dans les eaux de surface stratifiées limite la production à la base du réseau trophique. Cependant, la présence de proliférations automnales de phytoplancton continue d'être documentée dans l'Arctique canadien, ce qui indique que le brassage par convection attribuable au refroidissement atmosphérique des eaux de surface dans la baie d'Hudson (Barbedo *et al.* 2022) et le brassage vertical entraîné par le vent (Ardyna *et al.* 2014) peuvent contribuer à affaiblir la stratification, en permettant un certain réapprovisionnement en nutriments en automne dans la zone euphotique.

La présence d'algues de glace et le moment de la prolifération printanière de phytoplancton sont des indices environnementaux principaux pour la migration saisonnière du zooplancton. Le zooplancton de grande taille, y compris *C. glacialis* et *C. hyperboreus*, ne peut habituellement pas terminer son cycle biologique en une seule saison. Le zooplancton à des stades de développement avancés (p. ex. copépodites des stades III, IV et V) doit migrer vers des eaux plus profondes en ayant des réserves de lipides accumulées pour hiverner, remontant rapidement vers les eaux près de la surface en réponse au début de la productivité printanière primaire, pour compléter son cycle de vie (Bandara *et al.* 2021). Différentes espèces de copépodes peuvent présenter des habitudes de migration saisonnière différentes contrôlées par les divers régimes de température subis au cours de l'année par chaque espèce et chaque stade de copépodite (Darnis et Fortier 2014). Toutefois, la migration saisonnière du zooplancton ne correspond pas toujours avec succès au moment des principales proliférations.

Dans la mer de Beaufort, des collectes de zooplancton ont documenté la façon dont la variabilité interannuelle de l'étendue de la glace de mer, de la température de l'eau et du moment de la fonte de la neige et de la glace peut entraîner des écarts importants entre les copépodes du genre *Calanus* et les flux de diatomées (Dezutter *et al.* 2019) qui ont une incidence négative sur le recrutement de *Calanus* et le transfert d'énergie subséquent au zooplancton et aux poissons carnivores. Il semble maintenant qu'une débâcle précédant le mois de juin augmente la probabilité de décalage, ce qui crée un seuil à partir duquel le zooplancton peut bénéficier d'une débâcle plus précoce (Leu *et al.* 2011; LeBlanc *et al.* 2020).

Dans l'ouest de la baie de Baffin, un décalage entre la production printanière primaire et la consommation de copépodes signifiait que le broutage du zooplancton ne limitait pas directement la production maximale quotidienne de phytoplancton et que peu de nutriments régénérés étaient disponibles pour prolonger la prolifération (Sampei *et al.* 2021). Fait intéressant, le décalage peut avoir été influencé par la qualité de la nourriture (c.-à-d. l'apparition de diatomées possiblement toxigènes) plutôt que par l'abondance de brouteurs sous la glace marine de rive au moment de la prolifération phytoplanctonique. Dans la récente étude de l'ouest de la baie de Baffin, les principaux brouteurs étaient les grands copépodes dominants de l'Arctique (*C. glacialis*, *Metridia longa* et *C. hyperboreus*) plutôt que les petits comme *Pseudocalanus* spp., qui sont les principaux brouteurs des proliférations sous la glace marine de rive dans les eaux peu profondes de l'archipel canadien (Fortier *et al.* 2002).

Les liens du réseau trophique peuvent influencer les événements saisonniers pour les prédateurs. Toutefois, la variabilité des conditions environnementales, comme l'apport d'eau douce au printemps ou les différences dans le moment du retrait des glaces, peut d'abord avoir une incidence sur des événements saisonniers cruciaux, comme l'éclosion de la morue polaire dans l'est de la mer de Beaufort. De nouveaux renseignements fournissent des points de référence régionaux pour le cycle biologique de la morue polaire dans l'ouest de l'Arctique. Ils indiquent que les morues pélagiques capturées en été naissent 69 jours plus tôt dans le sud de la mer des Tchoukches que dans l'est de la mer de Beaufort, suivies par des taux de croissance variant de 0,081 mm j⁻¹ dans l'est de la mer de Beaufort à 0,215 mm j⁻¹ dans le sud de la mer des Tchoukches (Chapman *et al.* 2023).

On s'attend à ce que les effets du réseau trophique jouent un rôle essentiel dans le recrutement des morues polaires juvéniles au cours des années suivant une débâcle précoce, les connaissances augmentant au sujet des tendances de la biomasse de morue par rapport à la débâcle de la glace et à la disponibilité de la nourriture (Figure 43). Dans différentes régions de l'Arctique canadien, le mécanisme émergent qui a permis d'améliorer le recrutement des morues polaires juvéniles au cours des années suivant une débâcle précoce est que les tailles avant l'hiver, et peut-être le stockage des lipides, sont maximisés lorsque les individus qui éclosent tôt sont exposés à des températures de surface plus élevées et à des conditions d'alimentation de saturation. Cependant, en raison de la débâcle avant juin, une inadéquation entre les copépodes et leur nourriture entraîne des répercussions négatives sur le recrutement de la morue polaire et un développement limité des populations (LeBlanc *et al.* 2020).

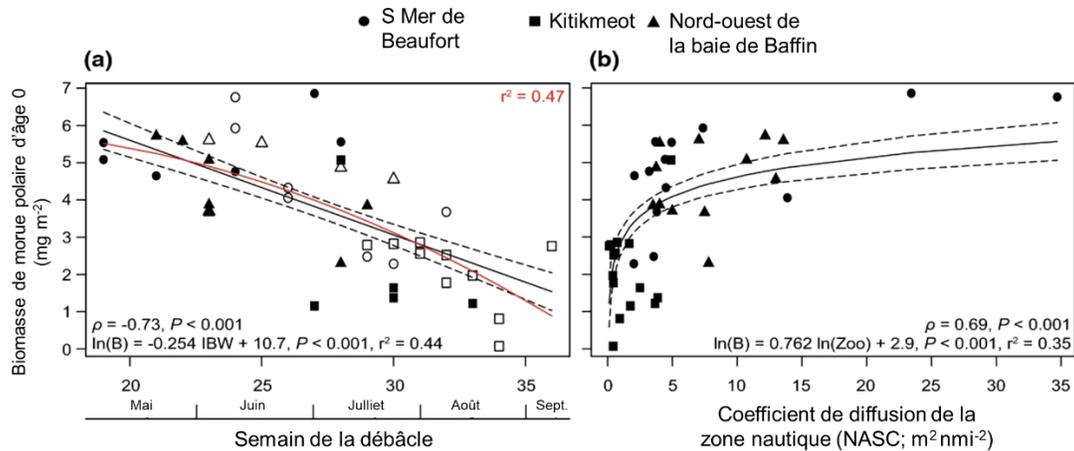


Figure 43. Biomasse épipélagique moyenne de la morue polaire d'âge 0 en août ($n = 40$) par rapport à a) la semaine de débâcle et b) la rétrodiffusion moyenne du zooplancton épipélagique (Zoo) en août dans les régions du sud de la mer de Beaufort, de Kitikmeot et du nord-ouest de la baie de Baffin (source : LeBlanc *et al.* 2020).

La disponibilité de la morue est un facteur qui peut influencer le comportement saisonnier des mammifères marins (p. ex. voir l'étude de cas 4). De nombreux mammifères marins qui sont des visiteurs saisonniers utilisent des indices dans l'environnement physique et biologique pour déterminer le moment des déplacements migratoires (Cherry *et al.* 2013), tout en restant flexibles par rapport aux conditions actuelles de l'année (Seyer *et al.* 2021). Les espèces qui restent dans l'Arctique toute l'année (annexe B), comme certains phoques et cétacés, doivent faire face à un caractère saisonnier extrême en été et en hiver et ont tendance à s'adapter en effectuant des déplacements saisonniers pour faire face à l'évolution de l'accès aux ressources. Les changements documentés des événements saisonniers liés aux changements et à la variabilité de l'environnement causés par le climat comprennent l'arrivée précoce des oiseaux dans les aires de reproduction (Mallory *et al.* 2010; Van Buskirk *et al.* 2009) et le départ tardif des espèces méridionales, comme l'épaulard, qui restent dans les eaux arctiques plus tard dans la saison (Lefort *et al.* 2020a). Les modifications de la phénologie des mammifères marins peuvent varier dans la façon dont ils se produisent, comme on le voit dans l'étude de cas 8 pour le narval.

ÉTUDE DE CAS 7 : Transformations saisonnières – neige, lumière et producteurs primaires

La neige est composée de particules de glace qui diffusent la lumière de telle sorte qu'en hiver et au début du printemps, la neige sèche reflète jusqu'à 90 % du rayonnement solaire entrant. L'albédo causé par la neige réduit considérablement l'énergie absorbée par la glace de mer située en dessous. Le niveau de lumière sous la glace de mer au printemps est d'abord contrôlé par la neige, puis par la glace de mer. L'effet de l'albédo de la neige retarde le début de la fonte de la glace de mer et contrôle en définitive la durée de la saison de fonte. Les grains de neige subissent des transformations saisonnières, dictées par les conditions météorologiques, qui diminuent l'albédo et agissent comme une rétroaction positive pour la fonte de la neige et de la glace.

Pendant la progression saisonnière de la neige sur la glace de mer dans l'ouest de la baie de Baffin, la neige sèche et fraîche intercepte très efficacement presque tous les photons de la lumière. Au début du printemps, de la fin mars à la fin avril, des microalgues ont réussi à pousser dans la couche inférieure de glace de mer et dans la colonne d'eau grâce à la photosynthèse, malgré les très faibles niveaux de lumière dominants qui étaient plus de 300 fois moins élevés qu'à la surface en raison de la couverture de neige sèche (Vérin *et al.* 2022). Dès que la neige a commencé à fondre (température de l'air au-dessus de 0 °C de façon durable), le niveau de lumière au fond de la glace de mer et dans la colonne d'eau a augmenté radicalement de 100 fois en deux semaines. Au cours de cette période, la neige est passée de petits grains à des grappes de gros grains qui réduisent l'albédo. Après le début de la fonte des neiges, le niveau de lumière sous la glace a encore augmenté, tandis que les mares de fonte ont envahi la surface de la glace de mer, mais à un rythme plus lent. La progression de la transformation de la neige et de l'albédo au printemps est variable, car des chutes de neige pendant la période de fonte peuvent soudainement et temporairement augmenter l'albédo et retarder la fonte (Vérin *et al.* 2022).

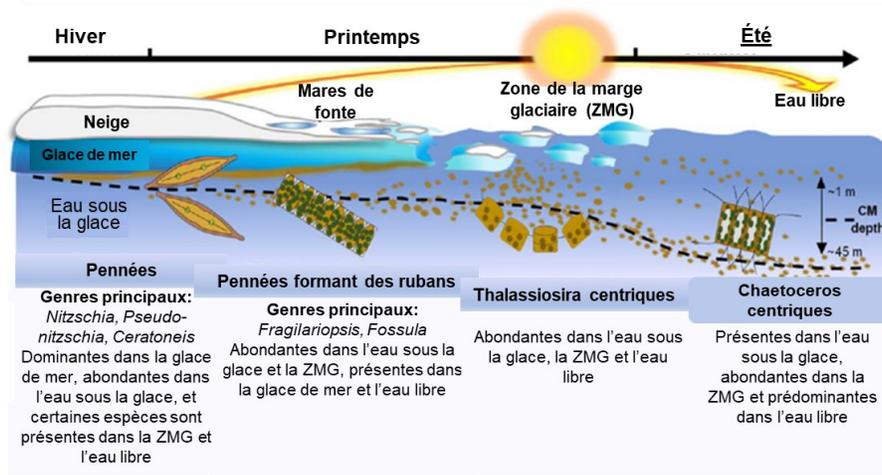


Figure 44. Progression typique du printemps à l'été des diatomées arctiques par rapport aux changements des conditions de l'habitat de neige et de glace dans la baie de Baffin. La profondeur maximale de la chlorophylle *a* est indiquée par la ligne noire en tirets (source : Croteau *et al.* 2022).

Le contrôle des niveaux de lumière sous la glace par la neige détermine également la succession taxonomique saisonnière des microalgues, y compris les espèces de diatomées qui utilisent des stratégies de photoadaptation propres à leur habitat (Figure 44). Dans la baie de Baffin, Croteau et ses collaborateurs (2022) ont découvert que bien que la composition de la communauté de microalgues arctiques varie à la fois à l'échelle locale et interannuelle, les tendances typiques montrent que la progression saisonnière printanière des assemblages de diatomées comprend des changements dans les formes de croissance (pennées par rapport à centriques), les taxons et les caractéristiques de vie (p. ex. coloniales ou solitaires), qui semble correspondre aux transitions d'habitat en grande partie causées par les transformations de la neige au printemps.

ÉTUDE DE CAS 8 : Migrations du narval – changements du moment, mais pas de l’itinéraire

La synthèse de l’information provenant de nombreuses études longitudinales et de nombreuses façons de savoir a permis de documenter les modifications de la migration du narval au cours des dernières décennies. Pour de nombreuses espèces de cétacés, on pense que le moment de la migration et les itinéraires empruntés sont transmis par la culture (p. ex. O’Corry-Crowe *et al.* 2018), intégrant les aspects de l’apprentissage social, de la mémoire et de la perception des conditions actuelles. Le narval, en particulier, est connu pour son degré élevé de fidélité au site et son retour dans les mêmes aires d’estivage et d’hivernage d’une année à l’autre, comme le documentent l’Inuit

Qaujimagatuqangit (Keenan *et al.* 2018; Remnant et Thomas, 1992)

et des études de suivi (Heide-Jørgensen *et al.* 2013). Il a également été démontré que les déplacements du narval sont fortement liés à la dynamique de la glace de mer dans l’Arctique (Kenyon *et al.* 2018; Laidre et Heide-Jørgensen 2005). Cette fidélité constante au site semble indiquer un certain degré de schéma d’action fixe dans le comportement migratoire (Heide-Jørgensen *et al.* 2015), ce qui peut indiquer que l’espèce serait incapable de faire face à un environnement en rapide transformation (Laidre *et al.* 2008). On estime également que le narval a une durée de vie extrêmement longue (Garde *et al.* 2007; Watt *et al.* 2020), ce qui pourrait signifier qu’il est moins en mesure de s’adapter par voie d’évolution en raison de longs temps de génération. Bien qu’on ait documenté des changements décennaux du moment de la migration d’espèces étroitement apparentées, comme le béluga (Hauser *et al.* 2017), on ne sait pas si le narval a connu des changements similaires. Des questions demeurent quant à la façon dont le narval peut modifier son comportement migratoire pour s’adapter aux changements environnementaux. Y a-t-il des signes qui donnent à penser que le narval a modifié le moment de sa migration ou les itinéraires empruntés au cours des dernières décennies de changements environnementaux rapides?

Pour aider à répondre à cette question, des données de télémétrie satellitaire provenant de 40 narvals ont été échantillonnées pendant la période de migration automnale et utilisées pour étudier le moment de la migration par rapport au moment du départ et au moment où les

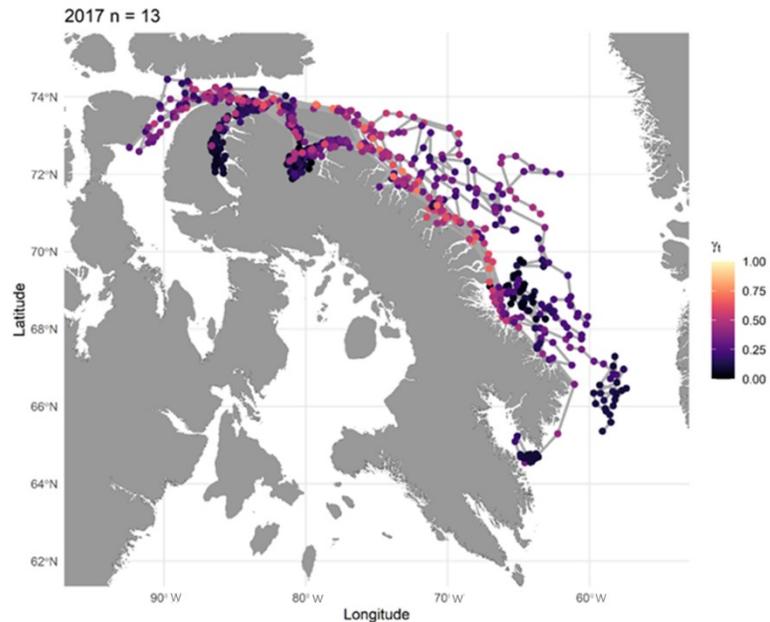


Figure 45. Exemple des emplacements (points colorés) et des déplacements (lignes grises) pour 13 narvals marqués en 2017. Les changements dans la persistance du déplacement (γt) ont été utilisés pour estimer le moment où les narvals « ont quitté » les zones d’estivage au nord de l’île de Baffin en direction du détroit de Davis au sud (source : Courtney Shuert).

individus ont quitté la zone d'estivage (Figure 45, Shuert *et al.* 2022). Afin de comprendre si le moment a changé, les données provenant des narvals marqués sur une période de 21 ans ont été intégrées de 1997 à 2018 pour les narvals passant l'été dans le nord de l'île de Baffin, en tenant compte des facteurs environnementaux et d'autres facteurs biotiques, comme le sexe.

Pour tous les individus, des modifications importantes du moment de la migration ont été observées, les narvals quittant les aires d'estivage du détroit d'Éclipse environ 10 jours plus tard par décennie (Figure 46). Ce départ plus tardif était en grande partie lié à la trajectoire des tendances de la glace de mer associées aux changements climatiques vers une étendue minimale plus faible de glace de mer, aux oscillations climatiques corrélées aux concentrations hivernales de la glace de mer et au sexe. Bien que l'on ait constaté que les narvals femelles quittaient environ une semaine après les mâles, les deux sexes semblent présenter des taux de départ tardif semblables par rapport au moment où ils partaient pour la migration.

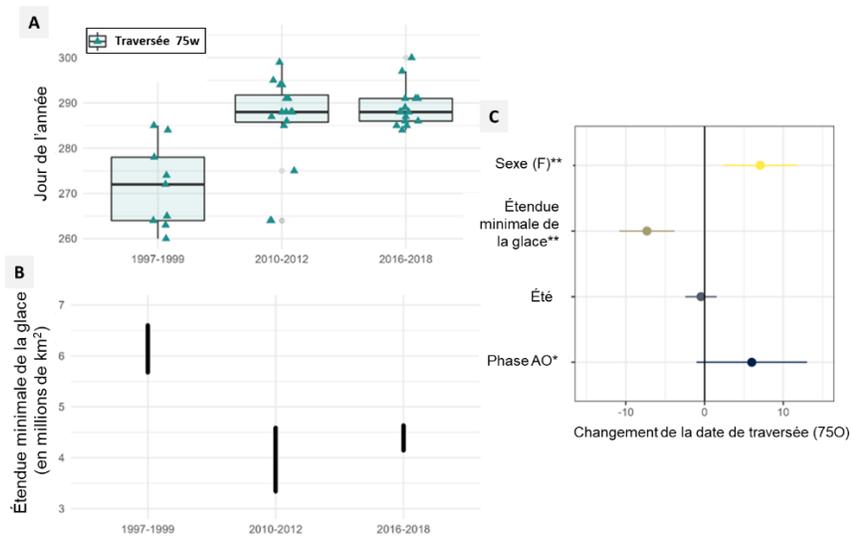


Figure 46. Changements décennaux, sur trois périodes, au moment où les narvals marqués dans le détroit d'Éclipse ont traversé une frontière de passage à 75° O qui délimite la lisière des aires d'estivage (A), l'étendue minimale de la glace de mer (en millions de kilomètres carrés) au cours des mêmes périodes (B), et les estimations des paramètres de la moyenne du modèle pour les variables environnementales associées aux changements de la date à laquelle la frontière du passage a été traversée (C). Le sexe, l'étendue minimale de la glace de mer et la phase d'oscillation arctique étaient des prédicteurs fiables du moment de la migration (source : Shuert *et al.* 2022).

Ces mêmes données permettent de penser que les narvals n'ont pas modifié leur *destination* lors de leur migration vers le sud (Shuert *et al.* 2023). Ils semblent plutôt emprunter deux itinéraires pour se rendre aux aires d'hivernage dans le détroit de Davis, l'une au large des côtes par la baie de Baffin et l'autre près de la côte. Bien que les techniques de migration semblent divergentes, les deux itinéraires semblent indiquer que les narvals peuvent chercher à réduire au minimum les dépenses d'énergie en chemin vers les aires d'hivernage. Les narvals migrant en haute mer semblent se déplacer en serpentant lorsqu'ils se dirigent vers le sud, interagissant probablement avec les fronts océaniques et d'autres ressources éphémères (p. ex. les poissons). Par contre, ceux migrant par des zones littorales semblent préférer faire des escales dans quelques fjords

productifs en eau profonde comme le bras Scott, et rester jusqu'à deux semaines à un endroit choisi.

Toutefois, le climat en évolution dans l'Arctique se traduit également par une augmentation de la présence de prédateurs ainsi que des activités humaines pour le transport maritime et les projets d'extraction des ressources naturelles, qui sont tous deux connus pour entraîner des changements radicaux du comportement du narval (Breed *et al.* 2017; Tervo *et al.* 2021). Par conséquent, il n'est pas clair quelles pourraient être les conséquences d'un départ tardif des aires d'estivage ni si certaines routes migratoires pourraient être touchées de façon disproportionnée par ces changements naturels et anthropiques dans l'environnement.

4.6 Biodiversité

Notre connaissance de la biodiversité marine de l'Arctique canadien continue de croître, mais de vastes zones du fond marin et de l'océan demeurent inexplorées. Le tableau 3 fournit un résumé des études récentes qui contribuent à notre compréhension et à notre évaluation de la biodiversité marine dans l'Arctique canadien. La biodiversité a été évaluée au moyen de relevés et de la participation de collectivités. Certaines collectivités ont récemment signalé des observations inhabituelles de six espèces de poissons dans l'Arctique canadien (Figure 47; McNicholl *et al.* 2021) indiquant l'expansion du saumon rose (*Oncorhynchus gorbuscha*) et du corégone tschir (*Coregonus nasus*), et documentant une taupe du Pacifique vagabonde (*Lamna ditropis*). Le suivi par les collectivités côtières des poissons, des invertébrés benthiques et des contenus stomacaux a également fourni des bases de référence et des outils améliorés pour évaluer la biodiversité au fil du temps dans des secteurs comme la ZPM d'Anguniaqvia niqiqyuam (Bilous *et al.* 2022).

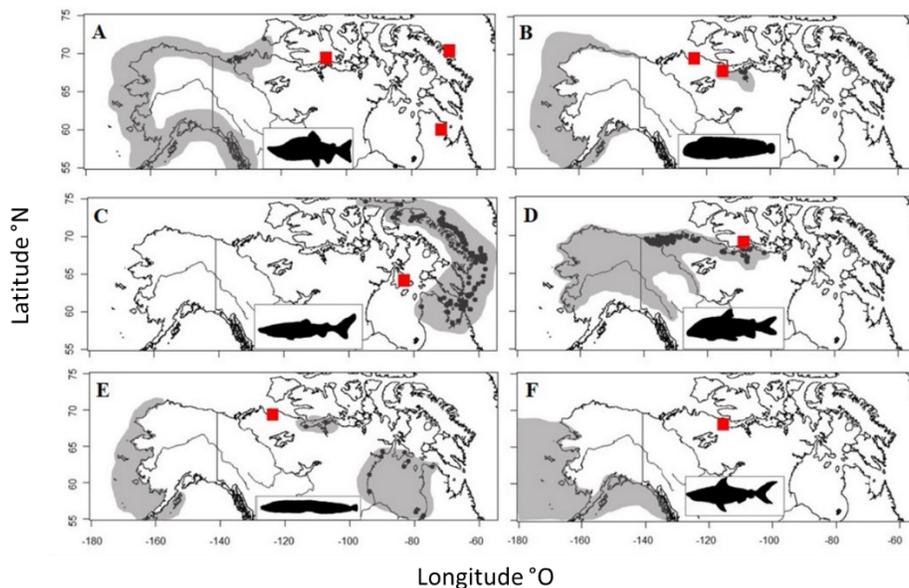


Figure 47. Emplacements des observations inhabituelles (carrés rouges) pour A) le saumon rose, B) le loup de Béring (*Anarhichas orientalis*), C) la laimargue atlantique (*Somniosus Microcephalus*), D) le corégone tschir, E) la sigouine rubanée (*Pholis fasciata*) et F) la taupe du Pacifique. Les répartitions connues sont ombrées en gris, tandis que les occurrences historiques particulières (points noirs) ne sont indiquées que pour les observations canadiennes (source : McNicholl *et al.* 2021).

Bien que les relevés plurispécifiques au chalut aient montré que les taxons benthiques sont sensibles aux différences d'habitat (voir ci-dessous), des relevés océanographiques pluriannuels indiquent que la présence d'espèces principales de zooplancton montre une uniformité frappante dans l'Arctique canadien. À plus de 400 stations dans l'Arctique canadien, des copépodes *C. hyperboreus* et *C. glacialis* ont été observés dans 93 et 100 % des échantillons analysés, respectivement, ce qui souligne l'importance de ces principales espèces fourragères dans l'ensemble de l'Arctique. D'autres espèces particulièrement répandues comprenaient les petits copépodes *Oithonia similis* et *Pseudocalanus* sp. ainsi que le ptéropode *Limacina helicina* qui ont été trouvés dans 99, 100 et 93 % des échantillons, respectivement (Figure 48; Darnis *et al.* 2022). On prévoit que la biodiversité et la répartition du zooplancton seront touchées par les changements environnementaux en cours. Par exemple, des changements de répartition de *C. hyperboreus* et de *C. glacialis* ont été observés dans le centre de l'océan Arctique, principalement associés à des changements de la concentration et de l'étendue de la glace de mer (Ershova *et al.* 2021), et dans la baie de Disko, le long de la côte ouest du Groenland, *C. hyperboreus* et *C. glacialis* ont été remplacés par *C. finmarchicus* (Møller et Nielsen 2020), un organisme plus petit et moins riche en lipides du genre *Calanus*. Malgré des liens étroits avec les eaux du Pacifique et de l'Atlantique, il n'y a pas eu de tels changements documentés de la biodiversité du zooplancton dans l'Arctique canadien.

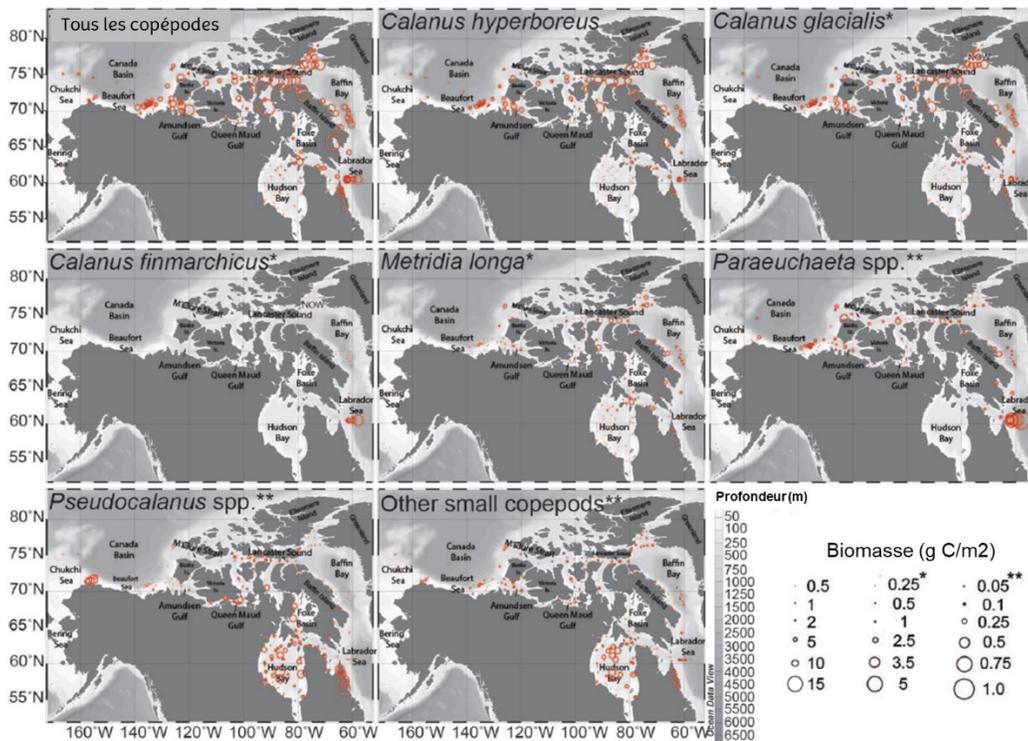


Figure 48. Répartition de la biomasse intégrée de la colonne d'eau du copépode à 409 stations échantillonnées entre 2005 et 2018 dans l'Arctique canadien. Les astérisques indiquent l'échelle de biomasse utilisée pour un graphique particulier (source : Darnis *et al.* 2022). Noms de lieux français illustrés à la figure 28.

Les évaluations de la biodiversité ont récemment permis de signaler des zones préoccupantes pour ce qui est des interactions entre les réseaux trophiques et les espèces dans l'Arctique canadien. Cela comprend la première documentation de proliférations d'algues nuisibles dans l'ouest de l'Arctique canadien qui ont mené à l'absorption de toxines (c.-à-d. des phycotoxines amnésiques et paralysantes) par des invertébrés benthiques, à des niveaux non nocifs pour les humains (Pućko *et al.* 2023). L'évaluation des prises accessoires des relevés des pêches a également mis en évidence des changements dans la répartition et l'abondance des espèces qui pourraient avoir de multiples répercussions sur l'écosystème (voir l'étude de cas 9).

L'accroissement des efforts d'échantillonnage dans la vaste étendue géographique de l'Arctique canadien fait ressortir que les écosystèmes benthiques y sont plus diversifiés qu'on ne le supposait auparavant. Contrairement à la tendance prévue de la diminution de la diversité à des latitudes élevées, la plus récente comparaison de la biodiversité benthique dans les trois océans du Canada indique que l'océan Arctique abrite une plus grande richesse d'épifaune invertébrée (c.-à-d. vivant sur le fond marin) et d'endofaune commune et dominante (c.-à-d. vivant dans les sédiments) que les océans Atlantique et Pacifique (Wei *et al.* 2020). De même, on n'a pas trouvé de gradient latitudinal dans la diversité de l'épifaune dans l'Arctique (Gianasi *et al.* 2022a; Jørgensen *et al.* 2022). Au total, 1 552 taxons ont été identifiés dans cette dernière compilation (Wei *et al.* 2020), augmentant le nombre de cas signalés la dernière fois (992) dans la meilleure synthèse précédente accessible (Archambault *et al.* 2010), quoique sous-estimant probablement encore le nombre réel. Cette vision changeante des profils de diversité des invertébrés benthiques dans l'Arctique canadien est fondée sur un effort d'échantillonnage accru, l'utilisation d'équipement et de méthodes permettant de mieux échantillonner les types d'habitats ou les groupes taxonomiques sous-représentés (voir la boîte à outils) ou la mise en œuvre de méthodes statistiques qui tiennent compte de l'intensité inégale de l'échantillonnage entre les régions. Elle souligne l'importance de combler les lacunes en matière de connaissances et d'établir des bases de référence écologiques, alors même que les écosystèmes marins de l'Arctique sont confrontés à un stress croissant causé par les changements climatiques (Deb et Bailey 2023). Les assemblages benthiques ne sont toujours pas échantillonnés dans de grandes régions géographiques de l'Arctique canadien (Wei *et al.* 2020), et là où des données existent, les courbes d'accumulation des espèces permettent d'estimer que, dans certaines régions, entre 12 et 59 % des taxons macrobenthiques (organismes mesurant plus de 0,5 mm et appartenant principalement à l'endofaune) et mégabenthiques (organismes mesurant plus de 1 cm et appartenant principalement à l'épifaune) n'ont toujours pas été découverts (Piepenburg *et al.* 2011; Roy *et al.* 2015b; Pierrejean *et al.* 2020a; Gianasi *et al.* 2022a).

En général, la diversité des invertébrés marins benthiques dans l'Arctique canadien présente une relation en forme de bosse avec la profondeur, atteignant un maximum près de la rupture du plateau continental (100 à 200 m) et diminuant à de plus grandes profondeurs (Wei *et al.* 2020; Jacobs *et al.* 2022; Kenchington *et al.* 2022), probablement en raison de la diminution de l'approvisionnement alimentaire. Toutefois, des données limitées à plus de 1 000 m de profondeur sont accessibles pour résoudre entièrement cette relation, et certaines zones font exception à cette tendance (p. ex. les eaux du Nord), où des assemblages benthiques riches et abondants à des profondeurs supérieures à 500 m peuvent être soutenus par des eaux de surface sus-jacentes très productives et une forte exportation verticale (Roy *et al.* 2014). Les éponges arctiques présentent également une diversité maximale à de plus grandes profondeurs (zone

bathyale moyenne à inférieure; 450 à 900 m; Murillo *et al.* 2018). D'autres points névralgiques de la diversité régionale se trouvent dans la mer de Beaufort, l'ouest de l'archipel Arctique, le complexe de la baie d'Hudson et le nord du Labrador (Wei *et al.* 2020). Le point névralgique de la diversité benthique récemment découvert dans le complexe de la baie d'Hudson présente des contrastes avec des profils précédemment présentés d'une diversité relativement plus faible que celle d'autres régions de l'Arctique, d'après des échantillons instantanés historiques de sédiments (Cusson *et al.* 2007). L'échantillonnage instantané capture principalement l'endofaune, mais des relevés plus récents dans le complexe de la baie d'Hudson, effectués à l'aide de chaluts benthiques qui échantillonnent plus efficacement l'épifaune, soutiennent la notion de diversité et d'abondance comparables des invertébrés benthiques à d'autres régions arctiques hautement productives, en particulier dans les zones proches des polynies (Pierrejean *et al.* 2020a). Des points névralgiques de reminéralisation des matières organiques sédimentaires se produisent sur le plateau du Mackenzie et dans la polynie des eaux du Nord et du détroit de Lancaster (Link *et al.* 2013b; Bourgeois *et al.* 2017), et sont également prévus dans la baie de la Reine-Maud, le détroit de Victoria, le bassin Foxe, la baie James et le sud de la baie d'Hudson (Bourgeois *et al.* 2017). Les points névralgiques de reminéralisation sont associés à une grande diversité et abondance de macroinvertébrés ou à la présence de quelques espèces cruciales qui jouent un rôle important dans la bioturbation des sédiments (Link *et al.* 2013b; Miatta et Snelgrove 2021a, b). La présence d'une mégafaune de grande taille, comme les coraux bambous et les pennatules, peut également améliorer les taux de dépôt de matières organiques, la diversité et l'abondance de l'endofaune et les flux de nutriments (Pierrejean *et al.* 2020b; Miatta et Snelgrove 2022).

La diversité, la répartition et l'abondance de grands macrophytes constituant des structures dans les zones littorales ont également fait l'objet d'une attention accrue. Dans l'Arctique canadien, il y a quatre espèces dominantes de varech, dont trois espèces subarctiques ou boréales (*Alaria esculenta*, *Agarum clathratum*, *Saccharina latissima*) et une espèce endémique de l'Arctique (*Laminaria solidungula*; Figure 49; Goldsmit *et al.* 2021b; Filbee-Dexter *et al.* 2022b). Cependant, selon le séquençage du génome entier, le genre *Alaria* dans cette région inclut peut-être également une lignée arctique unique, *A. grandifolia* (Bringloe *et al.* 2021). Deux autres espèces boréales, *Laminaria digitata* et *Hedophyllum nigripes*, ont également été documentées en faible abondance dans le complexe de la baie d'Hudson et le nord du Labrador (Filbee-Dexter *et al.* 2022a). Bien qu'on estime que les peuplements (ou forêts) de varech occupent environ un tiers des lignes de côte du monde, leur répartition dans l'Arctique a été sous-estimée par le passé (Starko *et al.* 2021). Le varech est répandu dans tout l'est de l'Arctique canadien, et son étendue dans cette région est probablement beaucoup plus grande que ce que les données actuelles laissent entendre et pourrait donc changer (étude de cas 6; Goldsmit *et al.* 2021b; Filbee-Dexter *et al.* 2022a). Des observations récentes de varech dans les zones de forte marée de la région de Kitikmeot ont également été documentées, ce qui comble une lacune particulière dans la répartition connue du varech à l'échelle de l'Arctique (Bluhm *et al.* 2022). Les peuplements de varech sont particulièrement abondants et productifs dans le détroit de Davis et le complexe de la baie d'Hudson (Filbee-Dexter *et al.* 2022a). Autour de l'île de Southampton, notamment, à la limite nord de la baie d'Hudson, la grande transparence des eaux, l'eau froide et l'hydrographie dynamique facilitent la création de vastes peuplements de varech pouvant atteindre 50 m (Castro de la Guardia *et al.* 2023).

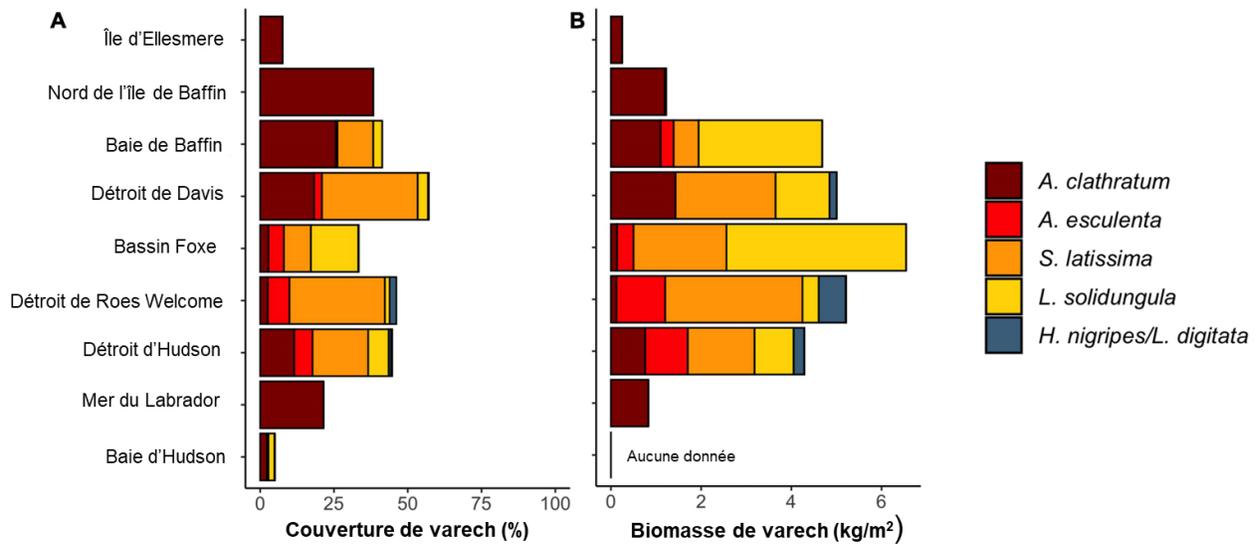


Figure 49. Moyenne (A) du pourcentage de couverture de varech et (B) de la biomasse des espèces de varech, calculée en fonction de la profondeur, puis du site. Les régions sont classées par latitude, du sud (baie d'Hudson) au nord (Ellesmere). La longueur totale des barres correspond à la couverture totale de varech ou à la biomasse totale. Il convient de noter que la biomasse n'a été échantillonnée qu'à un sous-ensemble de sites ayant des données sur le pourcentage de couverture (source : Filbee-Dexter *et al.* 2022a).

La zostère est présente dans tout l'Arctique canadien, où elle a été observée aussi loin au nord que le fjord Grise (environ au 76° parallèle nord) et des conditions environnementales et océanographiques uniques (p. ex. disponibilité de la lumière, couverture de glace et température) donnent lieu à des modèles saisonniers uniques de croissance et de reproduction (p. ex. la phénologie) par rapport aux populations du Pacifique et de l'Atlantique (Murphy *et al.* 2021, étude de cas 6). La zostère est particulièrement répandue dans la baie James et le sud-est de la baie d'Hudson, où elle apparaît à côté de rares occurrences de *Ruppia maritima* (Lalumière *et al.* 1994; Murphy *et al.* 2021). Une analyse de la diversité génétique cachée des populations de zostère au Canada a révélé que la population subarctique de la baie James est distincte de la plupart des lignées de l'Atlantique et du Pacifique, mais qu'elle partage une certaine affinité avec une population de l'estuaire du Saint-Laurent à Rimouski (Jeffery *et al.* 2023).

Des progrès importants ont également été réalisés pour caractériser la diversité des éponges marines, une autre lacune importante dans les connaissances sur l'Arctique canadien. Des prélèvements effectués au moyen de relevés au chalut traditionnels ainsi que diverses méthodes d'échantillonnage moins dommageables ont été utilisés pour décrire et identifier 102 taxons d'éponges dans l'est de l'Arctique canadien (tableau 3).

Tableau 3. Évaluations et études récentes sur la biodiversité dans la région de l'Arctique canadien.

Espèces ou groupes	Nouvelles connaissances	Références
Communautés microbiennes	– Description du gradient des assemblages de communautés microbiennes fluviales, estuariennes et marines	Morency <i>et al.</i> 2022
Eucaryotes unicellulaires marins (phytoplancton)	– 70 % des espèces globalement capables de produire des toxines sont déjà présentes dans l'Arctique canadien – Description de deux nouvelles espèces d'algues vertes pour la mer de Beaufort et la baie de Baffin – 7 taxons de dinoflagellés dont on sait qu'ils peuvent produire des toxines dans les eaux des ports, et 12 qui pourraient être introduits par des espèces non indigènes provenant des eaux de ballast	Pućko <i>et al.</i> 2019; Yau <i>et al.</i> 2020; Dhifallah <i>et al.</i> 2022
Macrophytes	– Meilleure compréhension de la répartition du varech et de la zostère marine, et des exigences environnementales – Identification d'une lignée arctique unique de varech	Voir l'étude de cas 6 et la section 4.6
Assemblages d'invertébrés benthiques	– Forte biodiversité benthique dans l'Arctique canadien par rapport à l'Atlantique et au Pacifique – Principales lacunes en matière de connaissances abordées dans la plus vaste évaluation de référence de la biodiversité benthique côtière menée dans l'est de l'Arctique (plus de 900 taxons ont été identifiés) – Points névralgiques de la biodiversité benthique recensés dans l'Arctique canadien – Assemblages épibenthiques et d'espèces délimités dans le complexe de la baie d'Hudson (2010, 2017, 2018) et dans la mer de Beaufort canadienne à partir de relevés au chalut (2012 à 2014 et 2017 à 2019)	Pierrejean <i>et al.</i> 2020; Wei <i>et al.</i> 2020; Gianasi <i>et al.</i> 2022a; Calabria-Carvalho <i>et al.</i> en préparation
Nématodes marins (méiofaune)	– 57 genres identifiés dans les eaux côtières des ports de l'est de l'Arctique	Gianasi <i>et al.</i> 2022b
Éponges	– 2 espèces nouvelles pour la science, 1 nouvel enregistrement pour l'Atlantique Nord, 16 nouveaux enregistrements pour le nord-ouest	Tompkins <i>et al.</i> 2017; Baker <i>et al.</i> 2018a, b; Murillo <i>et al.</i> 2018;

Espèces ou groupes	Nouvelles connaissances	Références
	de l'Atlantique et 19 nouveaux enregistrements pour l'est de l'Arctique canadien	Marmen <i>et al.</i> 2019, 2021; Dinn <i>et al.</i> 2020
Amphipodes marins	– 8 espèces d'ampéliscides dans la mer de Beaufort canadienne, dont 3 pourraient être nouvelles pour la science ou être de nouveaux complexes d'espèces	Conlan <i>et al.</i> 2019
Poissons marins	<ul style="list-style-type: none"> – Des observations ou des programmes de suivi communautaires ont permis d'identifier 3 espèces en dehors des répartitions habituelles (expansion), 2 occurrences d'espèces rares et 1 occurrence d'une espèce vagabonde – Expansion de l'aire de répartition du loup à tête large (<i>Anarhichas denticulatus</i>) à 350 m dans la mer de Beaufort – Les relevés au chalut (la plupart des années depuis 2012) dans la mer de Beaufort ainsi que les relevés au chalut (annuels depuis 2004) et les nouveaux relevés par caméra appâtée dans la baie de Baffin et le détroit de Davis appuient le suivi continu de la biodiversité benthique 	McNicholl <i>et al.</i> 2021; Devine <i>et al.</i> 2019; données inédites d'A. Majewski
Poissons anadromes	– Connaissance approfondie de l'aire de répartition du Dolly Varden	Maier <i>et al.</i> 2021
Mammifères marins	<ul style="list-style-type: none"> – Relevés des mammifères marins effectués dans la ZPM de Tuvaijuittuq – Observations inhabituelles du narval 	Carlyle <i>et al.</i> 2021

Le Conseil canadien pour la conservation des espèces en péril a évalué l'état de conservation de nombreux (mais pas tous) taxons marins de l'Arctique canadien (Figure 50). Dans son plus récent rapport intitulé « Espèces sauvages 2020 », seulement deux espèces étaient considérées comme gravement en péril pour les régions arctiques du Canada, toutes deux des oiseaux : le guillemot à miroir (*Cepphus grylle*) est gravement en péril dans l'ouest de l'Arctique, tandis que la mouette blanche (*Pagophila eburnea*) l'est dans les régions est et ouest de l'Arctique canadien (Conseil canadien de conservation des espèces en péril 2022). Il convient toutefois de noter que l'état de conservation de la grande majorité des taxons connus dans l'Arctique n'a pas pu être classé en raison d'un manque d'effort ou de données manquantes sur les occurrences et les abondances.

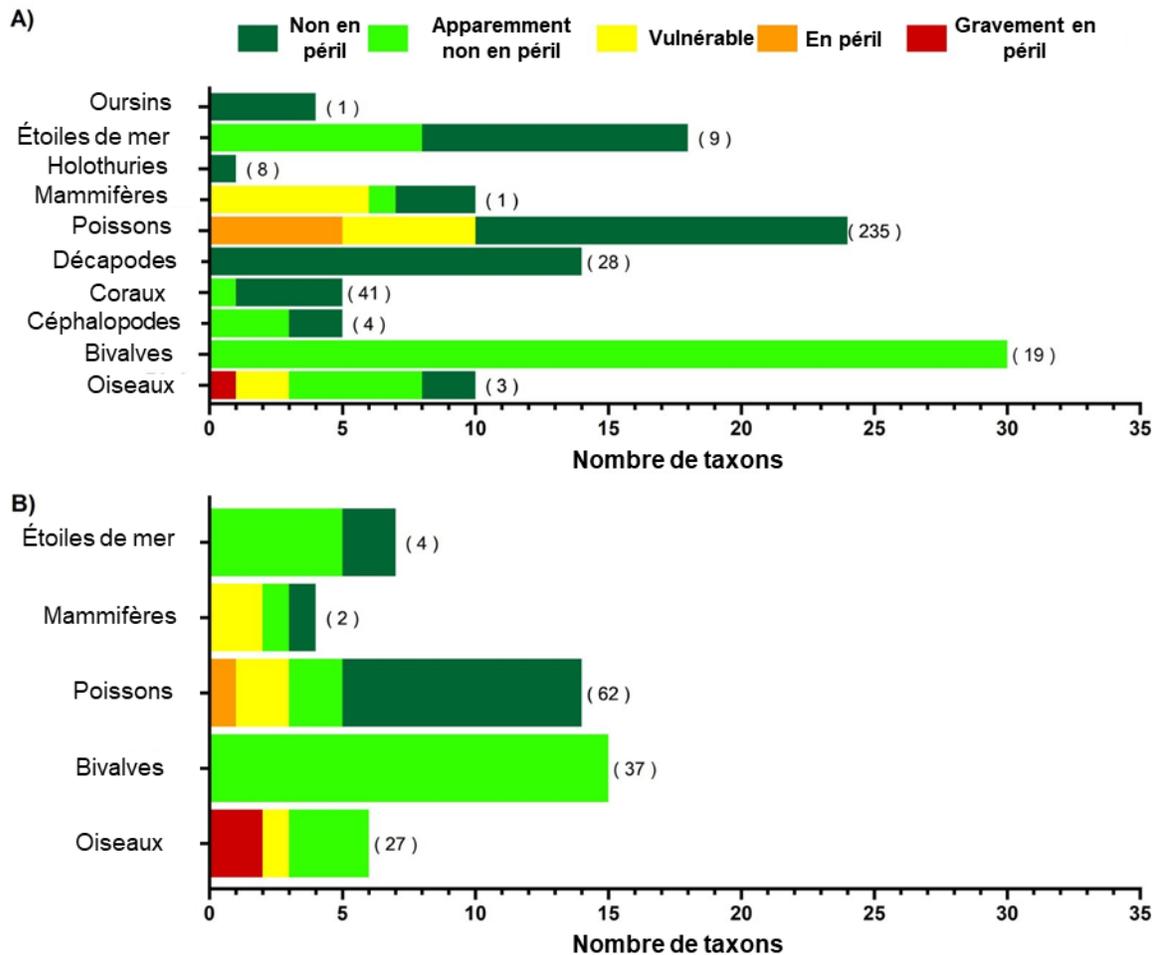


Figure 50. Résumé de l'état de conservation des taxons selon le rapport « Espèces sauvages 2020 », pour A) l'est de l'Arctique canadien et B) l'ouest de l'Arctique canadien. Le nombre de taxons identifiés dans le rapport, mais considérés comme inclassables dans ces régions, est indiqué entre crochets pour chaque groupe taxonomique important. À noter que, dans certains cas, l'état de conservation à l'échelle régionale présenté ici diffère de celui à l'échelle nationale. Les données proviennent du Conseil canadien pour la conservation des espèces en péril (2022).



BOÎTE À OUTILS : Aborder la diversité par la diversité – utiliser de multiples outils pour documenter les communautés benthiques

Des outils et des méthodes d'évaluation complémentaires sont utilisés pour combler les lacunes dans les connaissances et évaluer les profils de biodiversité des habitats benthiques de l'Arctique. De nombreux taxons et habitats benthiques sont difficiles d'accès ou à échantillonner, nécessitent une expertise taxonomique particulière ou peuvent être insuffisamment caractérisés par une seule méthode d'observation. Par exemple, Gianasi et ses collaborateurs (2022) ont utilisé un chalut modifié adapté aux eaux peu profondes pour identifier 900 taxons de macroinvertébrés et fournir la première évaluation de référence à grande échelle de la biodiversité benthique et des profils de composition dans les zones côtières (moins de 30 m) de l'est de l'Arctique canadien, des zones qui présentaient un manque de renseignements détaillés en raison de difficultés logistiques. Le métacodage à barres de l'ADN environnemental (ADNe) des échantillons d'eau, l'identification des organismes à partir des traces d'ADN qu'ils laissent dans l'environnement, est également en train de devenir un outil important pour le suivi de la biodiversité à grande échelle dans les zones côtières de l'Arctique canadien (Lacoursière-Roussel *et al.* 2018), permettant d'obtenir des renseignements taxonomiques distincts et complémentaires par rapport aux méthodes standard de prélèvement d'invertébrés (Leduc *et al.* 2019). Les techniques moléculaires (p. ex. le codage à barres de l'ADN) ont également été utiles pour confirmer l'identification d'éponges à partir des méthodes taxonomiques traditionnelles (Dinn *et al.* 2020), mais ne produisent pas toujours les rendements prévus pour d'autres taxons d'invertébrés benthiques qui pourraient être sous-représentés dans les bibliothèques de référence de séquences d'ADN (Jacobs *et al.* 2022).

Les véhicules sous-marins téléguidés et d'autres outils de relevé visuel non destructifs (p. ex. les caméras lestées) sont également devenus des outils utiles d'évaluation de la biodiversité dans l'Arctique canadien, en particulier dans les aires protégées, les habitats profonds ou pour les invertébrés benthiques de petite taille ou fragiles (Dinn *et al.* 2020; Kenchington *et al.* 2022). Le manque d'expertise taxonomique peut entraver le rythme d'acquisition de nouvelles données sur la biodiversité pour les invertébrés benthiques. Pour combler cette lacune, des guides et des catalogues régionaux d'identification par photo ont été élaborés pour les relevés au chalut et les relevés par imagerie (p. ex. Baker *et al.* 2018c; Nozères *et al.* 2019; Lacasse *et al.* 2020).

ÉTUDE DE CAS 9 : La résurgence des sébastes

Des sébastes (*Sebastes* spp.) sont présents de l'île de Baffin jusqu'aux eaux des États-Unis. Ce sont des espèces à croissance lente et à longue durée de vie qui peuvent avoir des impulsions de recrutement très fortes, mais les juvéniles ne survivent pas toujours pour contribuer aux populations adultes (MPO 2023). Les sébastes peuvent former des rassemblements denses et inégaux, ce qui peut contribuer à une grande variabilité des captures. Le régime alimentaire des sébastes de grande taille est composé d'invertébrés et de poissons comme le capelan, des espèces mésopélagiques et certains petits sébastes, tandis que le régime alimentaire des sébastes de petite taille est dominé par des invertébrés (Senay *et al.* 2021).

La pêche commerciale des sébastes n'a jamais été établie dans l'est de l'Arctique canadien, mais des sébastes ont été capturés de manière accessoire dans le cadre de la pêche commerciale du flétan du Groenland, de la crevette nordique et de la crevette d'Ésope. Les prises accessoires de sébaste et d'autres espèces sont déclarées dans les journaux de bord et dans le cadre d'un programme d'observation en mer. La pêche au chalut du flétan du Groenland et de la crevette dans la sous-zone 0 de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) est couverte à 100 % par des observateurs. Les prises accessoires de sébastes dans la sous-zone 0 sont principalement composées de *Sebastes mentella* avec de plus petites quantités de *S. norvegicus* et de *S. fasciatus*, mais les prises accessoires sont rarement différenciées par espèce et sont plutôt déclarées sous forme de poids total agrégé de toutes les espèces de sébastes. Le total annuel des prises accessoires (Figure 51) était élevé dans la pêche de la crevette avant 1997, mais il a diminué considérablement en 1997 lorsque la grille Nordmøre (une grille séparatrice faite avec des barres espacées de 22 ou 28 mm) a été ajoutée aux chaluts à crevettes, empêchant ainsi la capture de gros poissons.

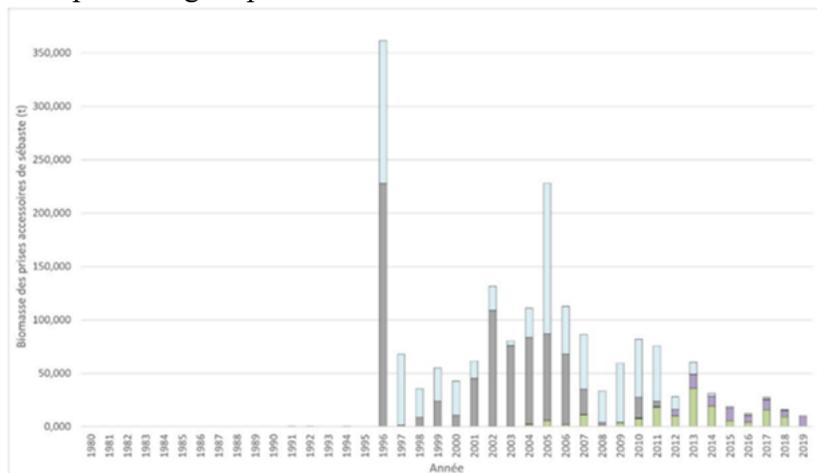


Figure 51. Prises accessoires de sébastes (en tonnes) dans les pêches du flétan du Groenland (vert [division 0B] et violet [division 0A]) et de la crevette (gris [division 0A] et bleu pâle [division 0B]). Les données sur les prises accessoires de la pêche de la crevette s'étendent de 1980 à 2018, la grille Nordmøre (espacement de 28 mm) ayant été introduite en 1997 (ligne tiretée; Siferd 2010). Les données sur les prises accessoires de la pêche du flétan du Groenland s'étendent de 1992 à 2019, avec une expansion de la pêche dans la division 0A en 1999 et des augmentations régulières de l'effort depuis (source : MPO 2023).

À partir de 2020, les prises accessoires de sébastes dans le cadre d'un relevé de recherche sur la crevette dans la division 0B de l'OPANO et dans l'est du détroit d'Hudson, et de la pêche commerciale de la crevette ont augmenté considérablement (Figure 52). On a observé des prises accessoires plus importantes de sébastes juvéniles en 2010, mais elles sont retombées à des niveaux relativement faibles les années suivantes. En 2020, les taux élevés de prises accessoires dans la pêche de la crevette ont entraîné de graves perturbations des activités de pêche. Même si les chaluts à crevettes sont équipés de grilles Nordmøre, les crevettes récoltées et les jeunes sébastes étaient de taille similaire, ce qui ne permettait pas d'éviter la capture accessoire de grandes quantités de sébastes. La réglementation en matière de prises accessoires de poissons démersaux prévoit qu'un navire de pêche doit se déplacer de plus de 10 milles marins lorsque la quantité de prises accessoires atteint soit 2,5 % du total des captures, soit 100 kg. Ces seuils, lorsqu'on pêchait la crevette en présence de fortes densités de petits sébastes, exigeaient essentiellement que les navires de pêche se déplacent de 10 milles marins après chaque trait de pêche; ils n'étaient pas en mesure de trouver des lieux de pêche comportant des crevettes et une faible abondance de petits sébastes. Afin d'atténuer la gravité des effets sur la pêche, les conditions de permis ont été modifiées temporairement pour permettre jusqu'à 10 % de prises accessoires sur six traits de chalut consécutifs. Même avec les conditions de permis modifiées, la pêche dans des zones densément peuplées de jeunes sébastes restait difficile en raison de la similitude de taille entre les crevettes pêchées et les sébastes capturés. Afin de réduire la quantité de sébastes capturée, l'industrie de la pêche à la crevette a mené une série d'expériences au cours desquelles l'espacement des barres dans la grille Nordmøre a été réduit. Les résultats ont indiqué qu'une réduction de l'espacement des barres des 22 mm d'origine à 17 ou 15 mm pouvait réduire considérablement les prises accessoires de jeunes sébastes tout en permettant une forte rétention de crevettes dans le chalut.

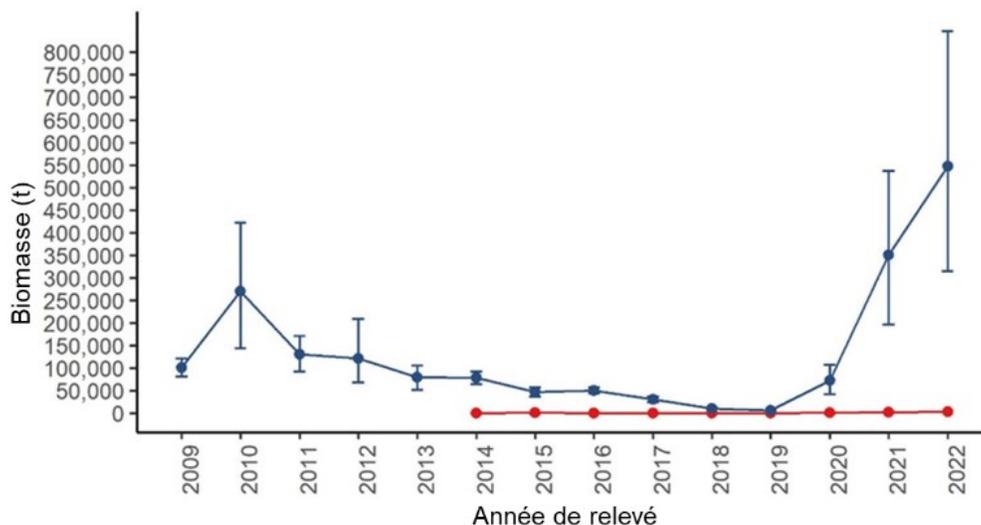


Figure 52. Indices de la biomasse des sébastes (*Sebastes* spp.) calculés pour le détroit de Davis (en bleu) et le détroit d'Hudson (en rouge). Ils sont basés sur les résultats du relevé de la crevette (source : Fulton *et al.* 2023).

En plus de perturber les activités de pêche à la crevette, la résurgence des sébastes a également des répercussions sur l'écosystème. Les nombreux jeunes sébastes planctonophages font concurrence à d'autres consommateurs de zooplancton. Cela aura une incidence sur les stades

pélagiques des poissons démersaux, des poissons pélagiques (p. ex. la morue polaire) ainsi que sur les détritivores comme les crevettes. Alors que les sébastes mesurant plus de 20 cm se nourrissent activement de crevettes (Pedersen et Riget 1993), la concurrence pour la nourriture pourrait avoir des conséquences tout aussi négatives sur les stocks de crevettes dans le détroit de Davis. La prédation accrue du zooplancton et de la crevette par les sébastes correspond à une modification de la biodiversité qui pourrait entraîner des interactions de concurrence nuisibles aux ressources halieutiques et à la croissance de plusieurs espèces de poissons, avec des conséquences inconnues sur le fonctionnement global de l'écosystème.

5.0 Variabilité des écosystèmes

La variabilité étant une condition inhérente des écosystèmes de l'Arctique, il s'agit d'un facteur crucial permettant de décrire l'état d'un système. Il est essentiel de comprendre la variabilité pour bien cerner ou prédire le changement et pour gérer les ressources de l'Arctique. La variabilité limite notre capacité à appliquer des généralisations à l'échelle de l'océan Arctique. Le fait que les écosystèmes arctiques varient au fil du temps et selon l'emplacement est bien connu des collectivités arctiques. Les connaissances documentées des Inuits décrivent la variabilité de multiples composantes de l'écosystème, y compris la glace de mer (p. ex. Babb *et al.* 2022), l'état des poissons et des mammifères marins récoltés (Ostertag *et al.* 2018; Byers *et al.* 2019), la présence (section 4.6) ou l'abondance inhabituelles des espèces (Figure 53; p. ex. Pettitt-Wade *et al.* 2020) et le comportement migratoire (p. ex. Insley *et al.* 2021; Martinez-Levasseur *et al.* 2021; Dubos *et al.* 2023). Même si la variabilité fait partie de l'état naturel des écosystèmes, il peut être difficile de bien cerner la cause de la variabilité observée, ou de discerner à quel moment une variabilité est plutôt devenue un changement observable. Compte tenu de l'état actuel des connaissances sur les écosystèmes et le système climatique de l'Arctique, il est difficile de cerner les causes de la variabilité et nous sommes donc limités pour ce qui est de prédire la sécurité et la stabilité des écosystèmes arctiques avec un degré élevé de certitude.

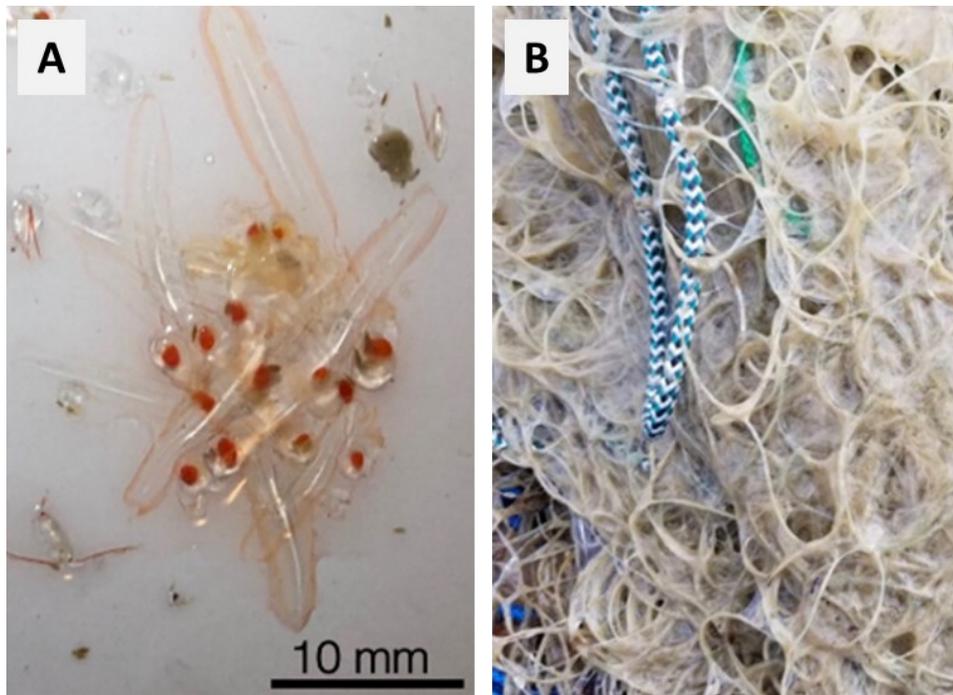


Figure 53. En 2019, des densités élevées de zooplancton gélatineux, des tuniciers appendiculaires (A), ont été signalées pour la première fois dans les eaux côtières par la collectivité d'Ulukhaktok, dans les Territoires du Nord-Ouest. Les tuniciers pélagiques et leurs enveloppes gélatineuses obstruaient les filets de pêche de subsistance (B) installés près du rivage, ce qui a soulevé des préoccupations chez les pêcheurs inuvialuits au sujet des effets négatifs potentiels sur les mammifères marins et les poissons (source : Pettitt-Wade *et al.* 2020, image du filet prise par J. Ogina).

Le climat de l'Arctique dans son ensemble a considérablement changé au cours des dernières décennies (section 1.3). Les changements climatiques et la variabilité du climat ont été causés par des forçages externes (p. ex. les émissions de gaz à effet de serre), mais aussi par l'interaction naturelle entre les composantes du système climatique (c.-à-d. des interactions complexes entre l'atmosphère, la cryosphère marine et continentale et les systèmes océaniques) (Arias *et al.* 2021). La section 5.1 fournit un aperçu des principaux modes de variabilité climatique qui ont, en fin de compte, une incidence sur l'ensemble des composantes de l'écosystème marin. Ces modes de la variabilité climatique naturelle exercent une influence à des échelles temporelles allant de quelques jours à plusieurs décennies.

Pour ce qui est de l'océan Arctique canadien, nous ne sommes pas en mesure de fournir une description unifiée de la variabilité de l'écosystème pour l'ensemble des composantes écosystémiques. La collecte de données n'est pas assez uniforme à l'échelle de l'Arctique pour le permettre. À ce sujet, les sections suivantes présentent les tendances temporelles relatives à des zones de l'environnement océanique où des ensembles de données à long terme permettent d'évaluer la variabilité moyenne et connexe au cours des dernières années. Les combinaisons d'études et de systèmes de connaissances ont fait progresser notre compréhension de la variabilité chez des espèces de première importance comme l'omble chevalier (voir l'étude de cas 10). La section 5.3 fournit également des exemples de variabilité biologique liée à différentes échelles de facteurs environnementaux. La section 5.4 offre un aperçu de la variabilité des stocks et des ressources halieutiques surveillés.

5.1 Variations atmosphériques dans l'Arctique

L'énergie qui alimente la circulation océanique est engendrée par l'influence gravitationnelle du soleil et de la lune (les marées), par les différences de chaleur solaire, d'évaporation/précipitation et de gel/fonte à l'échelle mondiale, et par les vents. L'apport de l'énergie marémotrice varie principalement sur des cycles semi-quotidiens et quotidiens qui sont réguliers et prévisibles; sa variation sur des intervalles décennaux n'est pas préoccupante. L'atmosphère, quant à elle, influence les autres composantes de l'environnement terrestre – c'est-à-dire la terre, la mer, la glace et la neige – tout en étant elle-même influencée par ces dernières. De telles interactions bidirectionnelles entre deux éléments peuvent générer des comportements chaotiques et cycliques. Lorsque l'océan est l'un des éléments d'une interaction, les cycles peuvent s'échelonner sur plusieurs décennies, car l'océan réagit lentement en raison de sa masse immense et de sa capacité thermique. Le phénomène El Niño, qui prend naissance dans la partie tropicale de l'océan Pacifique, est possiblement le plus connu de ces cycles.

Dans l'Arctique, l'oscillation naturelle de l'atmosphère qui a le plus d'influence est le mode annulaire boréal (Thompson *et al.* 2020) plus communément appelé l'oscillation arctique. Elle a pour effet de déplacer l'air entre les latitudes moyennes (30° au 40° parallèle nord) et la calotte polaire nord, et ce, sur une échelle de plusieurs années. Ce transfert augmente ou diminue la pression d'air dans les différentes régions touchées, modifiant la force des vents et leur configuration, car le vent dépend des différences de pression d'air. L'empreinte géographique de l'oscillation arctique est illustrée à la Figure 54. Lorsque l'oscillation déplace l'air vers le sud, passant de la zone bleue aux zones rouges, jaunes et orangées, la pression d'air à latitude moyenne augmente et la pression d'air dans l'Arctique diminue. Cette différence accrue de la pression entre le sud et le nord renforce les vents de l'ouest (affaiblissant les vents de l'est). Quelques années plus tard, l'oscillation provoquera un déplacement de l'air vers le nord, causant une accumulation d'air dans l'Arctique et un affaiblissement des vents de l'ouest (renforçant les vents de l'est). Dans la région ouest de l'Arctique canadien, où les vents viennent habituellement de l'est ou du nord-est, cette moitié du cycle renforce le tourbillon de Beaufort.

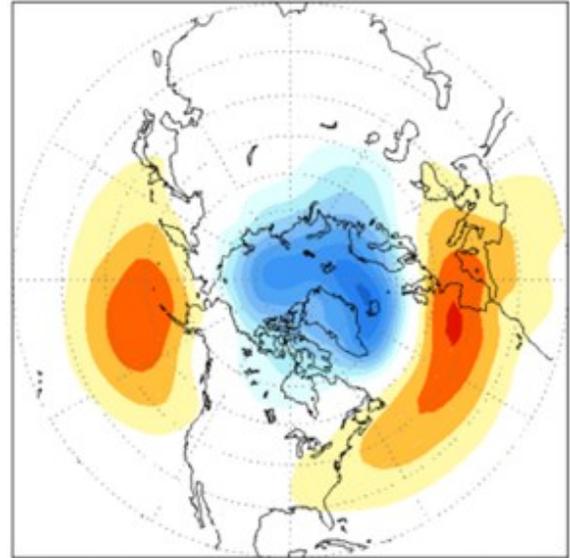


Figure 54. Répartition géographique de l'oscillation arctique. À noter que ce phénomène dit « arctique » occupe en fait la moitié supérieure de l'hémisphère nord.
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.loading.shtml

Le stade et la force de l'oscillation à tout moment sont représentés par un indice qui, par convention, est positif si la pression d'air à latitude moyenne est supérieure à la normale (la pression d'air dans l'Arctique étant alors inférieure à la normale). Ainsi, un indice positif correspond à un affaiblissement du tourbillon de Beaufort, et vice versa. Les valeurs de l'indice dérivées des observations météorologiques depuis 1950 sont indiquées à la Figure 55. Les bandes grises du graphique indiquent les périodes d'intérêt dans la région de Beaufort, lesquelles sont abordées plus en détail à la section 5.2. Il n'existe aucune correspondance évidente entre l'indice et ces intervalles gris. Il est possible que cette faible corrélation soit attribuable au fait que l'indice est calculé sur une région (nord du 20° parallèle nord) qui est beaucoup plus grande que la région arctique canadienne. En effet, Proshutinsky et ses collaborateurs (2015) ont constaté que le centre d'action de l'oscillation arctique dans l'Atlantique Nord se trouve à une distance considérable de l'Arctique nord-américain.

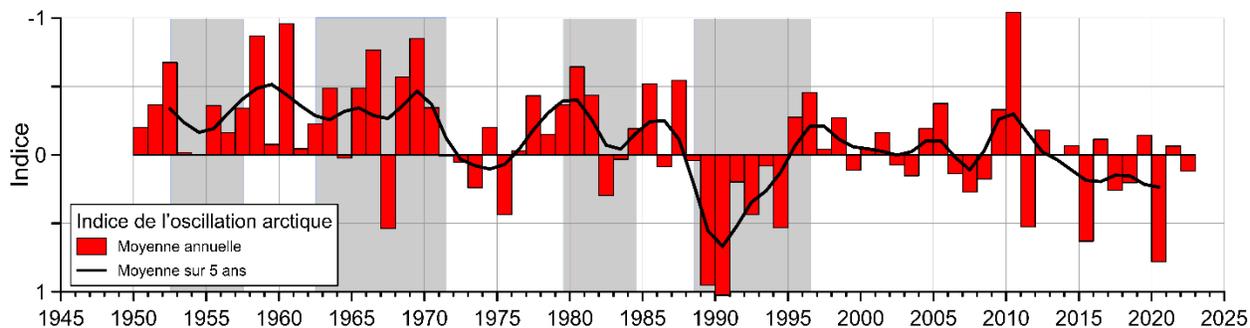


Figure 55. Variation de l'indice de l'oscillation arctique au fil du temps. Pour faciliter l'interprétation (et les comparaisons ultérieures) des données, ce graphique présente les valeurs négatives de l'index dans sa partie supérieure. Les bandes grises indiquent les périodes d'intérêt dans la région de Beaufort.

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii

Wang et ses collaborateurs (2009) ont décrit un deuxième schéma de variation de la pression au niveau de la mer dans l'Arctique, un phénomène appelé le dipôle arctique, dont l'influence n'est toutefois pas aussi forte. Ce schéma associe une pression d'air élevée dans l'Arctique canadien à une basse pression d'air en Sibérie orientale, et vice versa. Lorsque la pression est élevée dans la région arctique canadienne, les vents liés au dipôle arctique proviennent du sud. En plus de pousser la glace de mer de l'Arctique vers l'Atlantique par la mer des Tchouktsches, dégageant ainsi la couverture de glace de la région arctique canadienne vers le nord-ouest, ces vents apportent dans l'Arctique un air plus chaud en provenance du Pacifique.

L'indice du Pacifique Nord (IPN) de la variation atmosphérique (Trenberth et Hurrell 1994) est représentatif d'une région géographique qui se situe plus proche de la région arctique canadienne et dont la taille lui est plus semblable que dans le cas de l'indice de l'oscillation arctique. En effet, cet indice est fondé sur les moyennes mensuelles de la pression au niveau de la mer dans la région délimitée par les 30° et 65° parallèles nord, le 160° méridien est et le 140° méridien ouest. Son importance éventuelle sur la région arctique canadienne réside dans son rôle en tant qu'extrémité sud d'un « mouvement de bascule » qui perturbe la différence nord-sud de la pression au niveau de la mer dans l'Alaska, ce qui influe à son tour sur la force du vent d'est dans le sud de la mer de Beaufort.

Les valeurs de l'IPN sont indiquées à la Figure 56. La série chronologique de l'IPN ressemble, à certains égards, à celle de l'indice de l'oscillation arctique (Figure 55), notamment pour ce qui est des sommets atteints en 1958, 1969, 1980 et 1987, puis de la baisse en 1990. Cette ressemblance semble logique, puisque l'IPN décrit l'un des centres d'action de l'oscillation arctique. Toutefois, ces deux séries chronologiques ne sont manifestement pas identiques. Rappelons qu'il n'y a pas de correspondance évidente entre l'indice du Pacifique Nord et les intervalles gris qui décrivent la variabilité dans le tourbillon de Beaufort.

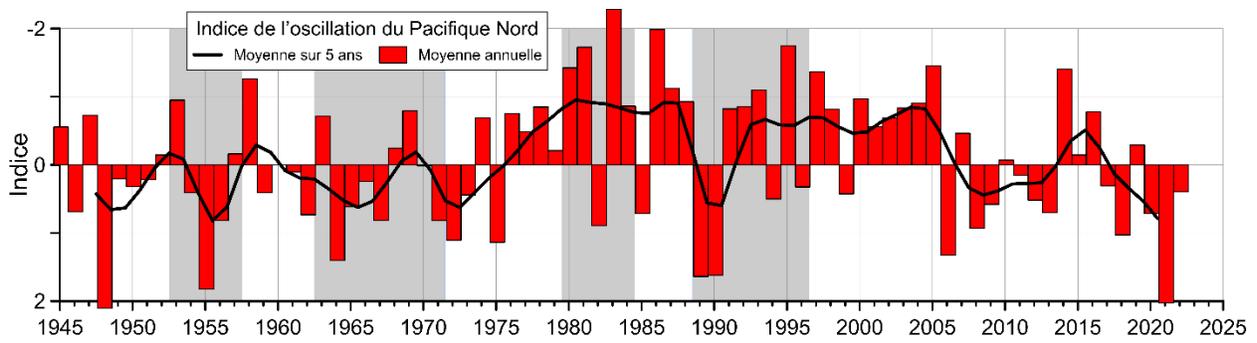


Figure 56. Variation de l'indice du Pacifique Nord au fil du temps. Pour faciliter l'interprétation (et les comparaisons ultérieures) des données, ce graphique présente les valeurs négatives de l'index dans sa partie supérieure. Les bandes grises indiquent les périodes d'intérêt dans la région de Beaufort. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/north-pacific-np-index-trenberth-and-hurrell-monthly-and-winter> (Trenberth et Hurrell 2019).

Un autre indice, l'oscillation du Pacifique Nord (Linkin et Nigam 2008), a été utilisé pour caractériser les variations atmosphériques à l'échelle d'une région beaucoup plus vaste du Pacifique Nord, délimitée par les 15° et 80° parallèles nord, le 130° méridien est et le 120° méridien ouest. Cet indice présente un point de vue légèrement différent sur la variabilité dans le Pacifique Nord. Il couvre une zone qui comprend les latitudes arctiques, mais aussi une partie des tropiques. Zhang et ses collaborateurs (2019) ont établi un lien entre l'indice de l'oscillation du Pacifique Nord au printemps et l'étendue de la glace de mer en septembre dans la mer de Beaufort. Ce lien semble découler de l'influence de l'oscillation du Pacifique Nord sur les vents de l'est au-dessus de la mer de Beaufort qui entraînent la glace au large exposant ainsi l'océan à la chaleur du soleil qui, à son tour, favorise la fonte de la glace de mer.

En somme, l'indice de l'oscillation arctique et l'indice de l'oscillation du Pacifique Nord sont utiles à deux égards. En premier lieu, ils révèlent la variabilité pluriannuelle considérable de la pression du vent et de la pression d'air qui sont caractéristiques des régions tempérées du Nord et des régions polaires de la Terre. En second lieu, ils révèlent que cette variabilité est cyclique, en ce sens qu'elle oscille entre les extrêmes, mais que sa période est irrégulière, comme l'indiquent ces courts intervalles qui varient entre 2 et 20 ans.

5.2 Variations dans l'environnement océanique

La variation des conditions environnementales au fil du temps remet en question notre capacité à décrire de manière fiable l'état actuel de l'Arctique (voir la section 1.1). Ici, nous nous efforçons de décrire un « état de l'Arctique » qui correspond à une moyenne des conditions sur 5 ans (de l'automne 2017 à l'automne 2022), soit un laps de temps suffisant pour prendre en compte des variations interdécennales et ne pas perdre la valeur d'actualité.

À l'exception de l'étendue de la glace de mer, qui est surveillée étroitement depuis un demi-siècle, peu de données océanographiques ayant une couverture spatio-temporelle adéquate ont été récoltées dans la région arctique canadienne. Les zones sur lesquelles nous disposons de suffisamment de données pour documenter l'état actuel de l'océan, y compris les principales voies océaniques, sont peu nombreuses (Figure 57).

- Bassin Canada, observation systématique de 2003 à aujourd'hui : cartographie géochimique annuelle en août, en septembre ou en octobre; observations à longueur d'année à partir de trois systèmes d'amarrage océanographiques.
- Plateau de la mer de Beaufort/golfe d'Amundsen, observation systématique de 1990 à aujourd'hui : observations à longueur d'année à partir de 2 à 10 systèmes d'amarrage océanographique; stations géochimiques occupées annuellement.
- Plateau polaire canadien, où un programme complet d'observation mis en place à la fin des années 1990 est devenu financièrement insoutenable en 2012 : amarrages océanographiques à longueur d'année et relevés géochimiques répétés.
- Baie de Baffin (Nord), observée systématiquement depuis 1998 : données principalement biogéochimiques.
- Détroit de Davis, observé systématiquement à longueur d'année depuis 2004.
- Baie d'Hudson, relevés en cours essentiellement biologiques.

Aucune des initiatives énumérées ci-dessus ne comprend la zone côtière, c'est-à-dire la région à 10 km et moins de la côte, bien que des connaissances inuites fournissent un contexte de variabilité à long terme. La grande région à l'extérieur des polygones indiqués à la Figure 57 montre clairement que la portée du suivi océanographique dans les eaux canadiennes est inadéquate.



Figure 57. Polygones (rouges) délimitant certaines parties de la région arctique canadienne où les observations permettent de décrire certains aspects de l'état de l'environnement océanique.

5.2.1 Bassin Canada

La zone du bassin Canada qui fait l'objet d'un suivi depuis 2003 est délimitée par la région en forme de clé de voûte ombrée à la Figure 58. Environ le tiers de cette région se trouve dans la zone économique exclusive canadienne. Les lignes marquent la lisière de glaces à la fin de l'été pour la période de 1980 à 2000 (bleu) et les reculs records des glaces en 2007 (magenta) et en 2012 (vert).

Depuis presque 20 ans, le tirant d'eau de la glace (partie immergée de son épaisseur) est surveillé à longueur d'année à trois ou quatre sites dans la région en forme de clé de voûte. Krishfield et ses collaborateurs (2014) discutent des observations recueillies jusqu'à l'automne 2013, et des données plus récentes sont accessibles (<http://www.whoi.edu/page.do?pid=6655>). La série chronologique mise à jour pour les observations sur le site BGOS-D (site D, Figure 58) est présentée à la Figure 59. Contrairement aux conditions des décennies précédentes, la fraction de l'eau libre (Figure 59a) à cet endroit à la fin de l'été a dépassé 50 % au cours de 11 des 16 étés d'observation; il y a eu plus de 75 % d'eau libre pendant un intervalle de temps prolongé au cours de huit de ces étés. Au cours de la première moitié de la période d'observation, de la glace d'une épaisseur moyenne de plus de 1,2 m (tirant d'eau de 1,1 m) était présente pendant environ six mois chaque année; au cours de la seconde moitié, de la



Figure 58. Emplacement du Beaufort Gyre Exploration Project dans le bassin Canada (région en forme de clé de voûte ombrée). Les flèches sont les voies présumées de la circulation des eaux du Pacifique. Les lignes colorées marquent la lisière de glaces à la fin de l'été (2012 en vert, 2007 en rose magenta, moyenne sur 20 ans en bleu). Les points marquent les emplacements de surveillance de la glace (sites D et 1).

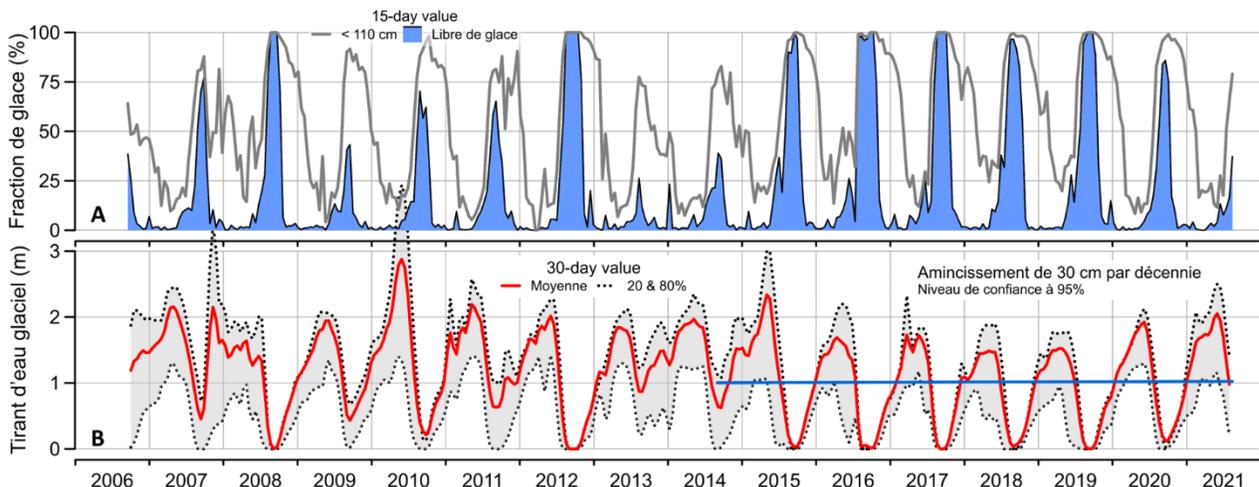


Figure 59. Variation de la banquise mesurée par un sonar de profilage de la glace sur le site D (Figure 58) de l'observatoire du tourbillon de Beaufort. Le graphique A montre l'étendue de l'eau libre et des glaces de moins de 1,1 m de tirant d'eau; le graphique B montre le tirant d'eau moyen des glaces et ses centiles; la ligne bleue est un ajustement par les moindres carrés à la seconde moitié de la période d'observation.

glace de ce type était présente seulement pendant environ quatre mois chaque année. La Figure 59b montre un cycle saisonnier dans le tirant d'eau moyen des glaces, qui passe d'environ 0,3 m en septembre à 2 m à la fin de mai (les régions d'eaux libres sont incluses dans la moyenne à titre de glace au tirant d'eau nul); une telle variation saisonnière est caractéristique d'une zone de glace de mer saisonnière et atypique à cet emplacement qui se trouvait auparavant sous une banquise de plusieurs années. La courbe du 80^e centile montre que les glaces avec un tirant d'eau de plus de 2,5 m – généralement des crêtes de pression et de la vieille glace – sont devenues rares à cet emplacement. Le tirant d'eau moyen des glaces a diminué de 30 ± 20 cm par décennie depuis 2003, avec un niveau de confiance de 95 %. Cependant, comme l'illustre l'ajustement par les moindres carrés à la seconde moitié de la période d'observation (ligne bleue à la figure 59b), il y a eu peu de changements au cours des sept dernières années.

La Figure 60 affiche les fractions de type glace calculées du 72° au 76° parallèle nord dans le sud-est du bassin Canada (sous-zones du Service canadien des glaces : bassin Canada, Beaufort, Prince Alfred). La date choisie à la fin septembre permet de documenter la glace qui a survécu au dégel de l'été. Jadis recouvert de 7 à 8 dixièmes de vieille glace à cette période de l'année, il n'en contient plus que de 0 à 7 dixièmes, avec de fortes fluctuations interdécennales. Le taux moyen de baisse a été de 13,5 % par décennie, bien qu'il n'y ait pas beaucoup de signes de changement dans un contexte de grande variabilité au cours des 15 dernières années. Le taux de diminution de la somme de la vieille glace et de la glace de deuxième année a été plus faible, soit environ 11 % par décennie, ce qui indique que la glace de deuxième année n'a pas été aussi fortement touchée.

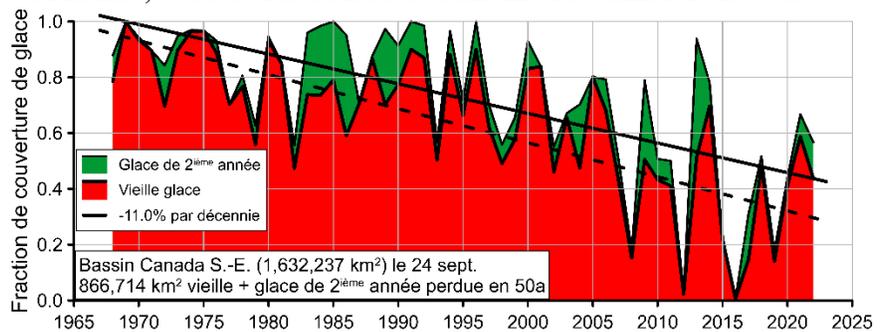


Figure 60. Couverture fractionnelle par type de glace du sud-est du bassin Canada à la fin de septembre. La tendance à la baisse de l'étendue de la glace à cette date (significative à un niveau de confiance de 95 %) représente la contribution de cette région à la diminution générale de la couverture de glace de la fin de l'été dans l'Arctique (source : IceMap, Service canadien des glaces 2023).

Au cours des six premières années de suivi de l'épaisseur de la glace dans le bassin Canada, le volume d'eau douce diluant l'eau de mer de salinité nominale de 34,8 dans la région du tourbillon de Beaufort – la rotation dans le sens horaire de l'eau dans le bassin du Canada – a augmenté d'environ 50 % (Figure 61). Toutefois, les variations du stockage d'eau douce du tourbillon depuis lors ont été moins spectaculaires. Au début, comme l'augmentation de l'eau douce était plus importante à faible qu'à grande

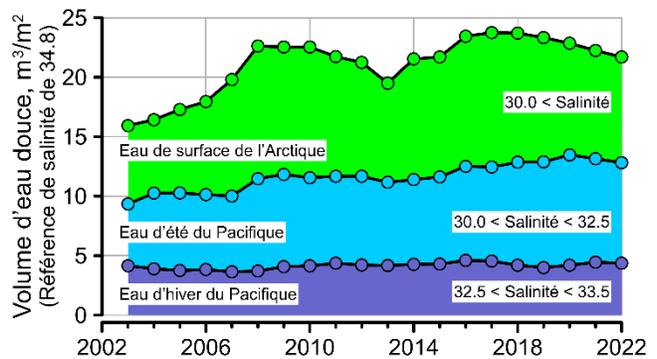


Figure 61. Volume d'eau douce diluée dans diverses masses d'eau de mer présentes dans le tourbillon de Beaufort. Mise à jour de Proshutinsky *et al.* (2019).

profondeur, la stratification verticale (stabilité) de l’océan – ou sa résistance au brassage (Davis *et al.* 2016) – a augmenté. Une grande partie de l’eau douce supplémentaire dans la couche supérieure de l’océan (partie verte à la Figure 61) provenait des cours d’eau et de la fonte de la glace de mer de l’Arctique. Le volume stocké à partir de cette source a diminué au cours des cinq dernières années. Entre-temps, le volume d’eau douce stocké dans l’eau de mer de salinité intermédiaire (bleu à la Figure 61) augmente régulièrement (Lin *et al.* 2023). Cette eau douce provient de l’arrivée d’eau du Pacifique dans l’Arctique par le détroit de Béring.

L’accumulation accrue d’eau douce dans le tourbillon de Beaufort reflète en partie la configuration récente des vents dominants dans l’Arctique. L’alternance à intervalles de 5 à 10 ans dans le bassin Canada entre les configurations de circulation des vents dans le sens horaire et dans le sens antihoraire (Thompson 2019) est décrite à la section 5.1. Proshutinsky et Johnson (1997) ont montré que cette variation au-dessus de l’Arctique génère des phases alternées de circulation de l’eau dans le sens horaire et dans le sens antihoraire dans le bassin Canada, que les deux auteurs ont nommé l’oscillation de l’océan Arctique. La cartographie hydrographique annuelle du tourbillon a révélé qu’une phase positive du cycle en question (circulation dans le sens horaire) qui a débuté à la fin des années 1990 a persisté beaucoup plus longtemps qu’auparavant. En effet, l’oscillation de l’océan Arctique s’est avérée positive pour une 26^e année en 2022 (Figure 62).

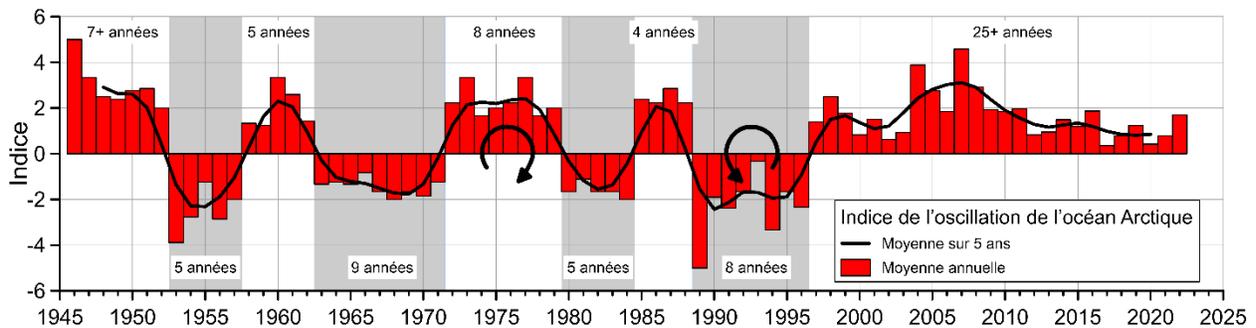


Figure 62. Variation de l’indice de l’oscillation arctique indiquant les intervalles d’alternance du sens de la rotation depuis 1945. Données tirées de Proshutinsky *et al.* (2015) et de <http://www.who.edu/page.do?pid=66578>.

Les observations effectuées depuis 2003 révèlent que la productivité marine estivale dans le bassin Canada est dans un état compatible avec un accès réduit aux nutriments. Les nutriments dissous nécessaires à la croissance du plancton marin dans les eaux de surface ensoleillées de l’Arctique doivent être reconstitués à partir de la couche d’eau du Pacifique, riche en nutriments, mais située sous la surface. Le brassage de la couche supérieure de l’océan amène ces nutriments vers la surface et nous trouvons un faible maximum de chlorophylle de subsurface au-dessus des eaux du Pacifique – un endroit où les nutriments indispensables (provenant du bas) et la lumière du soleil (provenant du haut) sont faiblement disponibles.

Les observations effectuées depuis 2003 révèlent que la productivité marine estivale dans le bassin Canada est dans un état compatible avec un accès réduit aux nutriments. Les nutriments dissous nécessaires à la croissance du plancton marin dans les eaux de surface ensoleillées de l’Arctique doivent être reconstitués à partir de la couche d’eau du Pacifique, riche en nutriments, mais située sous la surface. Le brassage de la couche supérieure de l’océan amène ces nutriments

vers la surface et nous trouvons un faible maximum de chlorophylle de subsurface au-dessus des eaux du Pacifique – un endroit où les nutriments (provenant du bas) et la lumière du soleil (provenant du haut) sont limités.

Dans les eaux de surface appauvries en nutriments du tourbillon, la production marine s'est avérée semblable à celle d'autres tourbillons, où tous les nutriments dissous sont immédiatement utilisés par le phytoplancton, qui est ensuite immédiatement brouté par le zooplancton (Stanley *et al.* 2015). Cet écosystème étroitement couplé a connu des augmentations de production reflétant l'augmentation de la lumière disponible à la surface de la mer, car la glace de mer crée moins d'ombre en été (Stanley *et al.* 2015; Ji *et al.* 2019).

Une augmentation de l'acidité des eaux marines de surface est une nouvelle source de stress sur l'écosystème, qui a été découverte grâce à des observations soutenues dans le bassin Canada (Zhang *et al.* 2020). L'augmentation de l'acidité résulte en partie de l'augmentation du dioxyde de carbone dans l'atmosphère, qui se dissout progressivement dans les océans du monde pour former de l'acide carbonique. Dans le bassin Canada en particulier, la fonte de la glace de mer et des eaux fluviales, qui sont naturellement plus acides que l'eau de mer et qui, comme nous l'avons mentionné précédemment, se sont accumulées dans les eaux de surface du bassin Canada au cours des deux dernières décennies, a eu un effet cumulatif. Près de la surface et dans la couche froide au centre, à une profondeur d'environ 120 m, l'acidité de l'eau a suffisamment augmenté pour dissoudre les coquilles dures de certains organismes marins. La corrosivité de l'eau marine de surface dans le bassin Canada, qui est représentée par la valeur Ω , propre à chaque type d'ion carbonate dans les coquilles, est indiquée à la Figure 63 pour l'aragonite. Les valeurs Ω inférieures à 1 menacent les organismes marins.

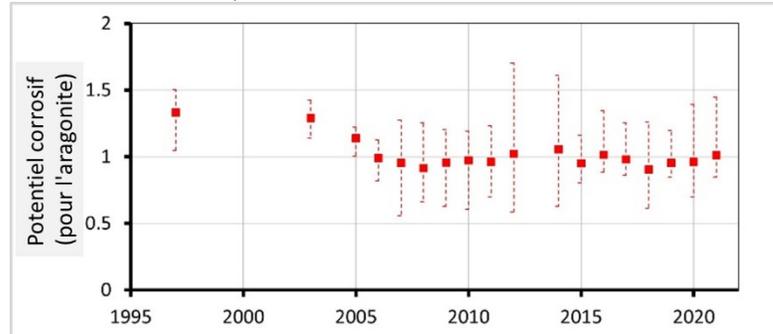


Figure 63. Valeurs d'un indice Ω dans les eaux de surface du bassin Canada entre 1997 et 2021. Ω représente l'effet corrosif de l'eau de mer sur les organismes à coquille dure, ici sur une pierre calcaire appelée aragonite. Le seuil de dommage est 1. Les lignes en tirets couvrent l'étendue des variations par année dans le bassin. Données inédites fournies gracieusement par M. Yamamoto-Kawai.

5.2.2 Plateau du Mackenzie et golfe Amundsen

La zone marine du plateau du Mackenzie et du golfe Amundsen est la zone de l'Arctique canadien sur laquelle on dispose du plus de connaissances. Depuis 1990, plusieurs sites dans cette zone font l'objet d'observations soutenues tout au long de l'année à l'aide d'instruments autonomes installés sur des systèmes d'amarrage immergés et de relevés annuels menés à bord de navires.

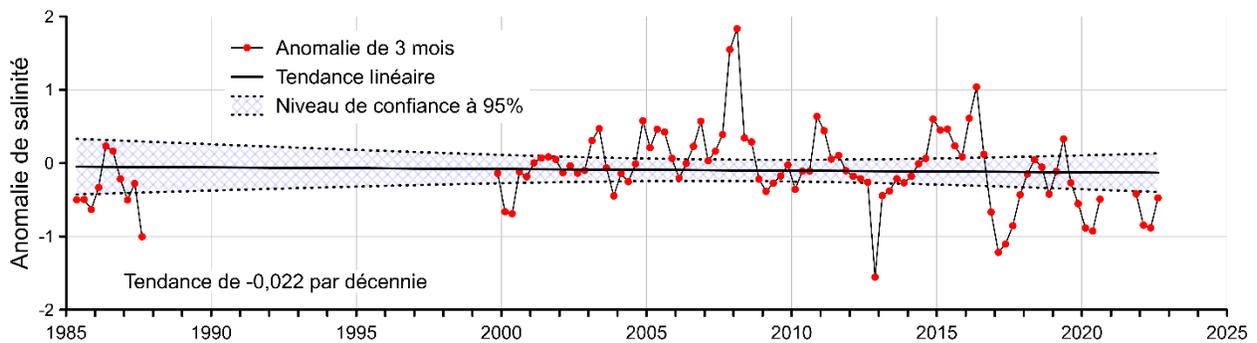


Figure 64. Anomalie sur trois mois de la salinité de l’eau de mer près du plancher océanique du plateau du Mackenzie dans le sud de la mer de Beaufort (source : données inédites du MPO).

Les registres continus que nous possédons sont ceux des variables océaniques dont l’observation par des instruments autonomes est la plus facile et la plus fiable. Ils offrent des indications sur la variabilité et les changements dans l’océan, mais sont loin d’être exhaustifs dans un contexte écologique.

Les registres les plus longs documentent la salinité et la température à 3 m au-dessus du plancher océanique (profondeur de 53 m) au milieu du plateau du Mackenzie. La salinité moyenne à cet endroit est d’environ 32,5, la valeur la plus faible étant observée en été et la valeur la plus élevée, en hiver; depuis 1985, les valeurs ont varié de 27 à 36,5. Dans la mesure où une telle variabilité masque les changements progressifs, nous examinons les anomalies saisonnières – soit les différences entre les valeurs saisonnières moyennes pour une année particulière et la moyenne de la saison sur toutes les années. La Figure 64 présente la série chronologique et sa tendance, soit une diminution minimale de 0,07 en trois décennies. La tendance est trop faible par rapport à la variation naturelle (c’est-à-dire qu’elle ne diffère pas de zéro avec un niveau de confiance de 95 %) pour être considérée comme un changement important du régime de l’océan à cet endroit.

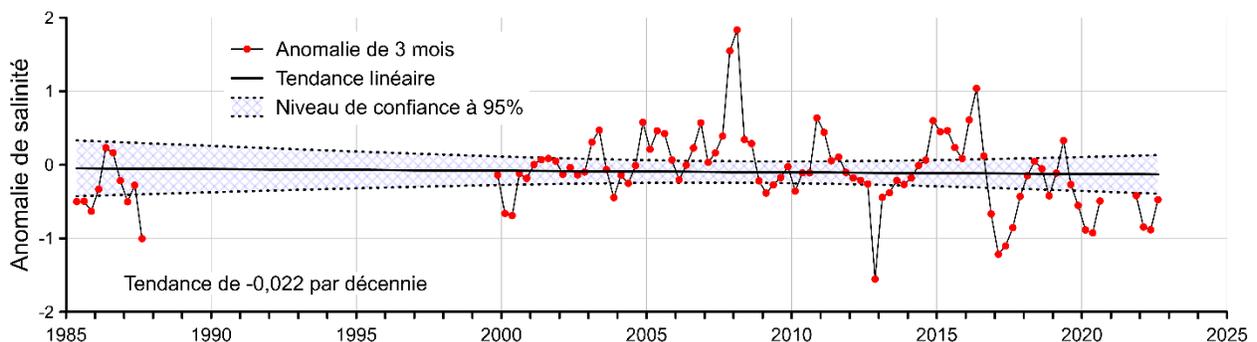


Figure 65. Anomalie sur trois mois de la température de l’eau de mer près du plancher océanique du plateau du Mackenzie (source : données inédites du MPO).

La température près du plancher océanique au milieu du plateau du Mackenzie se situe habituellement près de $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, soit quelques dixièmes de degré au-dessus du point de congélation. Depuis 1985, cette température a varié entre -2 et $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La série chronologique des anomalies saisonnières de température (Figure 65) montre une tendance de réchauffement faible, soit $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ par décennie, une valeur également trop faible par rapport à la variation pour être considérée comme un changement important. Cependant, bien que l’océan à cet endroit et à cette profondeur ait connu peu de réchauffement net, la série chronologique semble révéler une

variation sur plusieurs décennies des températures automnales, montrant des eaux plus chaudes à la fin des années 1980 et au début des années 1990, et de nouveau de façon intermittente depuis 2014. Étant donné que les eaux plus chaudes apparaissent en automne lorsque les eaux locales se refroidissent rapidement, il est fort probable qu'elles soient associées à une plus grande pénétration vers l'est du courant côtier de l'Alaska le long du talus nord, ce qui pourrait refléter des vents est automnaux plus faibles dans le sud de la mer de Beaufort au cours de ces années.

À cet endroit, nous avons également mesuré le courant océanique juste au-dessus du plancher océanique toutes les heures chaque jour depuis 1990. En additionnant chaque petit déplacement horaire sur une période d'un an, il est possible de calculer la distance et la direction annuelles du flux des eaux près du plancher océanique. La composante de ce flux qui est dirigée vers la côte représente le déplacement de l'eau des zones profondes vers les zones moins profondes. S'il est suffisamment intense et prolongé, un tel mouvement ascendant (« remontée d'eau ») peut soulever les eaux riches en nutriments du Pacifique des couches situées à plus de 100 m de profondeur sur le talus continental jusqu'à la zone ensoleillée du plateau interne. La Figure 66 montre que cette composante de la remontée d'eau a doublé au cours du dernier quart de siècle; ce changement est suffisamment important par rapport à la variation pour être considéré, avec un niveau de confiance de 95 %, comme un changement important dans le régime de l'océan à cet endroit. L'augmentation mesurée de la remontée d'eau plus salée provenant de couches plus profondes est cohérente avec la phase anticyclonique prolongée de la circulation arctique mentionnée précédemment. De plus, comme les concentrations de nutriments dissous augmentent avec la profondeur dans la couche supérieure de 150 m, une remontée d'eau plus forte pourrait être bénéfique pour le réseau trophique marin sur les plateaux du sud de la mer de Beaufort.

La glace de mer sur le plateau du Mackenzie est suivie en détail depuis 1991. Cette région diffère du centre de l'océan Arctique dans la mesure où ses eaux sont libres de glace en été – elle fait partie du domaine de la glace saisonnière de l'Arctique. À l'instar de la salinité et de la température de l'eau marine, la variation et les modifications de la glace sont plus facilement illustrées comme des anomalies par rapport à une moyenne à long terme. Nous utilisons les anomalies mensuelles de la glace de mer, car les propriétés de la glace varient considérablement au cours de l'année.

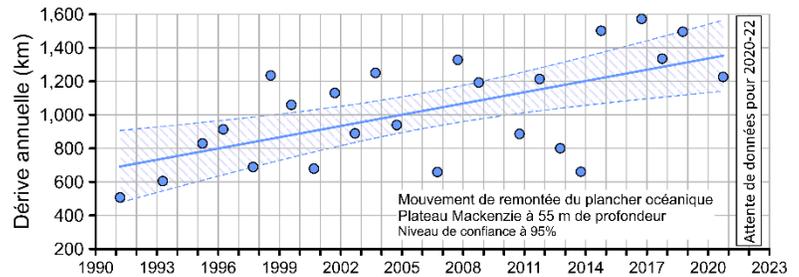


Figure 66. Distance parcourue annuellement dans le sens ascendant par les eaux près du plancher océanique au milieu du plateau du Mackenzie. Le doublement de ce mouvement au cours du dernier quart de siècle est statistiquement significatif avec un niveau de confiance de 95 % (source : données inédites du MPO).

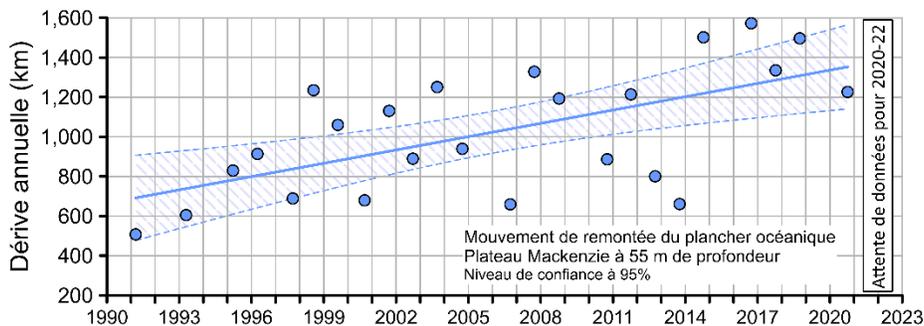


Figure 67. Anomalie mensuelle de la couverture fractionnelle de la glace de mer ou de la concentration de la glace, au milieu du plateau du Mackenzie. Les mois les plus chauds sont en bleu et les plus froids, en noir. À cet endroit, la concentration de glace a diminué de 4,5 % par décennie en moyenne au cours du dernier quart de siècle. Les limites de confiance à 95 % sont indiquées en gris (source : données inédites du MPO).

La Figure 67 montre les anomalies de la concentration de glace mesurée par un sonar immergé au milieu du plateau. Les données des mois froids sont représentées par les points noirs; les anomalies de l’hiver sont très proches de zéro tout au long de la période d’observation – aucun changement dans la concentration de la glace à cette période de l’année. Les données de la moitié la plus chaude de l’année sont représentées par les points bleus; les anomalies de l’été sont également généralement proches de zéro, ce qui indique que la mer demeure libre de glace à cet endroit en été comme par le passé. Il reste comme caractéristique une anomalie des doubles pics pour la plupart des années, qui indique des conditions anormales en juin et en octobre entre l’hiver et l’été; les pics sont positifs (plus de glace que la moyenne à long terme) dans les premières années et deviennent négatifs dans les années plus récentes. Ceci montre qu’une réduction de la glace dans la zone de glace de mer saisonnière s’est produite via la prolongation de la période estivale sans glace aux deux extrémités. La tendance générale de 4,5 % par décennie (Figure 67) est maintenant, après presque trois décennies, suffisamment importante par rapport à la variation naturelle pour être jugée significative à un niveau de confiance de 95 %, bien qu’elle soit sensiblement plus faible que la perte de glace (ancienne) à quelques centaines de kilomètres plus au nord dans le bassin Canada.

Le changement observé dans la glace de mer sur le plateau du Mackenzie s’inscrit dans la phase prolongée de circulation de l’Arctique dans le sens horaire et le vent de l’est persistant dans le sud de la mer de Beaufort que cette circulation a généré au printemps et à l’automne (Proshutinsky et Johnson 1997). Les vents d’est poussent la glace plus rapidement vers l’ouest, établissant ainsi une surface de mer libre de glace plus tôt au printemps et plus tard à l’automne (Figure 68). Les données de suivi du MPO sur la glace du milieu du plateau du Mackenzie montrent une augmentation de cette poussée annuelle vers l’ouest de 150 km au cours des 25 dernières années.

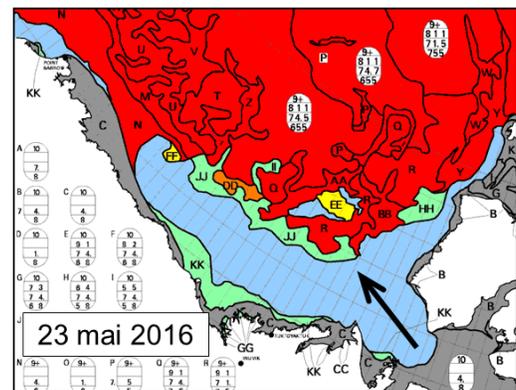


Figure 68. Carte des glaces de la mi-mai 2016 montrant une vaste étendue d’eau libre dans le sud-est de la mer de Beaufort. Les vents de l’est (flèche) libèrent généralement cette zone des glaces à la fin de l’hiver, bien avant le début de la fonte de la neige et de la glace.

La partie immergée (tirant d'eau) de la banquise fait également l'objet d'un suivi au site 1 (Figure 58) au milieu du plateau du Mackenzie depuis 1991 (Melling et Riedel, 1995, 1996; Melling *et al.* 2005). La Figure 69 montre la fraction de superficie de l'eau libre et celle de l'eau libre plus la nouvelle glace, la glace mince et la glace moyenne (A) et les valeurs moyennes mensuelles du tirant d'eau moyen des glaces (B), y compris l'eau libre au titre de « glace » au tirant d'eau nul. Il est intéressant de comparer les observations du milieu du plateau du Mackenzie (site 1, Figure 69) avec celles du site D (Figure 59) dans la zone (ancienne) de vieille glace, à 460 km au nord-nord-ouest (Figure 58). La Figure 59a (site D) et la Figure 69a (site 1) semblent très similaires, sauf pour la période annuelle d'eau libre qui est plus fiable et qui persiste plus longtemps sur le plateau. Le tirant d'eau maximum typique sur le plateau (site 1) à la fin de l'hiver est de 3 m, soit 50 % de plus que la valeur observée plus au large (site D). La valeur supérieure du tirant d'eau sur le plateau s'explique par un plus grand volume de glace dans les crêtes de pression à cet endroit. Le 80^e centile, une mesure de la formation des crêtes de glace, se situe entre 4 et 7 m sur le plateau, contre pas plus de 2 m plus au nord. Le site 1 a connu des hivers de glace très mince, en particulier les hivers 1997-1998 et 2007-2008; ces deux hivers correspondent à des conditions de vents de l'est forts et persistants qui ont poussé de manière continue la glace la plus récente en dehors de la région sud-est de la mer de Beaufort. La tendance du tirant d'eau moyen des glaces, calculée à partir des anomalies mensuelles du tirant d'eau (non représentées), consiste en un lent amincissement d'environ 6 cm par décennie, beaucoup moins que les 40 cm par décennie observés dans le bassin Canada. En raison de la grande variabilité interannuelle, la tendance sur le plateau du Mackenzie diffère de zéro avec un niveau de confiance de seulement 67 %. L'information fournie par ce registre de données unique porte à croire que la glace saisonnière sur les plateaux continentaux réagit différemment aux changements climatiques que la vieille glace dans les bassins centraux profonds.

Les changements de la glace de mer entraînent une variété de répercussions écologiques. La diminution de la glace (étendue, épaisseur, mobilité) est bénéfique pour certaines formes de vie, en améliorant la facilité d'accès, la disponibilité de la lumière et la protection contre les prédateurs, par exemple. Elle nuit à d'autres formes de vie, en réduisant la facilité d'accès, la protection contre les prédateurs et l'habitat. L'utilisation de la glace de mer par les mammifères marins est résumée à l'annexe A.

Figure 70 affiche les fractions de type glace calculées pour les plateaux continentaux dans le sud-est du bassin Canada (sous-zones du Service canadien des glaces : Beaufort-Mackenzie, bancs de Beaufort, ouest de l'Arctique embouchure de l'Amundsen, ouest de l'Arctique-Amundsen). La date choisie à la fin septembre permet de documenter la glace qui a survécu au dégel de l'été. Au cours des trois premières décennies du registre, la couverture de glace à cette date était d'environ 2 dixièmes, avec des fluctuations interdécennales de 0 à 5 dixièmes. Au cours des deux dernières décennies, la moyenne était de 0,8 dixième, avec des fluctuations de 0 à 3 dixièmes. Le taux moyen de baisse était de 14,6 % par décennie, avec un niveau de confiance d'environ 75 %. La comparaison avec la diminution plus lente de la vieille glace montre que la glace de deuxième année est devenue moins commune. Cela signifie qu'au cours des dernières décennies, une plus grande partie de la vaste couverture de glace épaisse de première année de cette région en hiver s'est déplacée ou a complètement fondu dans la région. Il est intéressant de noter que, comme cette région a toujours été dominée par la glace de première année, le taux d'augmentation de la zone d'eau libre à la fin de septembre a été lent, à seulement 3,8 % par décennie.

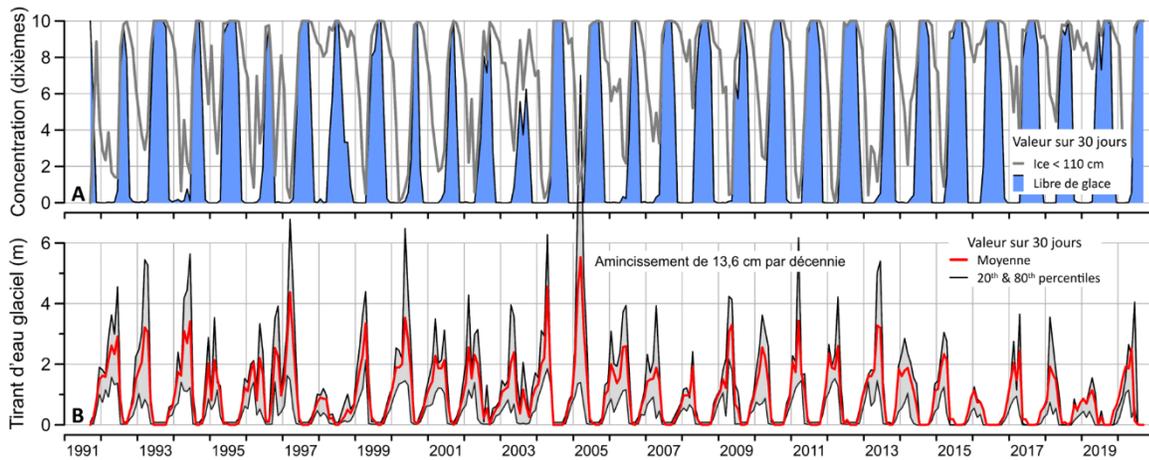


Figure 69. La variation de la banquise mesurée par un sonar de profilage de la glace au site 1 de l’observatoire de Beaufort du MPO (milieu du plateau du Mackenzie). Le graphique A montre l’étendue de l’eau libre et des glaces de moins de 1,1 m de tirant d’eau; le graphique B montre le tirant d’eau moyen des glaces et ses percentiles (source : données inédites du MPO).

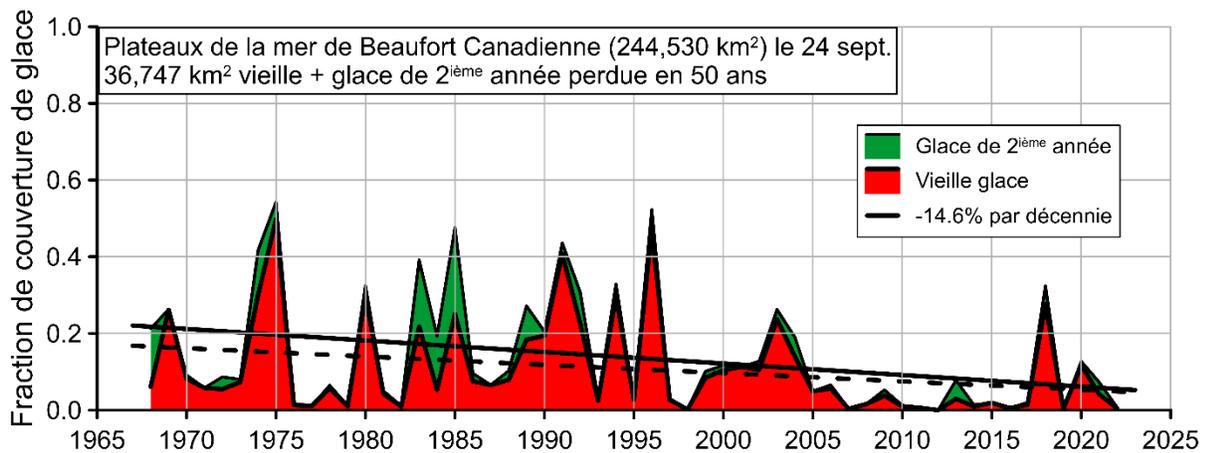


Figure 70. Couverture fractionnelle par type de glace du plateau continental du sud-est du bassin Canada à la fin de septembre. La tendance à la baisse de l’étendue de la glace à cette date (significative à un niveau de confiance de 75 %) représente la contribution de cette région à la diminution générale de la couverture de vieille glace de la fin de l’été dans l’Arctique (source : IceMap, Service canadien des glaces 2023).



BOÎTE À OUTILS : Observations océaniques à long terme

La désignation d'un changement important dans les conditions océaniques exige un suivi soutenu à long terme en raison de la variabilité naturelle inhérente des caractéristiques de l'océan Arctique. Une telle variabilité peut se produire à des fréquences décennales (10 ans) ou même plus longues. Par conséquent, le suivi de variables principales comme la température et la salinité pour des périodes de 10 ans ou moins peut ne pas être suffisant pour fournir des données scientifiques sur l'évolution de l'océan. Sur le plateau du Mackenzie, dans l'ouest de l'Arctique canadien, plus de 30 ans de suivi soutenu des courants océaniques ont récemment permis de déceler une augmentation importante de la remontée d'eau, ce qui représente un changement important pour l'écosystème. L'absence d'observatoires océaniques à long terme dans l'Arctique canadien accroît l'incertitude des prévisions des systèmes océaniques. Les plus longues observations océanographiques soutenues du Canada proviennent de deux systèmes d'amarrage sur le plateau du Mackenzie. Il n'existe qu'un seul observatoire océanique au large (8 km de long) câblé avec une capacité de transmission des données en temps réel dans l'Arctique canadien, situé dans le détroit de Barrow (Figure 71). Le câble a été installé en 2011 et la suite complète d'instruments actuellement installés à l'observatoire du détroit de Barrow transmet des données en temps réel depuis 2017. Les observations de cet observatoire câblé s'ajoutent à celles des mouillages qui ont été recueillies avant 2011 (section 6.3). La baie Cambridge dispose également d'un observatoire câblé peu profond (à moins de 200 m du rivage) qui dépend de l'alimentation électrique et des communications terrestres pour fournir des données en temps réel. L'observatoire câblé de la baie Cambridge a franchi le cap des 10 ans le 2 octobre 2022.

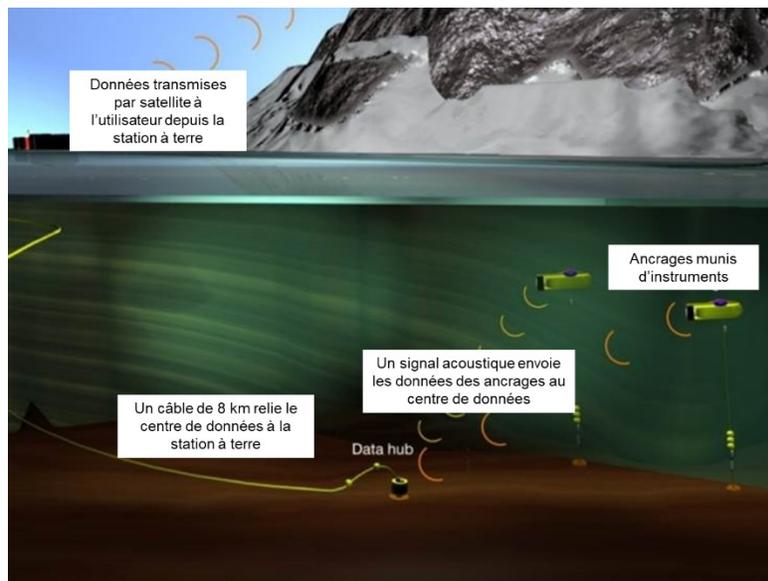


Figure 71. Schéma de l'observatoire océanique du détroit de Barrow montrant les capteurs qui mesurent l'état de l'océan et qui transmettent les données en temps réel.

5.2.3 Plateau polaire canadien

Compte tenu du peu d'effort apporté aux activités d'observation soutenue du plateau polaire canadien, nous ne connaissons pas l'état de la majeure partie de cette vaste zone. Les connaissances sur les variations et les changements de la glace sont rares par rapport à celles dont nous disposons sur la mer de Beaufort. Toutefois, nous disposons de longs registres systématiques de l'état des glaces grâce aux satellites d'observation de la Terre et au Service canadien des glaces. La glace de plusieurs années sur le plateau polaire canadien présente un intérêt particulier, car, combinée à une partie adjacente de la zone économique exclusive canadienne, elle constituera probablement dans le futur, la majeure partie d'un « dernier refuge de glace » (<http://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/conservation/higharctic-hautarctique/index-fra.html>), vestige présumé de la banquise polaire actuelle après plusieurs dizaines d'années de réchauffement climatique. Howell et ses collaborateurs (2008, 2015) et Melling (2022) offrent de l'information sur la dynamique de la glace de plusieurs années dans cette zone.

Un demi-siècle d'observation de la couverture de glace par le Service canadien des glaces offre une vision à long terme des variations et des changements de la glace sur le plateau polaire canadien. La Figure 72 présente les fractions des types de glace calculées dans des sous-zones présentant au moins 20 % de glace de plusieurs années (sous-zones du Service canadien des glaces :

Extrême-Arctique, détroit de

Nares, chenal Parry [ouest], détroit de M'Clintock, détroit de Larsen, détroit de Victoria). La date choisie à la fin septembre permet de documenter la glace qui a survécu au dégel de l'été. La vieille glace couvre environ la moitié de la surface de la mer à cet endroit et le signal dominant est une variation décennale. Il y a eu une légère diminution de la quantité de glace de plusieurs années ici (environ 20 % sur 50 ans), probablement attribuable à une baisse prolongée de la couverture de plusieurs années pendant la seconde moitié de la période d'observation (1998 à 2000 et 2008 à 2013). Le taux de diminution de la superficie combinée de glace de plusieurs années et de glace de deuxième année a été plus prononcé, soit environ 7 % par décennie, ce qui indique une réduction de la superficie de glace de première année qui survit maintenant au dégel estival.

Les données des deux sources illustrent les variations et les changements de l'épaisseur de la glace sur le plateau polaire canadien. Les organismes météorologiques canadiens mesurent l'épaisseur de la glace fixée au littoral à divers endroits au Canada depuis la fin des années 1940 (Brown et Cote 1992; Flato 1996; Dumas *et al.* 2005; Howell *et al.* 2016). Trois stations, Eureka,

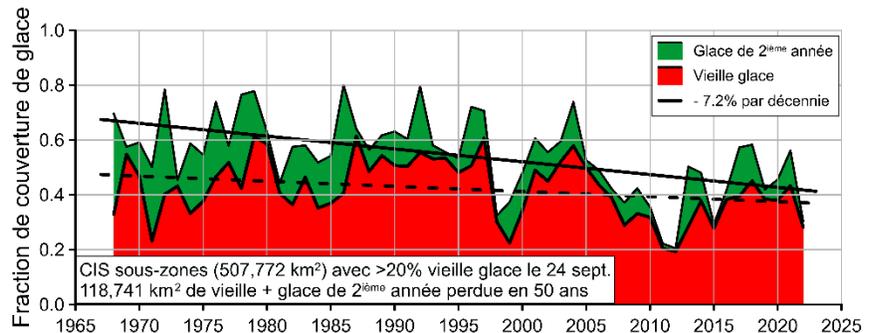


Figure 72. Fraction de glace de plusieurs années (rouge) dans des sous-zones du plateau polaire canadien où la fraction de la glace de plusieurs années moyenne est de 20 % ou plus. La zone verte représente la glace de première année le 24 septembre, qui deviendra de la glace de deuxième année le 1^{er} octobre (source : IceMap, Service canadien des glaces 2023).

Resolute Bay et Cambridge Bay, situées près des 80^e, 75^e et 69^e parallèles nord, respectivement, offrent une vue le long d'un transect arctique nord-sud (Figure 73). Les longs graphiques à gauche montrent les valeurs annuelles (points rouges), une moyenne sur 5 ans et une ligne de tendance. Les tendances sont toutes négatives, faibles (entre -3,8 et -1,5 cm par décennie) et se distinguent statistiquement de zéro avec un niveau de confiance de 95 %. Les tendances de l'épaisseur de la banquise sur le plateau de la mer de Beaufort et dans le bassin Canada sont de 4 à 10 fois et de 10 à 20 fois plus importantes, respectivement, que sur le plateau polaire canadien. Les diagrammes de dispersion de l'épaisseur de la glace par rapport à la hauteur de la neige (figure 73) montrent une forte corrélation négative entre les deux variables (graphiques à droite), ce qui donne à croire que les variations de la température de l'air ont une importance secondaire sur la croissance de la glace d'hiver dans cette zone (Dumas *et al.* 2005).

L'épaisseur de la glace fixée de plusieurs années dans l'ouest de l'Extrême-Arctique canadien a été systématiquement cartographiée pendant les hivers des années 1970 dans le cadre de forages lors de relevés sismiques (Melling 2002). Cependant, ce n'est qu'en 2003 que le MPO a commencé à examiner la glace de plus près, en plaçant un sonar de profilage de la glace dans les détroits de Nares, de Penny et de Byam Martin par lesquels la glace quitte le « dernier refuge de glace ». Les instruments utilisés dans le détroit de Nares de 2003 à 2012 ont permis d'obtenir la plus longue série chronologique récente; les valeurs moyennes d'épaisseur de la glace s'étendaient de trois à six mètres, avec une moyenne globale de 4,5 m pour la glace mesurée sur une zone de 25 km (données inédites du MPO). Bien que nous ne disposions pas de données sur les décennies précédentes à des fins de comparaison, les valeurs récentes correspondent à la configuration spatiale de l'épaisseur de la glace dans l'océan Arctique des années 1960 aux années 1980 (Bourke et Garrett 1987), ce qui porte à croire que les changements sont limités.

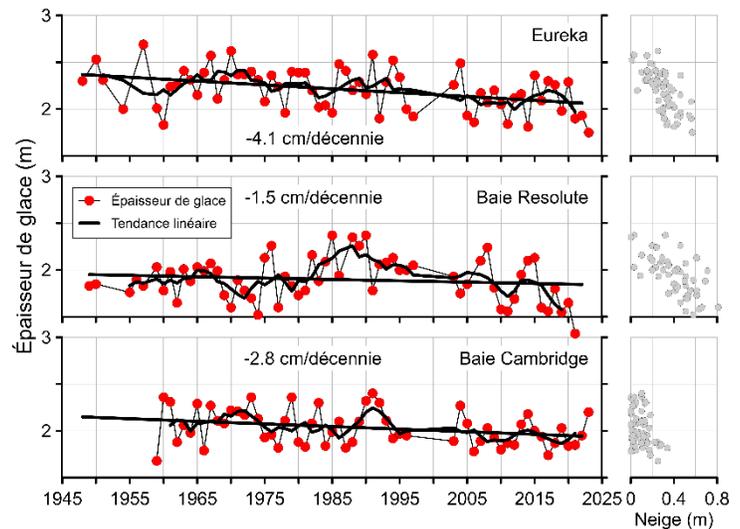


Figure 73. Épaisseur de glace fixée en fin d'hiver (en rouge) dans trois stations sur le plateau polaire canadien depuis la fin des années 1940. Les diagrammes de dispersion à droite montrent que les années où la glace est plus mince ont tendance à être celles où la neige est plus haute (source : données inédites du Service canadien des glaces).

Les observations effectuées dans le détroit de Byam Martin en 2011 sont comparées à celles des années 1970 (Melling 2002) à la Figure 74. Les données récentes (zone ombragée) montrent une distribution du volume de glace par rapport à l'épaisseur qui est égale ou supérieure à celle des années 1970 (lignes de couleur). Il apparaît clairement qu'en 2011 au moins, la glace de plusieurs années ressemblait beaucoup à celle des décennies précédentes. Les données de 2011 font partie de la série de quatre étés récents représentés à la Figure 75. Les moyennes globales pour chaque été (environ trois mètres) ont des valeurs proches et sont comparables aux mesures de la glace des années 1970. Dans le détroit de Byam Martin, nous n'avons aucune donnée montrant un amincissement spectaculaire de la glace de plusieurs années au cours des 20 à 30 dernières années.

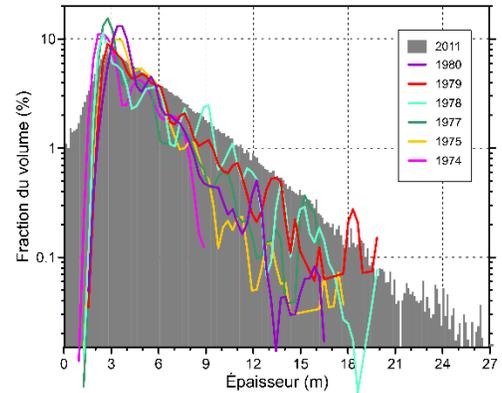


Figure 74. Fractions de volume de la banquise à chaque épaisseur de glace dans le détroit de Byam Martin. Les courbes colorées correspondent aux années 1970; la zone ombrée correspond à 2011 (source : données inédites du MPO).

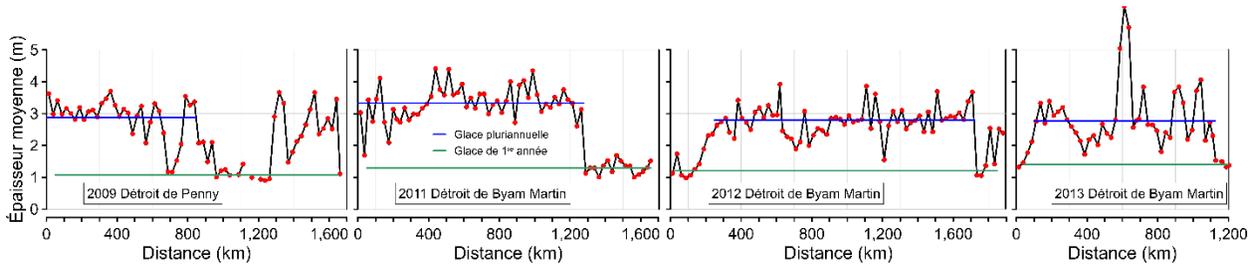


Figure 75. Valeurs moyennes d'épaisseur de la glace sur 25 km à la lisière sud du « dernier refuge de glace » pendant quatre étés récents. Des zones de glace de première année et de glace de plusieurs années ont été observées. L'épaisseur moyenne globale de la glace de plusieurs années était d'environ trois mètres (source : données inédites du MPO).

Le suivi de la circulation de l'eau de mer sur le plateau entre l'Arctique et l'Atlantique est la question océanographique concernant le plateau polaire canadien qui a reçu le plus d'attention. La circulation des eaux de l'Arctique vers l'Atlantique apporte des nutriments dissous dans les eaux productives de l'est de l'Arctique et tempère les régions marines du Canada; les flux transportent de l'eau douce qui peut réduire le brassage des eaux de surface et des eaux intermédiaires, de sorte que l'apport de nutriments dans la zone photique peut être restreint; de l'eau douce de l'Arctique en quantité suffisante peut réduire la convection profonde dans la mer du Labrador. Le déplacement de l'eau de mer de l'Atlantique vers le plateau polaire canadien via le courant de l'ouest du Groenland apporte de la chaleur qui réduit la formation de glace de mer, favorise le dégagement précoce de la glace dans l'est de la baie de Baffin et contribue à la fonte des glaciers d'eau de marée dans l'Extrême-Arctique canadien.

Les premières tentatives pour mesurer l'écoulement de l'eau dans l'Arctique canadien ont été faites dans le détroit de Barrow près de la baie Resolute au début des années 1980. Les efforts ont repris dans l'ouest du détroit de Lancaster à la fin des années 1990 avec une nouvelle technologie de sonar et de compas qui a permis de réduire les difficultés. Malgré ces tentatives,

seules les observations des courants, de la température et de la salinité de l’océan ont été maintenues.

Le mouvement net vers l’est de l’eau de mer dans le détroit de Lancaster (Peterson *et al.* 2012) est représenté dans le graphique du haut de la Figure 76; l’unité (milli-Sverdrup ou mSv) correspond à $1\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$, qui équivaut à $31\text{ km}^3\text{ an}^{-1}$). Un cycle annuel se présente clairement avec un débit plus fort en été et une faible tendance à la baisse (ligne rouge) qui n’est pas statistiquement significative. La ligne noire en tirets correspond à la tendance de 2003 à 2009 dont il sera question ci-dessous. La valeur moyenne annuelle la plus faible a été observée en 2007 et 2008, ce qui coïncide avec la valeur la plus élevée de l’indice de l’oscillation arctique. Le débit moyen global était de 460 mSv.

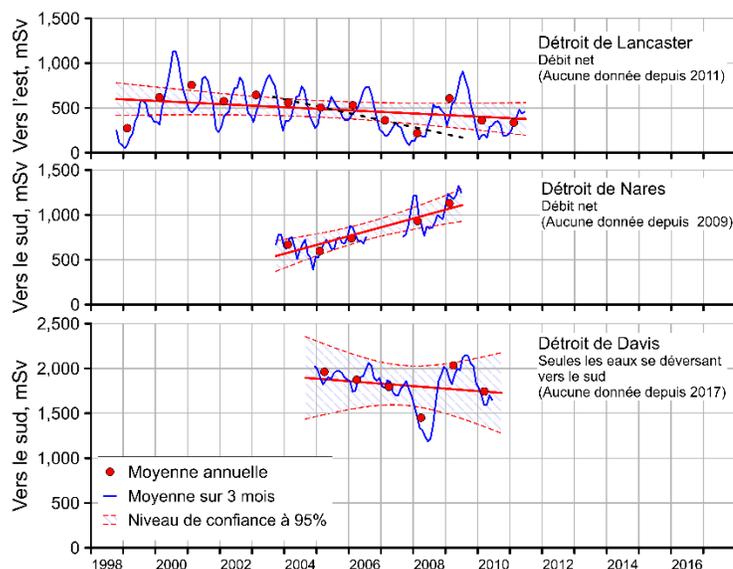


Figure 76. Mesures du débit de l’eau de mer allant de l’Arctique à l’Atlantique dans les détroits de Lancaster, de Nares et de Davis. Les deux premiers débits alimentent le troisième. L’unité est le milli-Sverdrup, qui correspond à $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$.

Un programme de suivi a été établi au milieu de l’année 2003 pour mesurer le débit de l’eau vers le sud de l’Arctique à l’Atlantique dans le détroit de Nares. Il a opéré dans sa configuration complète pendant six ans et dans une configuration réduite jusqu’en 2012, année où il a fermé. Le graphique du centre de la Figure 76 montre les moyennes saisonnières et annuelles du mouvement net de l’eau vers le sud pendant les six premières années (Münchow 2016). La variation saisonnière n’est pas aussi prononcée dans ce détroit, mais une tendance à un débit plus fort est statistiquement significative. Il convient de noter que l’augmentation du débit de l’eau de l’Arctique dans le détroit de Nares de 2006 à 2009 a correspondu dans le temps et en ampleur avec la diminution du débit sortant dans le détroit de Lancaster (voir la ligne noire tiretée de la tendance dans le cadre en haut). Le débit moyen global était de 815 mSv.

Un programme de suivi conjoint Canada – États-Unis couvrant le détroit de Davis a été lancé en 2004, un an plus tard que dans le détroit de Nares. Cet observatoire est demeuré fonctionnel jusqu’en 2017, mais le registre actuellement disponible se termine au milieu de l’année 2010 (Curry *et al.* 2014). L’installation visait à capter la majeure partie du débit de l’Arctique canadien sur une section transversale. Les observations sont présentées dans le graphique du bas de la Figure 76. Ce graphique fait place à des valeurs de débit plus élevées; il diffère également des deux graphiques au-dessus dans le sens où seule l’eau de l’Arctique (salinité inférieure à 33,7 et débit vers le sud) a été prise en compte. La forte circulation dans le sens antihoraire autour de la baie de Baffin d’eau plus salée provenant du courant de l’ouest du Groenland, qui ne fait pas partie du débit de l’Arctique, a été ignorée. Comme dans le détroit de Nares, la variation

saisonnière ne constitue pas un signal fort. Et comme dans le détroit de Lancaster, la faible tendance à la baisse mesurée sur 6 ans n'est pas statistiquement significative. Le débit moyen global était de 1 815 mSv, ce qui est sensiblement plus élevé que la somme des apports (1 275 mSv) du détroit de Nares et du détroit de Lancaster. Cependant, chacune des trois valeurs moyennes a été évaluée sur un intervalle de temps différent. Même lorsque le débit de 300 mSv dans le détroit de Cardigan et le canyon Hell Gate (données inédites du MPO) est inclus, il reste une valeur appréciable résiduelle (240 mSv) qui demande une explication.

Les répercussions en amont et en aval de ces transferts d'eau de mer entre l'Arctique et l'Atlantique varient selon les taux de transport. Les océanographes s'efforcent d'obtenir les meilleures valeurs d'observation possible, afin que la fiabilité des modèles de prévision climatique dans la représentation du débit de l'Arctique canadien puisse être évaluée. Une fois ces efforts accomplis, les modèles validés peuvent être utilisés pour prédire l'ampleur et les répercussions écologiques des futurs changements.

5.2.4 Baie de Baffin

La répartition de la salinité, de la température et de l'état de saturation de l'aragonite dans la couche de surface (20 à 40 m) est illustrée à la Figure 77. L'état de saturation de l'aragonite (Ω_{arg}) est un indicateur de la corrosivité de l'eau pour les organismes dont la coquille ou le squelette sont composés de carbonate de calcium. L'aragonite est l'une des formes minérales les plus courantes du carbonate de calcium. La variabilité spatiale à grande échelle de l'acidification des océans dans l'est de l'Arctique canadien est contrôlée par la répartition des sources d'eau, notamment le débit sortant de l'Arctique, l'eau de l'Atlantique et les eaux côtières fortement influencées par l'apport fluvial, comme celles observées dans la baie d'Hudson. La circulation générale dans la baie de Baffin est cyclonique (dans le sens antihoraire). Le courant froid et d'eau douce de l'île de Baffin, partie intégrante du débit sortant de l'Arctique dans l'archipel Arctique canadien, coule le long de l'île de Baffin. Le courant de l'île de Baffin est modifié par le débit sortant du détroit d'Hudson et devient une composante du courant du Labrador, qui continue de couler vers le sud. Le courant de l'ouest du Groenland, qui coule vers le nord le long du Groenland, a deux branches; un courant d'eaux moins salines sur le plateau continental, plus près de la côte, et le courant d'Irminger d'eaux plus salines qui longe le talus du Groenland, tous deux influencés par l'eau de l'Atlantique. Le détroit de Davis sépare la baie de Baffin de la mer du Labrador d'origine atlantique. Le réseau de la baie d'Hudson est l'une des plus grandes mers intérieures du monde, à la limite sud de l'Arctique canadien. Il s'agit d'un environnement marin peu profond (d'une profondeur maximale de 250 m) et les caractéristiques de la masse d'eau et de la circulation sont fortement influencées par la dynamique de l'eau douce, avec un apport fluvial important et la formation/fonte de la glace de mer. La salinité et l'état de saturation de l'aragonite montrent une répartition semblable et suggèrent que l'eau douce est le principal moteur de l'état de l'acidification des océans dans l'est de l'Arctique canadien. Les changements de brassage, de température et de salinité contribuent à l'évolution de l'acidification des océans en aval.

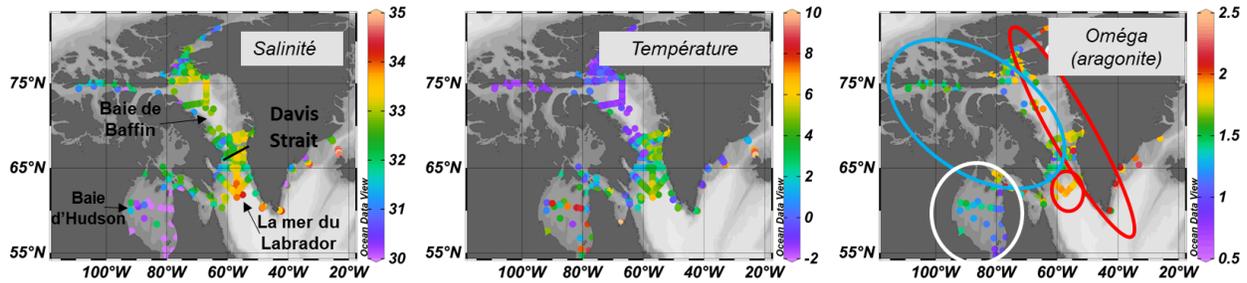


Figure 77. Salinité (ppt), température (°C) et saturation de l’aragonite (Ω_{arg}) dans les eaux de surface (20 à 40 m). Les données ont été recueillies de 1998 à 2021. Les cercles rouge, bleu et blanc sur le graphique de l’oméga indiquent les régions influencées par l’eau de l’Atlantique, l’eau de l’Arctique et les grandes sources d’eau douce fluviale, respectivement.

Dans le centre de la baie de Baffin, les eaux profondes et les eaux de fond occupent une profondeur de 1 200 à 1 800 m et de 1 800 à 2 136 m, respectivement. L’origine de ces masses d’eau est encore à l’étude. Dans les eaux plus profondes, de 1 000 à 1 200 m, les masses d’eau sont très différentes au nord et au sud du détroit de Davis. Les eaux profondes de la baie de Baffin sont plus froides, plus fraîches et ont des valeurs Ω_{arg} beaucoup plus faibles que celles de la mer du Labrador (Figure 78). La baie de Baffin est une mer semi-fermée (seuil de 220 m au détroit de Nares, 125 m au détroit de Barrow à l’est et 640 m au détroit de Davis) et les eaux profondes ont un long temps de séjour (360 à 690 ans; Zeidan *et al.* 2022). La respiration de la matière organique consomme de l’oxygène (saturation en oxygène de 50 % à 1 200 m, baisse à 30 % à 2 000 m) et conduit à l’accumulation de CO_2 , provoquant l’état d’acidification extrême (Ω_{arg} variant de 0,4 à 0,5) dans les eaux profondes.

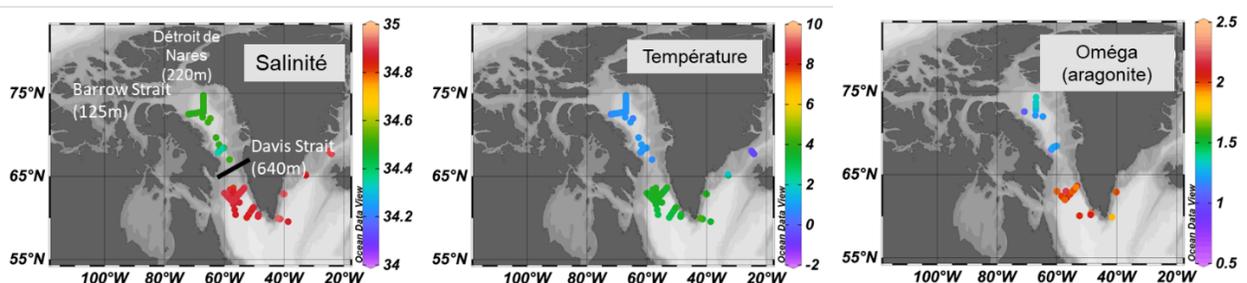


Figure 78. Salinité (ppt), température (°C) et saturation de l’aragonite (Ω_{arg}) dans les eaux profondes (1 000 à 1 200 m). Les profondeurs de seuil dans le détroit de Nares, le détroit de Barrow et le détroit de Davis sont entre parenthèses. L’ombrage bathymétrique passe du gris au blanc à mesure que la profondeur augmente.

L’acidification des océans dans les eaux sortant de l’Arctique du détroit de Davis montre une variabilité temporelle, mais aucune tendance évidente du pH ou de l’état de saturation de l’aragonite n’est évidente sur 20 ans (Figure 79), ce qui est rare dans les eaux du large. En 2013 et 2015, les eaux sortant de l’Arctique du détroit de Davis étaient plus chaudes et plus douces, avec des concentrations de carbone plus faibles, comparativement à avant et après cette période (1998 à 2021). La variabilité observée est causée par la dilution de l’eau de mer avec l’eau douce, à savoir l’apport fluvial, l’eau de fonte de la glace de mer, l’eau de fonte glaciaire et les eaux côtières des latitudes élevées modifiées par des processus biogéochimiques. L’eau douce

d'origines différentes possède une chimie du carbonate variée, qui influence l'acidification des océans.

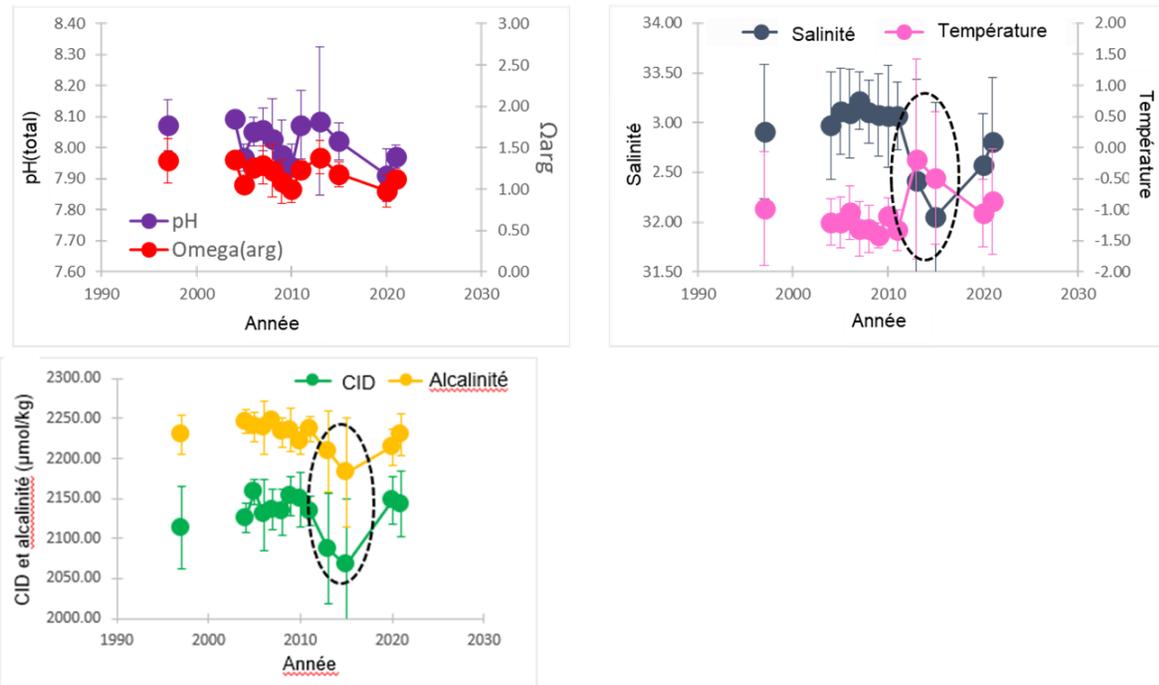


Figure 79. Variation temporelle du pH et de l'oméga (saturation de l'aragonite), de la salinité et de la température, et des concentrations de carbone inorganique dissous (CID) et d'alcalinité totale de 2003 à 2021 dans l'eau de l'Arctique le long du détroit de Davis. Le cercle en tirets met en évidence une période où le CID et l'alcalinité ont diminué en 2013 et en 2015.

La couverture de glace dans la baie de Baffin est surtout saisonnière, et varie d'une couverture presque complète au 1^{er} avril à une petite zone de glace seulement dans le nord-ouest à la mi-septembre. Il est par conséquent plus utile d'examiner l'étendue de la glace pendant les saisons intermédiaires lorsque la couverture de glace diminue (au printemps) ou s'étend. Lors de ces périodes, une tendance dans l'étendue de la glace équivaut à un changement dans la durée de la saison de couverture glacielle. La Figure 80 présente la couverture fractionnelle par type de glace de la baie de Baffin à la mi-juin.

Outre les petites zones de vieille glace dans le nord-ouest, le type de glace dominant est la glace épaisse de première année. La couverture de glace épaisse de première année à cette date a diminué à un taux moyen de 4,6 % par décennie au cours des 50 dernières années. Toutefois, comme les conditions semblent avoir été stables dans la baie de Baffin jusqu'en 1998 environ et de nouveau depuis 2002, la

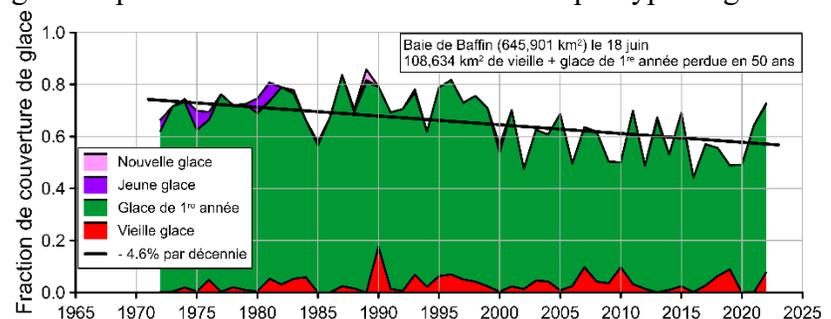


Figure 80. Couverture fractionnelle par type de glace dans la baie de Baffin à la mi-juin. La tendance à la baisse de l'étendue de glace à cette date (significative à un niveau de confiance de 95 %) indique que la banquise dans la baie de Baffin fond plus tôt au printemps (source : IceMap, Service canadien des glaces 2023).

plupart des changements se sont produits au tournant du siècle. La tendance à la baisse indique que la banquise fond aujourd’hui plus tôt au printemps que par le passé.

Une polynie est une zone de la surface de la mer en hiver où la couverture de glace est beaucoup plus mince que dans l’océan qui l’entoure (étude de cas 5). Les eaux du Nord, une grande polynie située dans le nord de la baie de Baffin, constituent une caractéristique

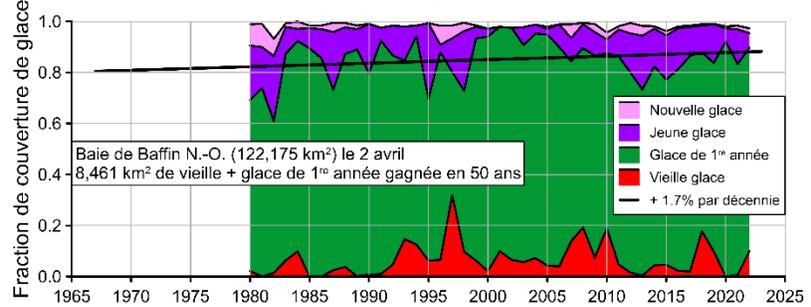


Figure 81. Couverture de glace fractionnelle dans le nord-ouest de la baie de Baffin au début avril. Une faible tendance à la hausse dans l’étendue de la glace épaisse de première année à cette date implique une faible tendance à la baisse de la taille des eaux du Nord (source : IceMap, Service canadien des glaces 2023).

écologique importante de la région arctique canadienne. L’existence de cette polynie est attribuable à l’influence des vents dominants qui soufflent depuis les détroits de Smith, de Lady Ann et de Lancaster et qui s’intensifient localement dans le confinement des hautes terres des îles voisines (Melling *et al.* 2001; Samelson *et al.* 2006). Les polynies constituent des caractéristiques dynamiques qui s’étendent et se contractent à des échelles de temps hebdomadaires à mesure que les zones de la surface de la mer exposée gèlent et que les vents changent. Toutefois, la présence d’eau libre, de nouvelle

glace et de jeune glace dans le nord-ouest de la baie de Baffin au début du printemps permet de mesurer l’occurrence et les variations des eaux du Nord au fil du temps (Figure 81). L’observation d’une faible tendance à la hausse de l’étendue de la glace épaisse de première année implique une faible tendance à la baisse de la taille des eaux du Nord (non significative statistiquement). Par conséquent, sauf dans le cas d’un niveau de variation interannuelle élevé, cette caractéristique semble être demeurée stable à cette période de l’année.

5.2.5 Baie d’Hudson

Les observations soutenues et systématiques dans la baie d’Hudson sont rares. Comme dans d’autres zones de l’Arctique canadien, les données sur la couverture de glace de mer forment le registre le plus utile pour déterminer les conditions passées et la probabilité de changement. Comme dans la baie de Baffin, ces données sont utiles pour examiner la couverture de glace à la mi-juin afin de déterminer d’éventuels signes de changement de la durée de la saison de glace, et au début avril dans le nord-ouest de la baie d’Hudson, afin de déterminer si le chenal de séparation libéré par les forts vents de terre à cette période de l’année s’est élargi au fil du temps.

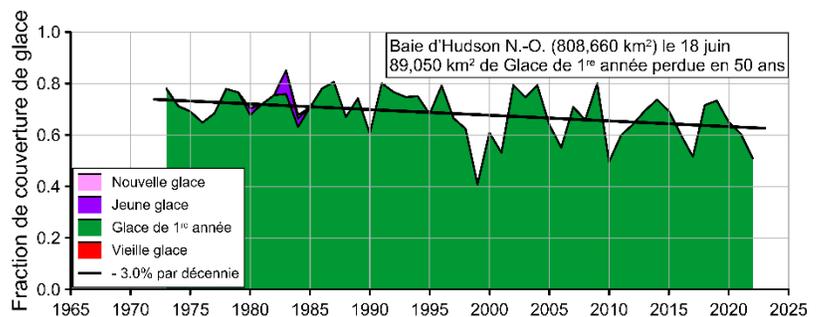


Figure 82. Couverture fractionnelle par type de glace dans la baie d’Hudson à la mi-juin. La faible tendance à la baisse de l’étendue de glace à cette date n’est pas significative statistiquement (source : IceMap, Service canadien des glaces 2023).

La Figure 82 montre la fraction de la couverture de glace par type de glace dans la baie d'Hudson à la mi-juin. Une fraction importante de la glace a déjà fondu à cette date, y compris toutes les formes de jeune glace, ne laissant pratiquement que de la glace épaisse de première année. La tendance à la baisse de l'étendue de la glace (-3,0 % par décennie) est peu significative sur le plan statistique, mais comme dans la baie de Baffin, elle révèle une tendance au dégel précoce au printemps. Parce que la glace de mer circule dans le sens antihoraire autour de la baie d'Hudson, la zone nord-ouest de la baie est libérée des glaces la première par le vent du nord-ouest. En effet, un examen des enregistrements de la glace dans cette zone à la mi-juin (non représentés) révèle cette forte tendance à un dégel plus précoce; la couverture de glace a diminué à un taux de -4,4 % par décennie pour cette semaine précise ou de 20 % sur les 45 ans du registre.

Les données sur la glace dans le nord-ouest de la baie d'Hudson au début avril (Figure 83) ressemblent à celles des eaux du Nord, tant pour les variations décennales que pour la tendance, ce qui laisse entendre une tendance faible (0,4 % par décennie) à un chenal de séparation plus étroit. Cette tendance va à l'encontre de la tendance négative notable de -4,4 % par décennie dans la même zone 2,5 mois plus tard seulement. Cette différence pourrait indiquer que les changements atmosphériques n'ont pas encore exercé d'influence importante sur la couverture de glace dans la baie d'Hudson en plein cœur de l'hiver.

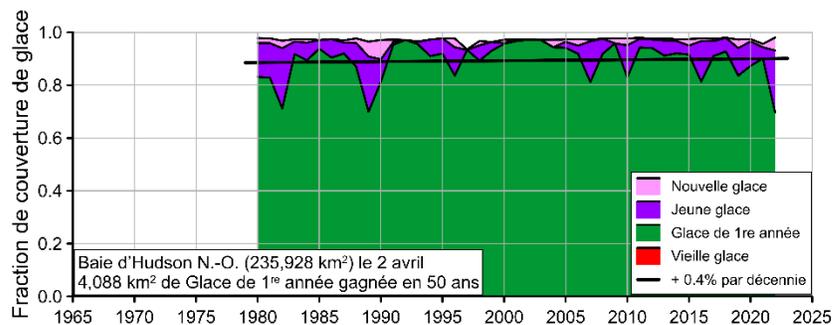


Figure 83. Couverture de glace fractionnelle dans le nord-ouest de la baie d'Hudson au début d'avril. Une faible tendance à la hausse de l'étendue de la glace épaisse de première année à cette date implique une faible tendance à la baisse de la largeur du chenal de séparation (source : IceMap, Service canadien des glaces 2023).

5.3 Variabilité biologique

Dans l'Arctique, les espèces de tous les niveaux trophiques réagissent de façon complexe et nuancée à la variabilité croissante de l'environnement. La plupart des sections du présent rapport contiennent des exemples de la façon dont les espèces ou les communautés sont touchées par le changement ou y réagissent. Il est rare qu'une seule composante de l'écosystème régisse la croissance biologique, la répartition des espèces, le comportement des animaux ou les tendances des populations. Au contraire, de multiples facteurs de variabilité au sein de l'environnement peuvent interagir avec les espèces et les affecter de façon parfois inattendue, ce qui complique la capacité de prévoir les réponses biologiques aux fluctuations environnementales. De plus, les réponses peuvent varier selon les conditions locales. L'étude de cas 10 décrit comment les populations d'omble chevalier subissent un mélange complexe d'effets positifs et négatifs des changements climatiques.

La variabilité biologique peut être sporadique et se produire en une seule année en réponse à une fluctuation environnementale particulière. De telles réponses ne sont pas nécessairement

déTECTABLES en tant que tendances à long terme, mais peuvent avoir des conséquences immédiates ou décalées dans le temps pour les espèces touchées ou le réseau trophique. Par exemple, les copépodes du genre *Calanus* hivernent en profondeur dans l’océan Arctique. Leur migration vers la surface au printemps est synchronisée pour correspondre à l’apparition des algues de glace et des proliférations de phytoplancton pélagique qui alimentent la production d’œufs et la croissance des premières étapes du cycle de vie (nauplii; Daase *et al.* 2013; Darnis et Fortier 2014). Les écarts observés entre le moment de la production maximale de microalgues au printemps et l’arrivée des copépodes du genre *Calanus* dans les eaux de surface de la mer de Beaufort (2013) et de la baie de Baffin (2016) ont été causés par différentes fluctuations environnementales et ont eu différentes conséquences pour l’écosystème environnant (Dezutter *et al.* 2019, Sampei *et al.* 2021). Dans la mer de Beaufort, l’arrivée des copépodes du genre *Calanus* dans les eaux de surface a précédé de 7 à 10 semaines la production maximale de microalgues au printemps 2013, car la fonte des neiges et la débâcle de la glace de mer tardives ont retardé le début des proliférations d’algues (Dezutter *et al.* 2019). Ce décalage était probablement à l’origine d’une diminution observée de la survie des nauplii cet été-là à l’échelle régionale, entraînant des conséquences sur le réseau trophique l’année suivante (Dezutter *et al.* 2019). En revanche, une prolifération phytoplanctonique sous la glace au printemps 2016 dans la baie de Baffin a coïncidé avec une diminution de la pression de broutage des copépodes, possiblement en raison de la prolifération rapide d’espèces de phytoplancton considérées comme des aliments de moindre qualité pour copépodes du genre *Calanus* (Sampei *et al.* 2021). Dans ce cas, le décalage ne semble pas avoir eu d’effet direct sur le recrutement des copépodes, et le broutage n’a pas limité la production quotidienne maximale de phytoplancton. Cependant, la réduction du broutage a limité la disponibilité des nutriments régénérés qui auraient pu autrement prolonger la prolifération (Sampei *et al.* 2021) et donc a eu des effets plus localisés sur la zone de la prolifération sous la glace.

Dans d’autres cas, la variabilité biologique peut être liée aux cycles des facteurs atmosphériques à grande échelle qui influent sur les principales variables de l’habitat. La biomasse de la morue polaire aux premiers stades de son cycle biologique et au stade adulte a été évaluée au moyen de relevés hydroacoustiques par navire dans la mer de Beaufort et la baie de Baffin sur une période de 17 ans, soit de 2003 à 2019. Dans les zones évaluées, la biomasse de la morue polaire n’a pas suivi de tendances positives ou négatives importantes au fil du temps, mais elle a montré une variabilité interannuelle importante qui a été liée à des indices climatiques à grande échelle (Figure 84; Herbig *et al.* 2023). Le recrutement dans la population adulte des morues polaires aux premiers stades de leur cycle de vie (première année de développement) dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort et la baie de Baffin est influencé par l’état de l’oscillation atlantique et de l’oscillation nord-atlantique, respectivement (Herbig *et al.* 2023). Ces dernières sont les principaux moteurs de la circulation et de la pression atmosphériques dans l’Arctique qui fluctuent entre un état de pression négative et un état de pression positive (voir la section 5.1). Les années où l’oscillation atlantique et de l’oscillation nord-atlantique sont positives sont plus froides, et plus de glace de mer est poussée dans le sud de la mer de Beaufort et dans l’ouest de la baie de Baffin (Drobot et Maslanik 2003; Armitage *et al.* 2018). On pense donc que les températures plus froides et les modifications du déplacement de la glace de mer pendant les conditions positives de l’oscillation atlantique et l’oscillation nord-atlantique inhibent la croissance et la survie de la morue polaire d’âge 0, qui a une plage de tolérance thermique étroite, dépend de la glace de mer pour son habitat et sa protection, et est plus susceptible de

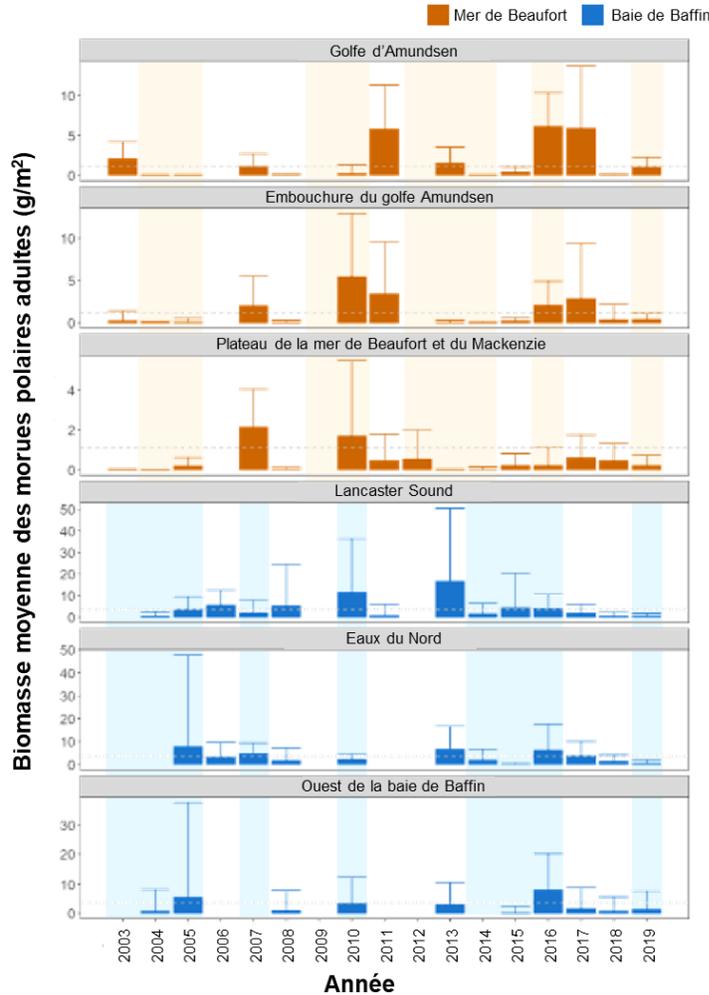


Figure 84. Biomasse moyenne des morues polaires adultes (âge 1+) d'après les relevés acoustiques effectués dans la mer de Beaufort et la baie de Baffin. Pour chaque région, les données sur la biomasse ont été regroupées dans des zones définies par le Service canadien des glaces. Les années où l'oscillation atlantique était positive sont ombrées en orange pour la région de la mer de Beaufort, et les années où l'oscillation nord-atlantique était positive sont ombrées en bleu pour la région de la baie de Baffin. Les barres d'erreur représentent l'écart-type. La biomasse moyenne des individus adultes (moyenne par zone-années) est représentée par la ligne grise en tirets pour la baie de Baffin (moyenne = 3,6 g m⁻²) et la mer de Beaufort (moyenne = 1,13 g m⁻²). Toutes les zones de glace n'ont pas été échantillonnées chaque année et, dans de tels cas, ont été laissées en blanc (adaptée de : Herbig *et al.* 2023).

survivre jusqu'à l'hiver pendant les années où les températures de surface de la mer sont plus chaudes et où la débâcle est plus précoce (LeBlanc *et al.* 2020; Geoffroy *et al.* 2023). Cela mène à une diminution temporelle observée de la biomasse des morues polaires adultes l'année suivante à la suite de conditions positives de l'oscillation atlantique et de l'oscillation nord-atlantique (Figure 84; Herbig *et al.* 2023). Cependant, les mécanismes particuliers qui ont mené à ce décalage dans le temps semblent découler de différents processus régionaux. La biomasse des individus adultes était fortement liée à la biomasse des individus d'âge 0 dans la mer de Beaufort, mais pas dans la baie de Baffin, où la pression de la prédation est plus forte aux premières étapes du cycle de vie. En revanche, la biomasse des morues polaires adultes était

fortement liée au moment de la débâcle des glaces de mer dans la baie de Baffin, mais pas dans la mer de Beaufort.

Pour de nombreuses espèces, l'adaptation à la variabilité croissante d'une année à l'autre de leur environnement présente des défis ou des possibilités uniques comparativement à l'adaptation à un changement directionnel constant. Pour d'autres espèces, comme certains animaux migrateurs, la variabilité interannuelle régit régulièrement leur utilisation saisonnière des habitats marins de l'Arctique. Certaines espèces migratrices peuvent être en mesure d'ajuster le moment et le trajet de leur migration en fonction de la variabilité de l'abondance des proies ou de la disponibilité de l'habitat préféré (p. ex. étude de cas 4 et section 7.3). Un suivi récent par GPS a fourni des données montrant que le labbe pomarin (*Stercorarius pomarinus*), un oiseau de mer migrateur, présente une habitude migratoire nomade longtemps soupçonnée, où la nidification n'a lieu qu'en densités élevées à certains endroits au cours de certaines années parce que les individus recherchent des zones localisées de grande abondance de proies avant la nidification (Harrison *et al.* 2021).

5.4 Variabilité des ressources

5.4.1 Poissons anadromes

Les poissons anadromes constituent un groupe qui pourrait profiter des tendances documentées de débâcle fluviale hâtive et de saisons d'eau libre en mer plus longues et des changements régionaux de la productivité dans l'océan Arctique. Ces poissons utilisent les habitats côtiers de manière saisonnière : au printemps, ils quittent leurs refuges hivernaux, frayères et zones de croissance en eau douce pour se rendre dans les eaux marines. Ils y passent la courte période estivale arctique à se nourrir et à profiter de la productivité élevée des eaux saumâtres. Ces eaux sont créées par l'écoulement d'affluents dont la taille varie allant des nombreuses petites décharges de lac, qui caractérisent une grande partie du littoral de l'île de Baffin à l'est (Moore 1975; Loewen *et al.* 2010), aux cours d'eau plus grands et plus longs comme ceux qui longent la côte de Kivalliq, aux cours d'eau de taille moyenne alimentés par les montagnes du versant nord du Yukon (rivières Firth, Babbage, Big Fish) et aux cours d'eau de grande taille à l'ouest du versant nord (p. ex. fleuve Mackenzie ainsi que rivières Hornaday, Coppermine et Burnside). Ces grands cours d'eau peuvent faire en sorte que les espèces migrent sur de longues distances entre les habitats essentiels à la survie (p. ex. entre les frayères en eau douce et les habitats de recherche de nourriture en mer; Sprules 1952).

Des ensembles de données à long terme provenant du suivi des prises existent pour certains stocks de poissons anadromes et offrent l'occasion d'examiner les effets des prises et des facteurs environnementaux, mais ils sont rares dans l'Arctique canadien. Seul un petit nombre de pêches principales font l'objet d'un suivi régulier, mais on estime qu'il y aurait de 195 à 400 stocks de poissons anadromes ciblés par des pêches dans l'Arctique canadien (Tallman *et al.* 2013, 2019). Parmi les stocks suivis, seuls quelques-uns offrent des ensembles de données qui s'étendent sur plus de cinq ans (p. ex. Harris *et al.* 2021), ce qui rend difficile l'application de méthodes typiques d'évaluation des stocks pour estimer les trajectoires des populations et évaluer l'état des stocks, en particulier en association avec la variabilité des paramètres environnementaux. De plus, la rareté des données biologiques en général pour ces pêches exige

l'utilisation de modèles d'évaluation pour des stocks à données limitées pour évaluer l'état et la durabilité des stocks.

On a toutefois acquis de nouvelles connaissances sur la variabilité des déplacements des poissons anadromes, y compris leur utilisation des habitats marins au large (voir la section 7.2). On a établi un lien entre le retrait précoce de la glace et l'amélioration de l'état somatique de plusieurs stocks d'omble chevalier et de Dolly Varden dans la mer de Beaufort (Harwood *et al.* 2009, 2013, 2015). L'amélioration de l'état des poissons pendant les années de débâcle précoce serait associée à une productivité marine plus élevée et à un accès hâtif aux proies marines. Des observations récentes sur la rivière Hornaday ont également indiqué que les précipitations printanières et les températures de l'air estivales plus élevées ont des effets positifs sur la croissance de l'omble chevalier, probablement en raison des effets ascendants de l'amélioration de la connectivité au milieu marin et de l'amplification de la productivité marine côtière (Chavarie *et al.* 2019).

On a toujours évalué les stocks de poissons anadromes individuellement sans tenir compte de leur connectivité avec d'autres composantes de l'écosystème. On reconnaît de plus en plus la nécessité d'appliquer une approche de gestion écosystémique au suivi des stocks de poissons anadromes (Kenny *et al.* 2018; Tallman et Marcoux 2021). En principe, les outils utilisés pour orienter la gestion des pêches devraient permettre de prévoir l'incidence des pêches sur d'autres espèces et composantes de l'écosystème, et vice versa. En réalité, cet objectif est rarement atteint. Il existe plus de 80 stocks d'omble chevalier dans la baie Cumberland, mais l'élaboration d'une approche de gestion écosystémique des pêches qui tient compte de l'interdépendance est entravée par un manque de données, le manque d'intégration des connaissances inuites dans la gestion des pêches, ainsi que le cycle biologique complexe et variable de ces populations anadromes (Tallman et Marcoux 2021).

5.4.2 Poissons ciblés par des pêches commerciales en milieu marin

Le flétan du Groenland est pêché commercialement dans la sous-zone 0 de l'OPANO (baie de Baffin et détroit de Davis) et dans la baie Cumberland, au Nunavut. La pêche dans la sous-zone 0 de l'OPANO est pratiquée à l'aide de navires de pêche munis de chaluts de fond, de filets maillants ou de palangres, et l'effort de pêche est surtout concentré le long du rebord du plateau de l'île de Baffin (Figure 85). Les refuges marins de Disko Fan, du détroit de Davis et du bassin de Hatton (zones vertes dans la Figure 85)

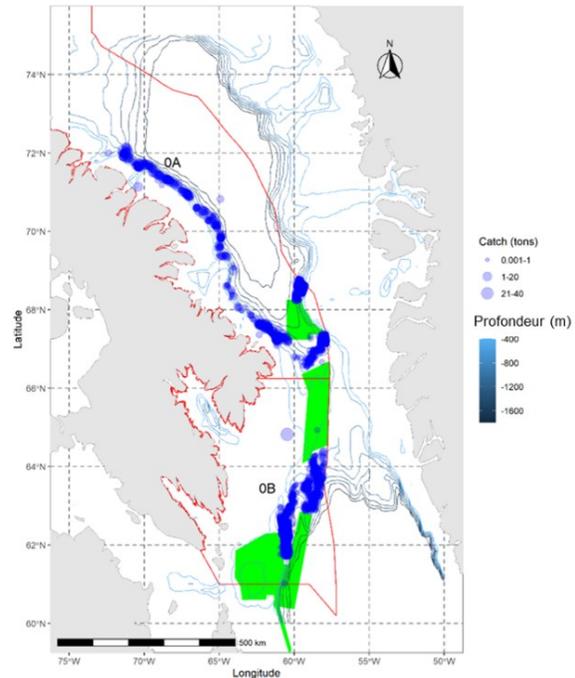


Figure 85. Répartition des prises commerciales de flétan du Groenland dans la sous-zone 0 en 2021. Trois refuges marins fermés à la pêche au moyen d'engins entrant en contact avec le fond sont illustrés en vert. Du nord au sud : Disko Fan, détroit de Davis et bassin de Hatton (source : Treble *et al.* 2022).

faisaient tous auparavant partie des lieux de pêche du flétan du Groenland, mais ils ont été fermés à la pêche pour protéger les concentrations de coraux, d'éponges et de pennatules, et réduire au minimum les répercussions sur le narval dans ses habitats d'hivernage. En plus de la pêche hauturière, une pêche commerciale communautaire du flétan du Groenland est pratiquée dans la baie Cumberland; les pêcheurs de Pangnirtung installent principalement des palangres dans la glace en hiver (de janvier à avril), avec une petite quantité de pêche estivale à l'aide de palangres à partir de petits navires.

Le stock de flétan du Groenland des sous-zones 0 et 1 (au large) de l'OPANO est évalué conjointement avec le Groenland par l'entremise du Conseil scientifique de l'OPANO. Le total autorisé des captures et le total des débarquements pour la pêche ont augmenté régulièrement de 2002 à 2018 (Figure 86). L'évaluation des stocks est principalement fondée sur les indices de la biomasse et de l'abondance (Figure 87) qui sont calculés à partir des relevés annuels d'évaluation des stocks. Le navire de recherche *Paamiut* a servi à effectuer des relevés de 1999 à 2017, mais il a été retiré du service en 2018 et un navire de remplacement, le navire de pêche *Tarajoq*, a été utilisé pour les relevés en 2022. En 2019, un navire provisoire, le navire de recherche *Helga Maria* a été utilisé pour effectuer le relevé de la sous-zone 0 de l'OPANO, mais l'analyse des données sur les prises a indiqué que les données ne pouvaient pas être combinées avec les données précédentes du navire de recherche *Paamiut* pour évaluer l'état des stocks (les prises étaient très différentes lorsque la pêche s'effectuait en deçà de 700 m, là où le flétan du Groenland est abondant). Par conséquent, les indices de la biomasse et de l'abondance des stocks n'ont pas pu être mis à jour lors des réunions du Conseil scientifique de l'OPANO de 2019 à 2022.

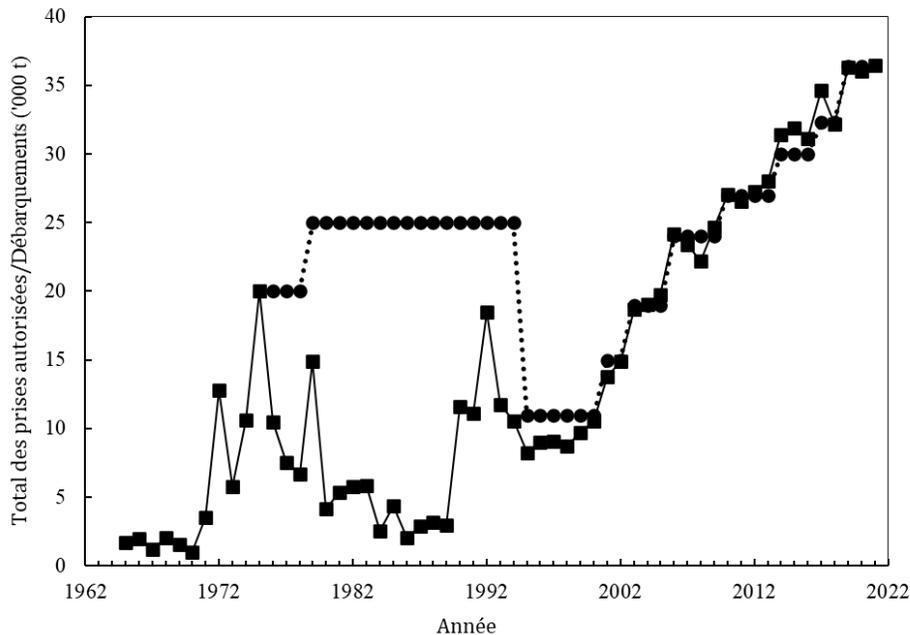


Figure 86. Total autorisé des captures (cercles) et total des débarquements (carrés) de flétan du Groenland pour les sous-zones 0 et 1 de l'OPANO (au large).

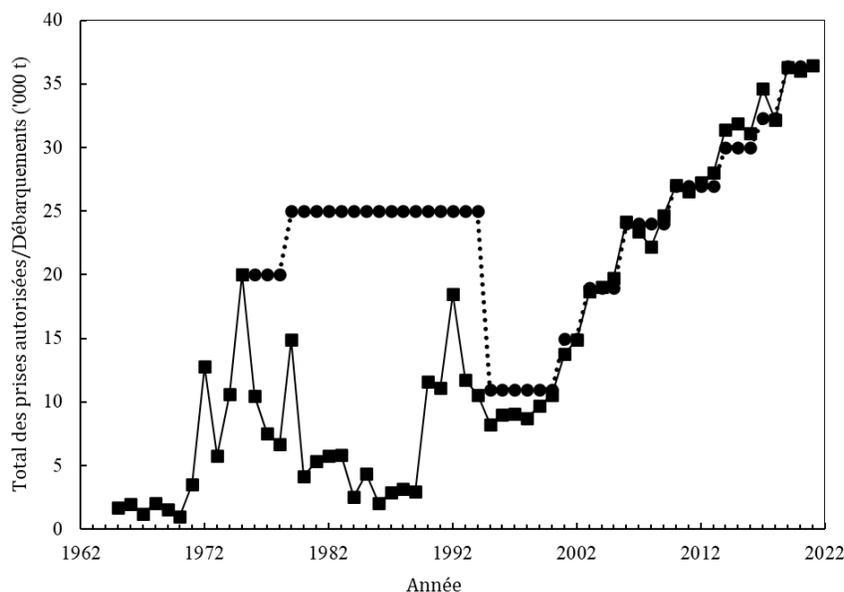


Figure 87. Indice de la biomasse de flétan du Groenland pour les sous-zones 0 et 1 de l’OPANO (au large) de 1999 à 2017. La ligne noire indique le seuil de biomasse (Blim) en dessous duquel le stock serait considéré comme ayant subi une baisse critique. L’indice de la biomasse n’a pas été calculé de 2018 à 2021 parce que des données de relevé fiables n’étaient pas accessibles pour ces années.

5.4.3 Stocks de crevettes ciblées par des pêches commerciales

La crevette nordique et la crevette d’Ésope font l’objet d’évaluations annuelles depuis 2009 dans le détroit de Davis (zone d’évaluation est [ZEE] correspondant à la zone de pêche de la crevette 2) et depuis 2007 dans le détroit d’Hudson (zone d’évaluation ouest [ZEO] correspondant à la zone de pêche de la crevette 3, Figure 88). L’évaluation est fondée sur les indices de la biomasse du stock reproducteur femelle (toutes les crevettes femelles sans égard à leur taille) et de la biomasse exploitable (longueur de carapace supérieure à 17 mm).

Le centre de sa répartition se trouvant dans le détroit d’Hudson, la crevette d’Ésope est cinq fois plus abondante que la crevette nordique dans la ZEO, alors que c’est l’inverse dans la ZEE, la crevette nordique étant 2,8 fois plus abondante que la crevette d’Ésope.

La pêche à la crevette, qui a commencé à la fin des années 1970 (Figure 89) est pratiquée avec un niveau de présence des observateurs de 100 % qui permet un suivi étroit des prises accessoires (p. ex. augmentation

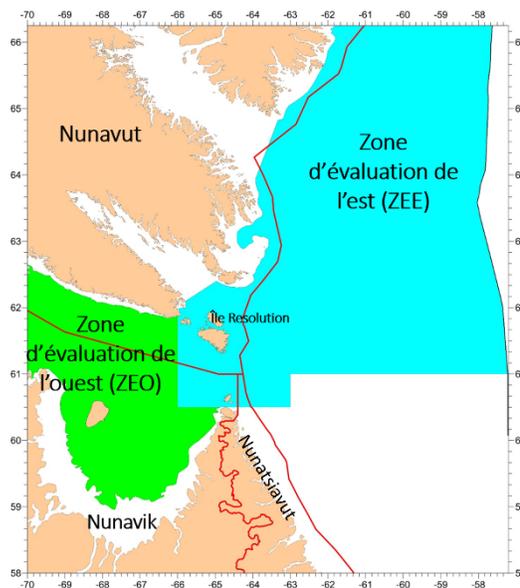


Figure 88. Zones d’évaluation est et ouest pour les espèces de crevettes ciblées par des pêches commerciales dans la région de la baie de Baffin de l’Arctique canadien. Les limites des zones visées par les revendications territoriales du Nunavut, du Nunavik et du Nunatsiavut sont indiquées en rouge.

des prises accessoires de morue polaire et de sébastes au cours des dernières années). On ne constate aucune tendance apparente dans les estimations de la biomasse des stocks de crevettes. Cependant, depuis la mise en œuvre d'une approche précaution en matière de gestion des crevettes en 2006-2007 dans la ZEE, les stocks de crevette nordique et de crevette d'Ésope se sont retrouvés sous le point de référence supérieur 14 % (2 ans sur 14) et 35 % (5 ans sur 14) du temps, respectivement. Cette situation indique que le stock de crevette nordique dans la ZEE généralement considéré comme sain, tandis que le stock de crevette d'Ésope est plus variable. La crevette nordique dans la ZEO s'est retrouvée en dessous de son point de référence supérieur pendant deux des huit années d'évaluation (25 %), tandis que pour la crevette d'Ésope, cela ne s'est produit qu'une seule fois (13 %). Les deux stocks de la ZEO sont actuellement considérés comme étant dans la zone saine.

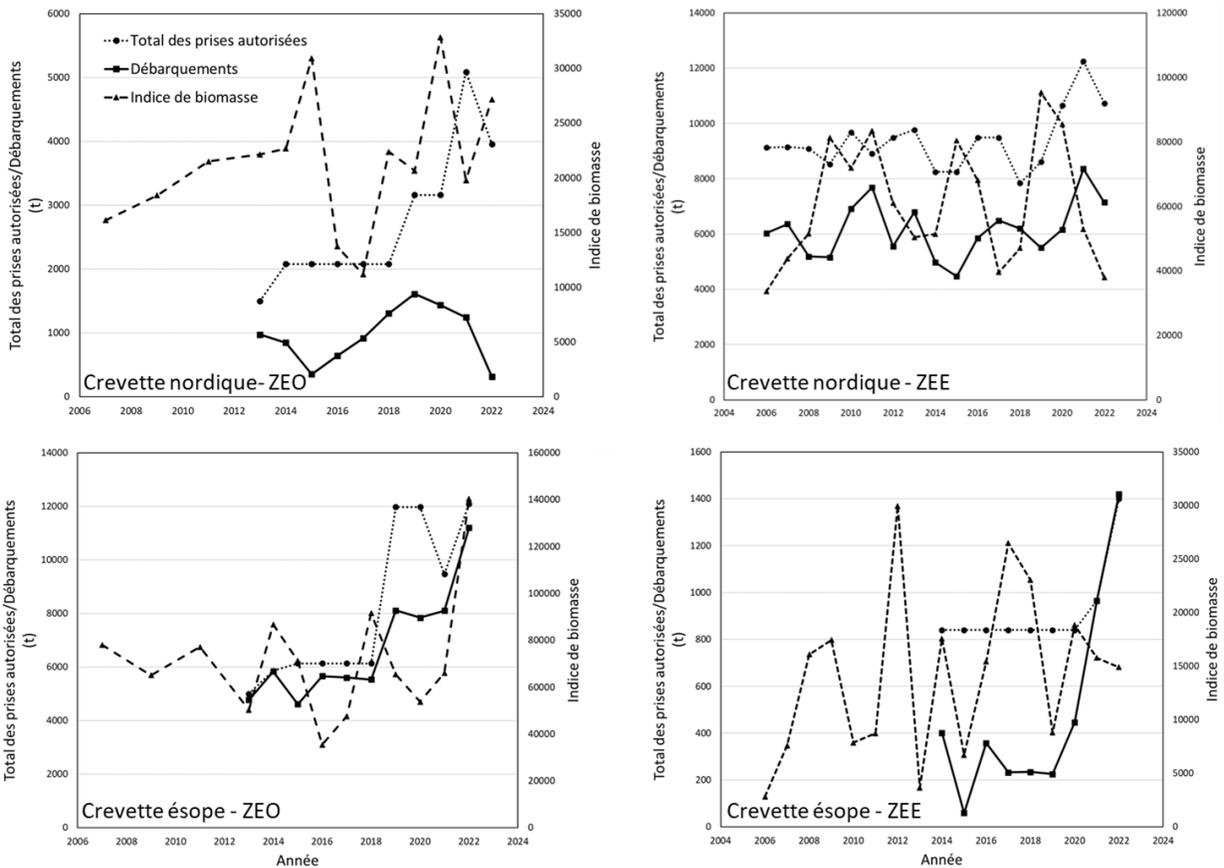


Figure 89. Total autorisé des captures, total annuel des débarquements et indice de la biomasse pour la crevette nordique et la crevette d'Ésope pêchées dans la zone d'évaluation ouest (ZEO) et la zone d'évaluation est (ZEE) de la baie de Baffin.

5.4.4 Mammifères marins

Les collectivités côtières de l'Arctique sont les mieux placées pour observer les mammifères marins sur des bases saisonnière et annuelle. Les données locales de captures et les connaissances autochtones sur les poissons et les mammifères marins représentent les séries de données écologiques temporelles les plus longues pour l'Arctique canadien.

La variabilité interannuelle et les tendances à long terme de l'abondance des mammifères marins sont difficiles à évaluer à partir à la fois des connaissances inuites et de l'information scientifique. Des relevés exhaustifs sont effectués régulièrement sur les stocks préoccupants (p. ex. narval, morse). Toutefois, pour les stocks moins préoccupants (p. ex. phoque annelé), aucun plan de rotation de relevés n'est en vigueur. Pour certains stocks de mammifères marins, plus de dix ans se sont écoulés entre les évaluations de leurs populations (p. ex. béluga de la mer de Baffin et de l'est de l'Extrême-Arctique et morse de l'Extrême-Arctique). Une évaluation de la population de béluga de l'est de la mer de Beaufort est en cours, et indique que la population semble stable à 38 000 individus (Marcoux *et al.* 2023). La population de béluga de l'ouest de la baie d'Hudson est la plus importante au Canada et était estimée à environ 55 000 individus en 2015 (Matthews *et al.* 2017). Les tendances actuelles des populations de mammifères marins sont pour la plupart inconnues dans l'Arctique canadien (annexe B).

ÉTUDE DE CAS 10 : Les conséquences complexes et diverses des changements climatiques sur l'omble chevalier

Dans l'ensemble de l'Inuit Nunangat (terre natale des Inuits au Canada), l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) est culturellement important et essentiel au soutien de la nutrition, de la sécurité alimentaire locale, de la culture et du mieux-être (p. ex. Galappaththi *et al.* 2022; Figure 90A et figure 90B). Il est récolté à des fins de subsistance par toutes les collectivités se trouvant à proximité de ses habitats, et il constitue l'une des ressources les plus importantes de l'Arctique canadien (Priest et Usher 2004). De plus, l'Arctique canadien soutient maintenant les pêches commerciales et émergentes qui fournissent de l'emploi à des centaines d'Inuits (gouvernement du Nunavut 2016; Schott *et al.* 2020). La répartition de l'omble chevalier est holarctique et c'est la seule espèce de poisson d'eau douce se trouvant au nord du 75^e parallèle nord environ (Reist *et al.* 2013). L'omble chevalier est un poisson anadrome qui croît lentement et qui vit longtemps. Une fois qu'il atteint une taille suffisante, il effectue des migrations quasi annuelles depuis ses habitats d'hivernage et de fraie en eau douce vers ses aires d'alimentation en milieu marin une fois que les cours d'eau sont dégelés et permettent la migration vers l'océan. La majeure partie de sa croissance se produit dans l'océan. L'omble chevalier cesse généralement de se nourrir (Boivin et Power 1990) après être retourné en eau douce à l'automne, et cette période de jeûne dure habituellement 10 mois, mais peut durer jusqu'à 22 mois s'il fraie. Ainsi, sa courte saison d'alimentation en eaux marines libres de glace (environ 45 jours; Harris *et al.* 2022a) est essentielle à la survie et à la reproduction des adultes, car il s'agit de sa principale occasion de croître, d'améliorer son état et d'accumuler des réserves de lipides avant sa montaison vers les habitats d'hivernage ou de fraie. Ce cycle biologique migratoire complexe, conjugué au fait que l'omble chevalier est une espèce adaptée au froid, pourrait le rendre particulièrement vulnérable aux conditions climatiques changeantes.



Figure 90. Un omble chevalier anadrome fraîchement capturé (A) et du *piffi* (omble arctique séché de façon traditionnelle) sur un séchoir (B; source et crédit photo : M. Gilbert).

L'Arctique est la région où le réchauffement est le plus rapide sur Terre – un phénomène connu sous le nom d'amplification arctique (Serreze et Barry, 2011; Rantanen *et al.* 2022) – et on s'attend à ce que cela ait des conséquences importantes pour l'omble chevalier. Toutefois, ces répercussions ne sont pas entièrement comprises et auront probablement une combinaison d'effets négatifs et positifs, dont l'ampleur et les interactions peuvent varier en fonction de multiples facteurs, dont la latitude. Les changements qui auront une incidence sur l'omble chevalier comprennent notamment les suivants : 1) des saisons sans glace plus longues associées au réchauffement des températures qui pourraient accroître les possibilités d'alimentation et de croissance; 2) des augmentations de la température de l'eau dans les milieux marins et dulcicoles qui pourraient influencer sur la survie, le comportement migratoire, la croissance et l'énergie disponible pour la reproduction; 3) les changements dans la composition des communautés biologiques marines à mesure que les espèces méridionales se déplacent vers le pôle en réaction au réchauffement des températures et à la perte de glace de mer, ce qui entraînera probablement des modifications des interactions interspécifiques (p. ex. nouvelles proies ainsi que nouveaux prédateurs et concurrents de l'omble chevalier).

Le réchauffement des températures dans l'Arctique devrait causer une débâcle plus hâtive des cours d'eau et retarder la date de la prise des glaces (Harris *et al.* 2022a). Ces changements se traduisent par un accès plus rapide de l'omble chevalier à l'océan et, potentiellement, une saison prolongée d'alimentation en mer. De plus, le degré et l'étendue de la glace de mer évoluent considérablement vers une débâcle plus précoce et une prise des glaces plus tardive (Falardeau *et al.* 2022; Figure 91A), modifiant la dynamique phénologique de la production primaire dans l'écosystème marin (p. ex. moment de la prolifération des algues de glace; voir la section 4.5). Les données disponibles laissent croire que l'omble chevalier dans certaines régions de l'Extrême-Arctique a réagi positivement à ces changements en raison du facteur de condition K (Figure 91B), un indice largement utilisé du bien-être ou de la robustesse des poissons (c.-à-d. la masse par rapport à la longueur), qui est plus élevé chez l'omble chevalier qui retourne à l'eau douce lorsque la débâcle se produit plus tôt dans l'année (Harwood *et al.* 2015). Falardeau et ses collaborateurs (2022) ont également signalé que la débâcle s'est produite jusqu'à 12 jours plus tôt dans certaines régions de la mer de Kitikmeot dans les années 2010 comparativement aux années 1990. Cette débâcle hâtive était corrélée à une augmentation de l'état des poissons et de la teneur en lipides (gras), ce qui laisse croire que des saisons sans glace plus longues pourraient avoir un effet positif sur la qualité de l'omble chevalier (Figure 91C), un résultat également confirmé par les observations des Inuits dans la région. Par conséquent, une débâcle précoce et une saison libre de glace plus longue peuvent être bénéfiques pour les ombles chevaliers parce que la quantité de proies est plus élevée en été après une débâcle précoce dans le milieu marin et parce qu'ils bénéficient d'une saison d'alimentation plus longue pour exploiter ces riches ressources marines.

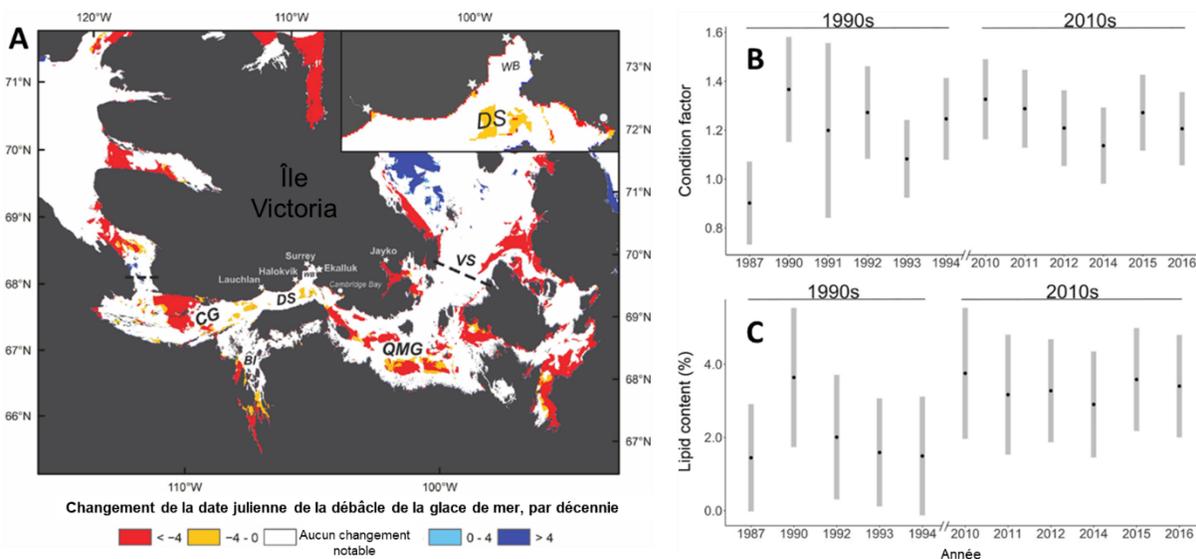


Figure 91. Variation de la débâcle de la glace de mer de 1987 à 2016 dans la région de la mer de Kitikmeot au Nunavut (A) et changements du facteur de condition (B) et de la teneur en lipides (C) au cours de cette période. VS = détroit de Victoria; QMG = golfe de la Reine-Maud; DS = détroit de Dease; WB = baie Wellington; BI = inlet Bathurst; CG = golfe Coronation. Les étoiles blanches indiquent les sites de pêche commerciale qui ont été échantillonnés plus d’une fois au cours de la série chronologique. La collectivité de Cambridge Bay (Iqaluktuutiaq) est indiquée par un point blanc (source : adaptée de Falardeau *et al.* 2022).

Les températures de l’eau de l’Arctique dans les milieux marins et dulcicoles augmentent depuis des décennies et on s’attend à ce qu’elles continuent d’augmenter à long terme (Steele *et al.* 2008; Parks *et al.* 2017). Bien que cette hausse des températures puisse améliorer les possibilités d’alimentation de l’omble de l’Arctique, le réchauffement peut également avoir des effets néfastes sur sa santé et sa physiologie sous-jacente, ce qui peut limiter sa capacité à tirer parti de ces possibilités. La température influence directement la santé et le métabolisme (la façon dont le corps utilise l’énergie) de l’omble chevalier, dont les températures optimales et critiques sont généralement faibles par rapport à celles des espèces apparentées dont l’aire de répartition s’étend plus au sud (p. ex. les saumons du Pacifique et de l’Atlantique). Récemment, Gilbert et ses collaborateurs (2020) ont évalué les effets de la température sur le métabolisme et la fonction cardiaque de l’omble chevalier en montaison dans la région de Kitikmeot, au Nunavut. La hausse des températures a considérablement augmenté son rythme cardiaque et sa demande d’énergie. La fréquence cardiaque maximale et le rétablissement des individus après l’exercice (p. ex. la montaison) étaient compromis au-dessus de 16 °C, à 21 °C, leur cœur commençait à défaillir et, à 23 °C, ils ne parvenaient plus à se tenir en position verticale. De même, la gravité de la fatigue après l’exercice augmentait avec la hausse des températures des cours d’eau (Gilbert *et al.* 2018). Des températures fluviales supérieures à 20 °C ont récemment été enregistrées dans la région, de sorte que l’omble chevalier doit déjà composer avec des températures suffisamment élevées pour nuire à sa performance et à sa santé. Fait intéressant, une étude de suivi a montré que l’omble chevalier, lorsqu’il est maintenu à des températures modérément chaudes (13 ou 14 °C) pendant trois jours, une période écologiquement pertinente, a pu s’acclimater partiellement, en ajustant sa physiologie pour améliorer légèrement sa performance à des températures supérieures (Gilbert *et al.* 2022). La hausse des températures de l’eau est également susceptible d’influencer

l'utilisation de l'habitat et le comportement migratoire, car l'omble chevalier évite les températures qui peuvent nuire à la performance physiologique, un effet largement observé chez les saumons du Pacifique et de l'Atlantique. En effet, à mesure que les températures augmentent au cours de l'été, l'omble chevalier modifie son utilisation de l'habitat, s'éloignant de plus en plus des côtes vers des eaux plus froides (Harris *et al.* 2022b). Cette souplesse comportementale pourrait expliquer pourquoi les probabilités de survie annuelles estimées à partir d'ombles chevaliers marqués d'une étiquette acoustique sont généralement stables et élevées malgré la variation de variables environnementales importantes comme la date de fonte de la glace de mer (Caza-Allard *et al.* 2021; Munaweera *et al.* 2022). De plus, à mesure que les eaux continuent de se réchauffer, l'omble chevalier pourrait être contraint d'ajuster le moment ou le trajet de sa migration pour éviter les températures élevées des cours d'eau qui nuiraient au succès de la migration (Gilbert *et al.* 2016, 2018). Tout compte fait, cette recherche récente laisse entendre que l'omble chevalier a une certaine capacité à s'acclimater à des eaux plus chaudes, mais que, quoi qu'il en soit, la hausse des températures aura probablement des effets physiologiques néfastes qui nécessiteront, au minimum, des changements de comportement.

Enfin, à mesure que les eaux marines de l'Arctique se réchauffent et que la saison libre de glace s'allonge (section 5.2), d'autres espèces associées aux régions tempérées, comme le capelan (*Mallotus villosus*), les lançons (*Ammodytes* spp.) et les saumons du Pacifique (*Oncorhynchus* spp.) et de l'Atlantique (*Salmo salar*) réagissent en déplaçant leurs aires de répartition vers le nord (p. ex. McNicholl *et al.* 2022). Cette « boréalisation » des communautés de poissons dans l'Arctique peut modifier la structure et la fonction des écosystèmes marins (Frainer *et al.* 2017), mais on ne comprend pas encore tout à fait l'ampleur des répercussions sur l'omble chevalier des modifications de la disponibilité d'espèces associées à des régions plus tempérées. Dans certains cas, de nouvelles espèces peuvent lui faire concurrence (p. ex. les saumons; Bilous et Dunmall 2020) et, dans d'autres cas, présenter de nouvelles possibilités d'alimentation. Par exemple, dans la région de Kitikmeot, au Nunavut, l'examen des données scientifiques et les entrevues avec les pêcheurs inuits laissent entendre que le capelan et les lançons, qui ont récemment augmenté en abondance dans la région, ont eu une incidence sur le réseau trophique marin et ont été intégrés aux régimes alimentaires de l'omble chevalier qui ont changé entre les années 1990 et les années 2010 (Figure 92A et Figure 92B; Falardeau *et al.* 2022). De même, dans la baie Cumberland, l'omble chevalier a modifié son régime alimentaire, passant d'un régime composé principalement d'invertébrés à un régime à base de capelan (Figure 92C; Yurkowski *et al.* 2018; Ulrich et Tallman 2021). Bien que ces espèces puissent être des visiteurs de passage, la recherche dans la baie Cumberland a établi que des populations autosuffisantes ont colonisé la région (G. Davoren, Université du Manitoba, comm. pers.). Les changements de types de proies de l'omble chevalier causés par les changements climatiques pourraient avoir une incidence sur les niveaux de nutriments dans sa chair, y compris les concentrations de caroténoïdes qui influent sur la couleur de la chair, ainsi que sur la teneur en lipides (p. ex. gras, oméga-3). D'autres études sont nécessaires pour comprendre comment l'omble chevalier sera touché et comment les écosystèmes marins de la région seront modifiés à mesure que d'autres espèces associées aux régions tempérées continueront de se déplacer vers le nord.

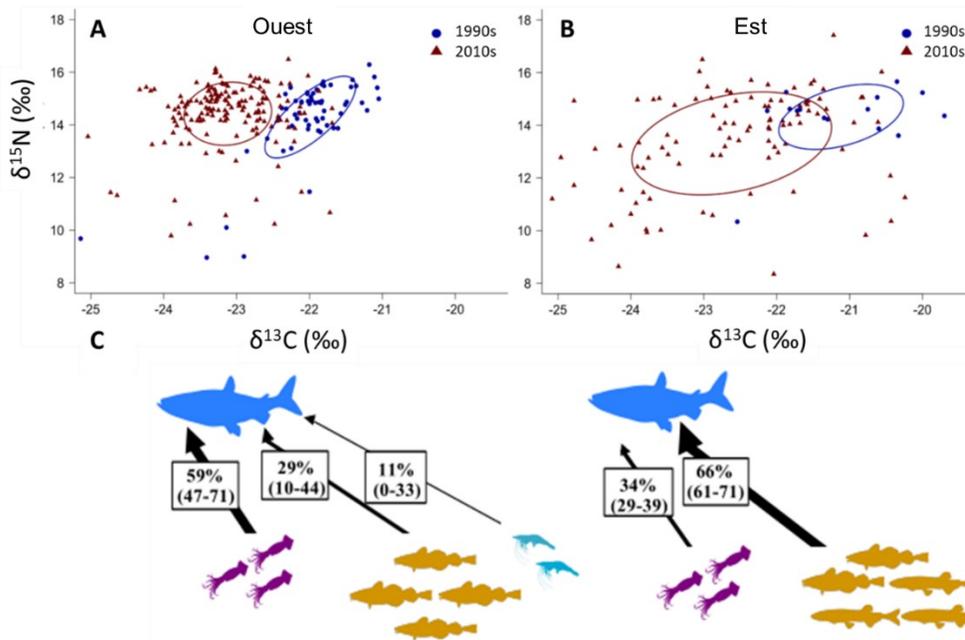


Figure 92. Variation des signatures isotopiques de l’omble chevalier échantillonné sur deux périodes (années 1990 par rapport aux années 2010) dans les régions est (A) et ouest (B) de la mer de Kitikmeot (source : Falardeau *et al.* 2022). (C) Modification du régime alimentaire de l’omble chevalier de la baie Cumberland mettant en évidence le passage d’un régime composé principalement d’invertébrés à un régime à base de capelan (1990-2002 par rapport à 2005-2012; source : Yurkowski *et al.* 2018).

Les effets omniprésents des changements climatiques devraient entraîner des changements spectaculaires dans les écosystèmes marins et dulcicoles de l’Arctique, qui sont essentiels pour l’omble chevalier. L’augmentation des températures océaniques, la débâcle précoce, la prolongation des saisons libres de glace et l’expansion des aires de répartition des espèces subarctiques provenant des régions méridionales font partie des changements climatiques qui auront des répercussions complexes sur l’omble chevalier. Il demeure difficile de prévoir l’incidence nette de ces changements sur la croissance et la survie de l’omble chevalier, ainsi que sur sa disponibilité et sa qualité pour la consommation humaine, d’autant plus que leur ampleur et leurs interactions peuvent varier géographiquement et interagir avec d’autres pressions d’origine anthropique telles que des contaminants ou la fragmentation de l’habitat. Comme nous l’avons souligné ici, le réchauffement climatique se traduira par des possibilités d’alimentation plus longues en milieu marin, ce qui pourrait être bénéfique pour l’omble chevalier. Toutefois, il sera confronté à des défis thermiques qui peuvent avoir une incidence négative sur des aspects de sa santé et de son métabolisme et nuire gravement à des événements essentiels de son cycle biologique, comme la montaison. Les changements dans la base fourragère et la disponibilité des proies, ainsi que la concurrence accrue éventuelle découlant de l’expansion de l’aire de répartition des espèces du sud dans l’Arctique, devraient avoir des effets négatifs sur l’omble chevalier en raison de la concurrence et de la prédation accrues. D’autres recherches sont nécessaires pour bien comprendre comment l’omble chevalier, important sur les plans écologique, culturel et commercial, pourra s’adapter aux conditions changeantes, ce qui est essentiel à la gestion efficace de cette ressource vitale.

6.0 Connectivité

Différentes unités de mesure permettent de suivre la connectivité entre les océans et au sein de ceux-ci. Les unités de mesure couramment utilisées pour décrire la connectivité physique comprennent les masses d'eau, le carbone et les nutriments. La connectivité biologique est définie par des espèces très mobiles et migratrices, qui se déplacent dans l'Arctique canadien, y entrent et en sortent. Elles démontrent comment l'Arctique canadien procure des services essentiels aux écosystèmes des autres océans. Il est nécessaire de comprendre les liens physiques et biologiques pour mesurer l'accumulation et le recyclage de l'énergie dans les écosystèmes, y compris la production importée et la production locale. Les sections qui suivent traitent des traceurs physiques et biologiques de la connectivité et montrent comment la présence et la colocalisation d'espèces peuvent déterminer les liens existants et en évolution qui influent sur les modes de fonctionnement des écosystèmes.

6.1 Flux entrants et sortants

Les couches des masses d'eau dans l'Arctique sont illustrées à la section 4.1.3 – les eaux arctiques au-dessus de celles du Pacifique, elles-mêmes au-dessus des eaux de l'Atlantique. La section 4.1.3 offre également un aperçu de la circulation générale de ces masses d'eau autour de l'Arctique, en montrant comment les trois océans du Canada sont connectés les uns aux autres. Les eaux en provenance du Pacifique suscitent un intérêt particulier en raison de leur richesse en nutriments dissous. Elles atteignent l'Arctique par le détroit de Béring, en suivant une pente de la surface de la mer descendante vers le nord. Le vent dominant ralentit l'afflux, plus fortement en hiver qu'en été. Au-delà du détroit, le flux diverge pour suivre plusieurs voies sur le plateau de Tchoukche peu profond avant de se glisser dans le bassin arctique plus en profondeur entre les eaux de l'Arctique moins salines et les eaux de l'Atlantique plus salines. Le flux s'étend ensuite dans le centre de l'Arctique pour former une vaste masse d'eau dans la colonne d'eau de mer allant jusqu'à la dorsale Lomonosov près du pôle Nord.

Deux voies s'ouvrent pour les eaux du Pacifique qui quittent l'Arctique. L'une passe près de l'extrémité nord du Groenland pour rejoindre le courant de l'est du Groenland dans le détroit de Fram, contournant ainsi les eaux canadiennes; l'autre traverse le nord du plateau polaire canadien par des chenaux entre les îles de la Reine-Élisabeth ou par le détroit de Nares. L'eau ne rencontre aucun obstacle par la voie du Groenland. Toutefois, les eaux peu profondes aux seuils limitent le débit sortant par le plateau polaire canadien à des profondeurs de 80 à 220 m, selon la voie d'accès.

Les nutriments provenant du Pacifique sont prévalents dans les eaux de surface de l'Arctique canadien, et diminuent vers l'est en raison du mélange avec les eaux de surface de l'Arctique et les eaux de l'Atlantique. La recherche continue de décrire la variabilité des inventaires de nutriments dans l'Arctique canadien et les processus qui modifient la disponibilité des nutriments dans les différentes couches océaniques (Figure 93). Par exemple, une évaluation récente des rapports isotopiques des nitrates a révélé que près de 25 % des nutriments dans l'archipel Arctique du centre du Canada provenaient de l'Atlantique, comparativement à des estimations antérieures de seulement 5 % (Lehmann *et al.* 2022).

Les nutriments des eaux du Pacifique atteignent les eaux l'Arctique canadien à des taux changeants, par des voies changeantes et probablement après des délais variables à partir de leur entrée dans le détroit de Béring. Ces facteurs variables contribuent probablement à la variation interannuelle des niveaux de nutriments dissous et de la productivité des écosystèmes dans les eaux de l'Arctique canadien. La variabilité spatiale de la couche de surface de nitrate et de silicium suit la modification des eaux provenant du Pacifique lorsqu'elles traversent l'Arctique canadien d'ouest en est (Giesbrecht *et al.* 2022; Lehmann *et al.* 2022). La production de matières organiques alimentées par les nutriments du Pacifique influence également les concentrations de nutriments dans les couches d'eau de l'Atlantique. Cela survient lorsque la matière organique obtenue à partir des nutriments du Pacifique s'enfonce dans la couche des eaux de l'Atlantique et qu'une reminéralisation se produit, libérant du nitrate et d'autres nutriments provenant du Pacifique dans les eaux de l'Atlantique dans l'ouest de l'archipel et la baie de Baffin (Figure 93, processus 2 et 7).

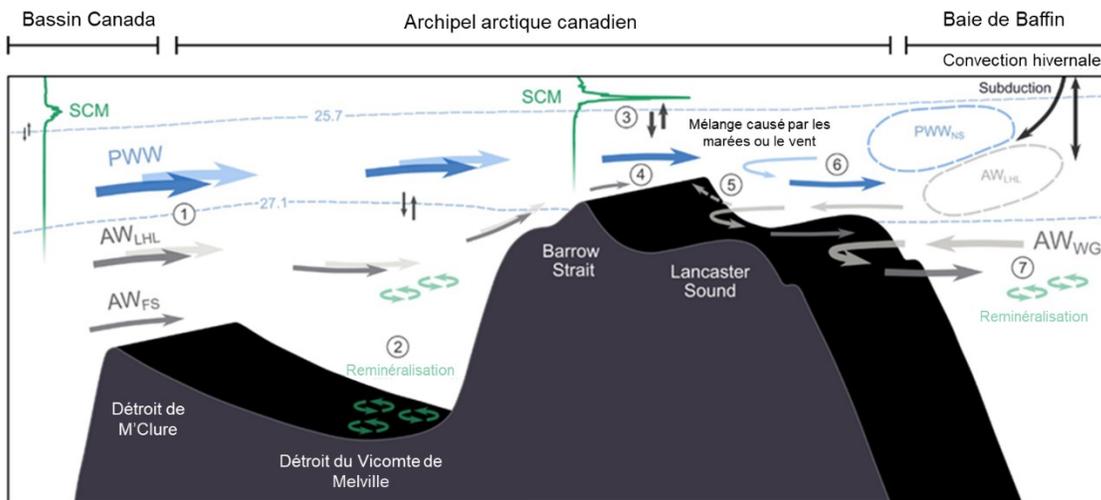


Figure 93. Diagramme conceptuel des principaux processus physiques et biogéochimiques qui influent sur la répartition des traceurs de nutriments dans l'archipel Arctique canadien. Les processus sont numérotés et décrits comme suit : (1) l'exhaussement des eaux d'hiver du Pacifique (PWW; flèches bleues), des eaux de l'Atlantique ayant une faible halocline (AW_{LHL}) et des eaux de l'Atlantique provenant du détroit de Fram (AW_{FS} ; flèches grises) du bassin Canada jusqu'au plateau; (2) la reminéralisation affectant les propriétés des eaux de l'Atlantique dans l'ouest de l'archipel Arctique canadien, où des périodes de résidence plus longues entraînent une accumulation de nutriments en profondeur dans le détroit du Vicomte de Melville; (3) un mélange accru dans le centre et l'est de l'archipel Arctique canadien, ce qui entraîne une augmentation de la productivité (plus grande teneur en chlorophylle de subsurface maximale; SMC) par rapport au bassin Canada oligotrophe; (4) le mélange et la propagation des eaux d'hiver du Pacifique et des eaux de l'Atlantique ayant une faible halocline dans l'ensemble du détroit de Barrow; (5) l'entraînement potentiel des eaux de l'Atlantique depuis le détroit de Lancaster vers l'ouest dans le nord du détroit de Barrow; (6) la congruence et le mélange des eaux d'hiver du Pacifique avec le nord des eaux d'hiver du Pacifique (PWW_{NS}) et les eaux de l'Atlantique ayant une faible halocline depuis le détroit de Nares et les eaux de surface nutritives dans le détroit de Lancaster; (7) la modification des eaux de l'Atlantique provenant de l'ouest du Groenland (AW_{WG}) en raison de la reminéralisation et du mélange avec les eaux de l'Atlantique ayant une faible halocline dans le détroit de Lancaster et la baie de Baffin (source : Lehmann *et al.* 2022).

6.2 Liens entre l'océan Arctique et l'eau douce

L'eau douce dans l'océan Arctique ne se résume pas à la présence d'un apport fluvial. Solomon et ses collaborateurs (2021), et les références qu'ils citent, résument l'eau douce de l'océan Arctique comme un équilibre entre les éléments ci-dessous.

- Sources : apport d'eau relativement douce de l'océan Pacifique, précipitations locales, ruissellement fluvial, écoulement de la nappe glaciaire et fonte de la glace de mer.
- Puits : apport d'eau relativement saline de l'océan Atlantique, croissance de la glace de mer, évaporation et transport de liquides et de solides par les portes d'entrée océaniques.
- Redistribution entre les bassins arctiques et brassage vertical.

Il apparaît clairement que ces processus ne sont pas nécessairement indépendants et qu'ils sont largement influencés par des liens avec la variabilité atmosphérique de l'intérieur et de l'extérieur de l'Arctique. L'équilibre de l'eau douce dans les eaux de l'Arctique canadien est essentiel pour comprendre la structure actuelle et future de l'habitat et les limites ou les avantages pour la production primaire. L'étude de cas 11 décrit une accumulation importante d'eau douce dans le bassin Canada.

ÉTUDE DE CAS 11 : Modification des eaux du Pacifique dans le tourbillon de Beaufort

Environ un million de mètres cubes par seconde (c.-à-d. 1 Sv) d'eaux du Pacifique riches en nutriments s'écoulent vers le nord par le détroit de Béring et dans la mer des Tchouktches (p. ex. Woodgate 2018). Ces eaux sont modifiées par le forçage biologique et atmosphérique alors qu'elles coulent sur le plateau des Tchouktches et se glissent ensuite sous la surface lorsqu'elles pénètrent dans le tourbillon de Beaufort (Timmermans *et al.* 2017). Dans le tourbillon de Beaufort (Figure 1), elles se trouvent sous les eaux de surface de l'Arctique influencées par les cours d'eau et au-dessus des eaux provenant de l'Atlantique (Figure 10, Figure 94). Les eaux du Pacifique imprègnent l'ensemble du tourbillon de Beaufort, du plateau de Beaufort et du plateau polaire canadien, y compris la baie d'Hudson (p. ex. Carmack *et al.* 2010), et elles forment le réservoir de nutriments le plus proche des eaux de surface appauvries en nutriments. Tout processus qui amène les eaux du Pacifique vers la surface et dans la zone euphotique peut alimenter la production biologique. Par conséquent, cette masse d'eau, qui coule de l'océan Pacifique à l'océan Atlantique en passant par l'Arctique canadien, est un thème constant dans les évaluations de la fonction de l'écosystème marin dans la région.

Les eaux provenant du Pacifique peuvent être divisées en eaux d'été et en eaux d'hiver. Les eaux d'été du Pacifique sont relativement chaudes, car elle transite par le plateau des Tchouktches en été, tandis que les eaux d'hiver sont relativement froides et salées, sous l'influence de leur transit hivernal par le plateau des Tchouktches et le rejet de saumure dans les polynies côtières. Le centre des eaux d'hiver du Pacifique est à la température minimale qui se trouve sous les eaux d'été (Figure 10, Figure 94).

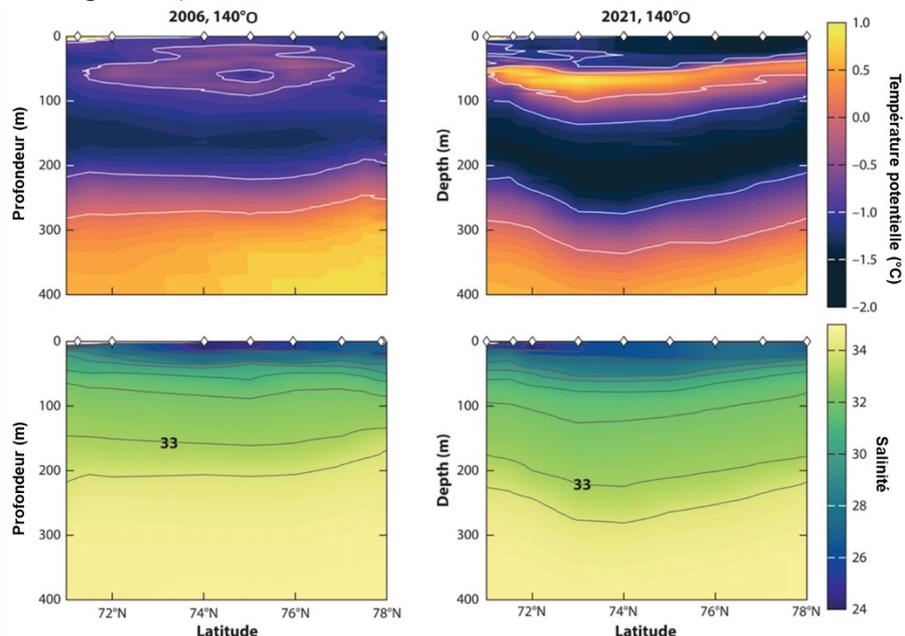


Figure 94. Température (graphiques du haut) et salinité (graphiques du bas) des sections océaniques au 140° méridien ouest pour 2006 et 2021. Les losanges en haut indiquent l'emplacement des stations dans la région du tourbillon de Beaufort. À noter les eaux d'été chaudes du Pacifique (jaune/orange) juste sous la couche de surface et l'approfondissement de la couche de salinité 33 en 2021 (source : Timmermans et Toole 2023).

Le suivi du tourbillon de la mer de Beaufort au cours des 20 dernières années nous a permis d'évaluer les propriétés physiques et géochimiques des masses d'eau du tourbillon sous l'effet de la rotation persistante actuelle des eaux océaniques de surface dans le sens horaire (c.-à-d. la phase anticyclonique de l'oscillation de l'océan Arctique, section 5.2.1). Au cours de ce forçage anticyclonique prolongé, il y a eu une accumulation d'eau douce et un approfondissement du tourbillon (Figure 62, Figure 94, Proshutinsky *et al.* 2019). Au cours de la même période, on a observé d'importantes augmentations du volume, de la température et du contenu thermique des eaux d'été du Pacifique. Les concentrations de nutriments sont demeurées similaires, mais la teneur globale en nutriments a augmenté à mesure que le volume de cette masse d'eau augmentait. On peut voir l'augmentation du volume des eaux d'été du Pacifique (qui est proportionnelle à l'augmentation de l'eau douce) à la Figure 61. L'augmentation de la température et du contenu thermique pour la période est indiquée à la Figure 94 et à la Figure 95. On estime que le contenu thermique est passé d'environ $2 \times 10^8 \text{ J/m}^2$ dans les années 1990 (non illustrée) à $8 \times 10^8 \text{ J/m}^2$ en 2018 (Timmermans et Toole 2023). Les fortes augmentations depuis 2016 ont été associées au réchauffement estival au-dessus du plateau des Tchouktches nord, rendu possible par le recul de la glace de mer (Timmermans et Toole 2023; Timmermans *et al.* 2018; Danielson *et al.* 2020).

L'augmentation du contenu thermique des eaux d'été du Pacifique dans le tourbillon de Beaufort est suffisante pour faire fondre un mètre supplémentaire de glace de mer (Timmermans et Toole 2023), mais elles sont séparées de la surface, et donc de la glace de mer, par les eaux influencées par les cours d'eau et les eaux de surface, et la forte stratification de l'halocline arctique. Malgré le doublement du brassage dans l'halocline dû au retrait de la glace de mer (Dosser *et al.* 2021), les taux de brassage demeurent faibles et la perte de chaleur à la surface de cette façon est un processus décennal (Timmermans et Toole 2023).

L'accumulation croissante de chaleur et de nutriments dans les eaux d'été du Pacifique dans le tourbillon a des répercussions « en aval » sur les plateaux continentaux de l'archipel Arctique canadien et au-delà. Une conséquence particulière serait le passage de la phase anticyclonique prolongée actuelle à une phase cyclonique de l'oscillation de l'océan Arctique. Dans le cadre d'une phase cyclonique de l'oscillation de l'océan Arctique, on s'attend à ce que le tourbillon de Beaufort libère une grande partie de son eau douce et des eaux du Pacifique emmagasinées qui se disperseront dans l'ensemble de l'archipel Arctique canadien et dans la baie de Baffin et la mer du Labrador, modifiant considérablement les conditions océanographiques, avec des réponses écosystémiques inconnues.

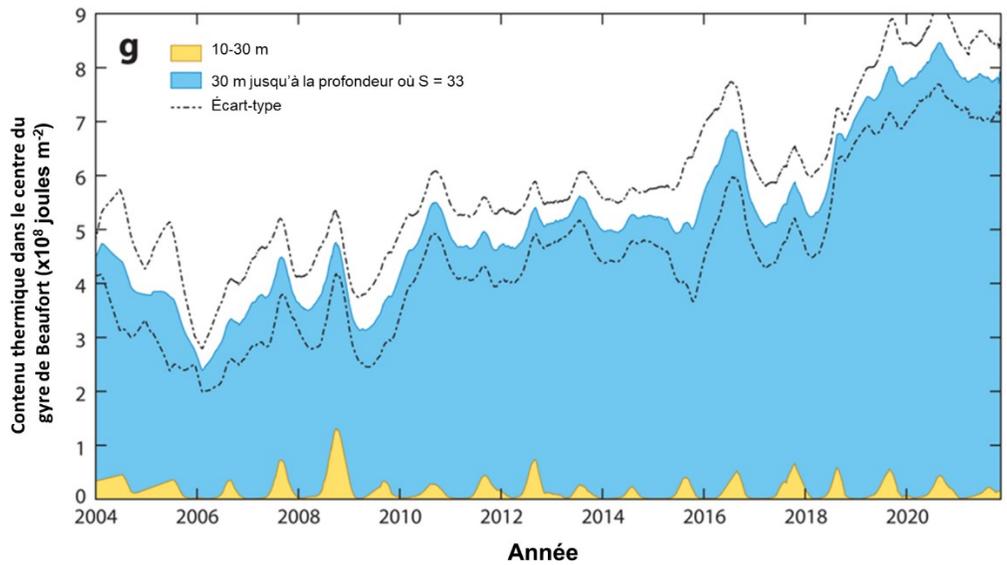
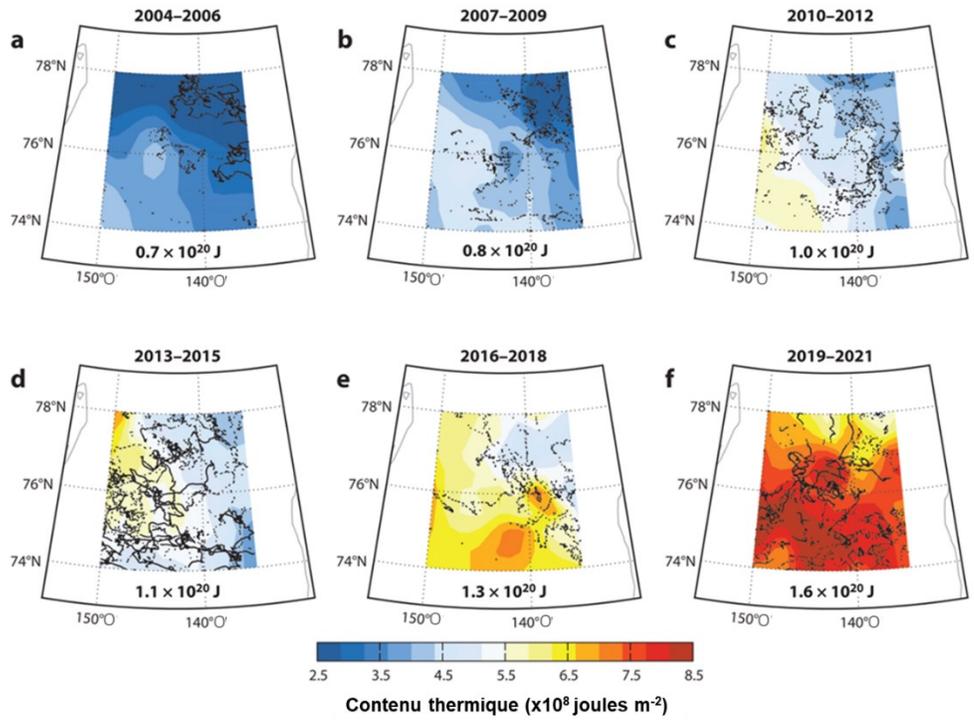


Figure 95. Cartes (a à f) du contenu thermique dans le centre du tourbillon de Beaufort entre 2004 et 2021. Les points noirs indiquent l'emplacement des données du profil de température. Le contenu thermique total de la région est indiqué au bas de chaque panneau de période. Série chronologique (g) du contenu thermique moyen du centre du tourbillon de Beaufort intégré sur les couches de 10 à 30 m (jaune) et de 30 m à la profondeur de $S = 33$ (bleu; source : Timmermans et Toole 2023).

6.3 Liens entre l'Arctique et l'Atlantique Nord

En raison du caractère exutoire des eaux qui traversent l'archipel Arctique canadien (c.-à-d. de l'Arctique à l'Atlantique Nord), les mesures à long terme des propriétés de l'eau dans l'archipel servent à mettre en évidence les changements en amont (c.-à-d. l'Arctique) et à fournir une source en amont qui entraîne le changement plus loin en aval (c.-à-d. la baie de Baffin, la mer du Labrador, etc.). Depuis 1998, le suivi à l'année des propriétés de l'océan et de la glace dans le détroit de Barrow a fourni l'une des plus longues séries chronologiques disponibles au sein de l'archipel Arctique canadien, et grâce à 24 années de données (à diverses profondeurs et à divers endroits dans le détroit) il est maintenant possible d'examiner les tendances climatiques significatives sur la variabilité naturelle. Plus précisément, le suivi basé sur des systèmes d'amarrage qui avait déjà été interrompu en 2011 (Peterson *et al.* 2012) a été redémarré en 2017, et des données jusqu'en 2022 sont maintenant disponibles pour prolonger la période disponible pour l'analyse.

Les Figure 96 et Figure 97 montrent les séries chronologiques de la température et de la salinité à la station d'amarrage la plus au sud du détroit de Barrow, en moyenne selon la saison et à trois profondeurs différentes : à la surface (35 à 50 m), au milieu (70 à 90 m) et en profondeur (135 à 155 m). Bien que le programme du détroit de Barrow ait permis d'installer des systèmes d'amarrage à quatre sites de l'autre côté du chenal, l'emplacement d'amarrage « sud » est indiqué ici parce qu'il représente le cœur du débit sortant de l'Arctique, tant en termes de flux de chaleur et d'eau douce que de volume de transport (Peterson *et al.* 2012). Les tendances de réchauffement (Figure 96) et de dessalure (Figure 97) sont significatives (à l'intérieur d'une limite de confiance à 95 %) pour toutes les saisons et les trois profondeurs. Les tendances sont les plus élevées pour la couche proche de la surface, avec un réchauffement de près de 0,1 °C par décennie et une dessalure de 0,33 g/kg par décennie. Les tendances décennales diminuent avec la profondeur, mais sont toutes encore significatives sur la période de 24 ans.

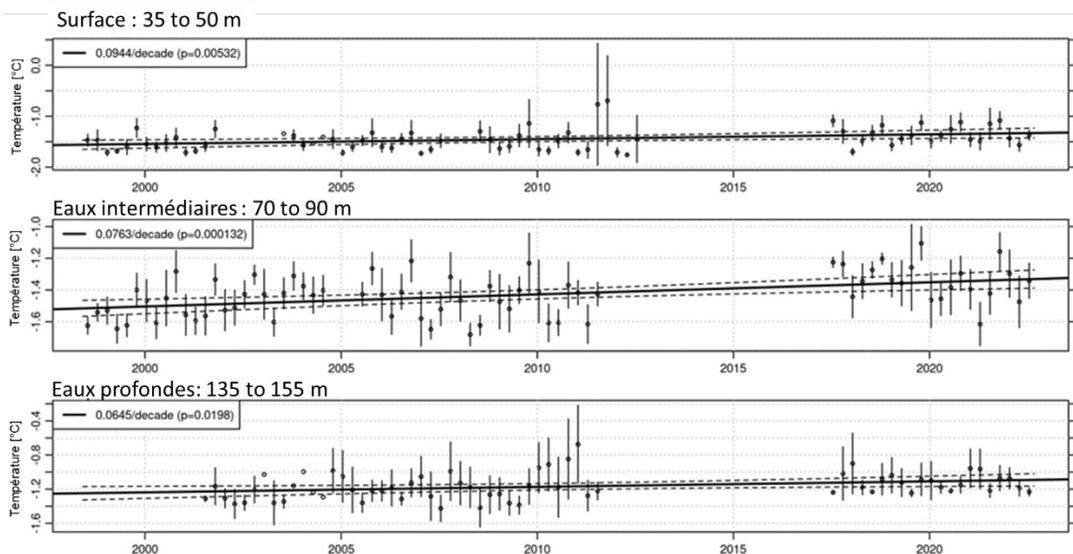


Figure 96. Observations à long terme de la température des eaux près de la surface, au milieu et au fond dans le détroit de Barrow montrant des tendances au réchauffement des eaux sortant de l'archipel Arctique canadien.

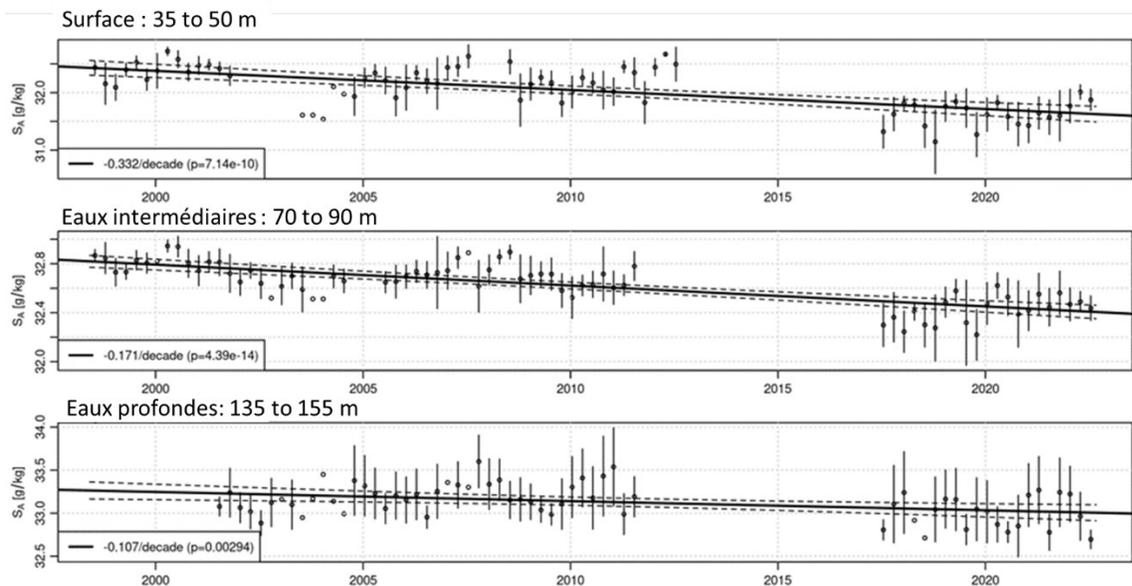


Figure 97. Observations à long terme de la salinité des eaux près de la surface, au milieu et au fond dans le détroit de Barrow montrant des tendances à la dessalure des eaux sortant de l’archipel Arctique canadien.

Le débit sortant de l’archipel Arctique canadien et les effets en aval sur l’Atlantique Nord sont tributaires de processus au sein du vaste écosystème marin de la baie de Baffin (environ 690 000 km²). La baie de Baffin est délimitée par l’île de Baffin (Canada) à l’ouest et le Groenland (Danemark) à l’est, mais la nette distinction entre l’est et l’ouest ne découle pas seulement de cette situation géopolitique. Les deux parties se caractérisent par des conditions océanographiques et écologiques contrastées qui résultent essentiellement du rôle de porte d’entrée qu’elles jouent entre l’Arctique et l’Atlantique Nord.

Depuis les petits détroits qui traversent l’archipel canadien dans le nord, des masses d’eau froide et relativement peu salines de l’Arctique coulent vers le sud dans la moitié ouest de la baie, le long des côtes de l’île de Baffin. Les caractéristiques physiques de ces eaux créent des conditions favorables à la formation d’une couverture étendue de glace de mer en automne et en hiver, sauf dans la région des eaux du Nord (Pikialasorsuaq) au sud du détroit de Nares, qui demeure libre de glace pendant la majeure partie de l’hiver, créant un point névralgique de productivité et de biodiversité dans l’Arctique canadien. Les masses d’eau d’origine arctique sont également relativement riches en phosphate, ce qui favorise la production primaire le long du parcours et même au-delà de la baie, dans l’Atlantique Nord (Joli *et al.* 2018). À partir du détroit de Davis beaucoup plus large au sud, le courant de l’ouest du Groenland coule dans la direction opposée, apportant des masses d’eau plus chaudes, plus salées, mais moins riches en nutriments de l’Atlantique Nord, ainsi que leur suite de communautés planctoniques boréales. Les courants opposés qui traversent la baie de Baffin ont récemment été comparés en ce qui concerne la structure de l’habitat et les réseaux trophiques (étude de cas 12), afin d’améliorer la compréhension de l’équilibre et de l’interaction entre les gradients saisonniers et longitudinaux dans une porte d’entrée de l’Arctique.

ÉTUDE DE CAS 12 : Écosystèmes marins de la baie de Baffin – le contraste entre les côtes est et ouest

La nature hétérogène des propriétés biogéochimiques de la baie de Baffin a été interprétée selon deux hypothèses contrastantes, ce qui pourrait signifier, d'une part, que la baie est composée de communautés planctoniques fondamentalement différentes responsables des productions primaires et secondaires. D'autre part, la différence observée entre les deux côtés de la baie en ce qui concerne le moment du retrait de la glace de mer et la maturation saisonnière de l'écosystème qui en résulte pourrait indiquer que la rive est plus chaude n'est qu'un stade « mature » de l'écosystème planctonique, comparativement à l'ouest où la couverture de glace demeure plusieurs mois de plus. Autrement dit, des gradients longitudinaux ont été proposés pour estimer approximativement les gradients saisonniers.

Récemment, des efforts de recherche ont été déployés pour obtenir une meilleure couverture spatio-temporelle des processus écologiques négligés dans la baie de Baffin : la campagne GreenEdge visait à comprendre la phase de transition cruciale entre le sombre hiver de l'Arctique et le pic de productivité qui survient au début de l'été. Cette période est cruciale, car elle prépare le terrain pour la brève, mais intense explosion de la productivité estivale sur laquelle compte l'ensemble de l'écosystème marin, y compris les collectivités humaines locales. La productivité estivale est très sensible à l'équilibre délicat des flux de glace et d'eau douce dans la baie, qui réagit fortement aux changements climatiques dans l'Arctique (Ardyna et Arrigo 2020). L'expédition, qui a duré deux ans (2015 et 2016), comprenait un camp d'observation des glaces de quatre mois au large de la collectivité de Qikiqtarjuaq sur l'île de Baffin, ainsi qu'un vaste échantillonnage dans toute la baie par le brise-glace océanographique NGCC *Amundsen* (voir Randelhoff *et al.* 2019). Il a été réalisé avec la participation des détenteurs de connaissances inuits afin de faire progresser notre compréhension de la biodiversité marine, de la productivité biologique et de la fonction écosystémique en réponse aux conditions actuelles et futures.

Les deux hypothèses invoquées pour expliquer la dynamique de production primaire de la baie de Baffin ne s'excluaient pas mutuellement, car les communautés de l'est et de l'ouest de producteurs primaires ont des ensembles taxonomiques différents, mais la combinaison de leurs caractéristiques fonctionnelles permet une productivité primaire relativement élevée des deux côtés à mesure que l'année avance. La prolifération phytoplanctonique commence dès que les contraintes de lumière sur la photosynthèse sont atténuées, se développant sous la zone de glace marginale fragmentée en recul à mesure que l'été avance (Lafond *et al.* 2019; voir aussi l'étude de cas 7). Au premier stade, sur le plateau et le talus peu profonds du Groenland dans les eaux influencées par l'Atlantique, la prolifération de diatomées en pleine croissance était dominée par des espèces de pennées coloniales à croissance rapide et formant des rubans. Le développement de la prolifération a entraîné un quasi-épuisement des nutriments dans la partie est de la baie, tandis que sous le reste de la banquise de l'ouest, les nutriments n'avaient pas encore été consommés. Là, les diatomées dominées par les pennées commençaient tout juste à proliférer. Bien que l'augmentation prévue de la durée de la saison d'eau libre en réponse aux changements climatiques puisse ne pas avoir d'effet direct sur l'ampleur de la prolifération des diatomées dans la baie de Baffin, puisque la mise en valeur des diatomées demeure limitée par l'apport d'azote, la fonte précoce de la glace de mer pourrait lui permettre de se produire plus tôt. Une

prolifération précoce favoriserait le transfert trophique le long de la chaîne alimentaire ou l'enfoncement du carbone, selon les processus impliquant également des bactéries et des zooplanctons.

Toullec et ses collaborateurs (2021) ont révélé une séquence de processus entraînant le rassemblement du phytoplancton qui favorise l'exportation de la production primaire, car la prolifération phytoplanctonique suit la zone marginale de recul de la glace vers l'ouest. Les groupes n'ont pas été formés au début de la prolifération, mais plutôt lorsque l'épuisement des nutriments à la surface s'est produit à un stade avancé. Par la suite, des maximums de groupes de phytoplancton sont descendus dans la colonne d'eau et les cellules de phytoplancton à la surface ont commencé à se dégrader. Fait intéressant, le groupe dominant de brouteurs dans le système, les copépodes, suivaient les groupes à la fin de la prolifération phytoplanctonique, peut-être parce qu'ils fournissaient une nourriture de meilleure qualité que les cellules de phytoplancton mourantes à la surface. L'enfoncement des groupes cellulaires et des boulettes fécales de copépode, ainsi que le métabolisme de ces derniers en profondeur favorisent l'exportation vers le bas du carbone dans la baie de Baffin.

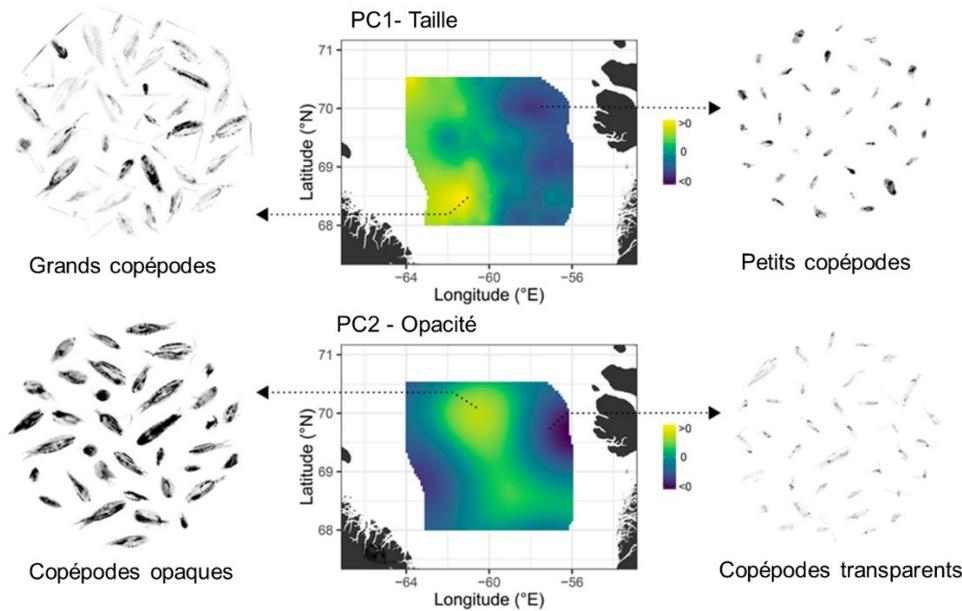


Figure 98. Répartition des caractéristiques morphologiques des copépodes dans la baie de Baffin. Krigeage des coordonnées moyennes de chaque station sur deux axes de composantes principales associées à la taille (PC1) et à l'opacité (PC2) des images de copépodes de la couche de surface. La PC1 reflète la taille individuelle et la PC2, l'opacité. Pour illustrer les morphologies « extrêmes » qui déterminent la valeur moyenne de la composante principale à une station, 36 images ont été sélectionnées au hasard dans les 10 % les plus élevés ou les plus bas le long de chaque composante principale et affichées sur les côtés (source : Vilgrain *et al.* 2021).

Le broutage de la prolifération phytoplanctonique est un rôle classique du cycle du carbone attribué aux copépodes du zooplancton. Cependant, la transformation de la production primaire pendant la sédimentation pourrait représenter une contribution plus importante des copépodes au cycle du carbone dans la baie de Baffin que la compréhension classique du devenir de la prolifération. En effet, le broutage des copépodes n'a pas limité la production primaire

quotidienne maximale pendant la prolifération phytoplanctonique dans la baie de Baffin, la pression du broutage ne consommant que 2 % de la production primaire totale (Sampei *et al.* 2021). Une évaluation par apprentissage automatique des caractéristiques morphologiques des copépodes mesurés à partir d'images à haute résolution a permis de déterminer que le transfert d'énergie des copépodes entre les niveaux trophiques inférieurs et supérieurs était associé à la présence de grands copépodes dans les eaux couvertes de glace où des individus opaques (Figure 98) de la zone marginale de la glace avaient des estomacs pleins ou présentaient une augmentation des pigments provenant de leur nourriture phytoplanctonique.

Une meilleure description spatio-temporelle des caractéristiques fonctionnelles planctoniques améliore notre compréhension du fonctionnement des écosystèmes de la baie de Baffin. La modélisation trophique tenant compte de plusieurs processus biologiques impliqués dans le cycle du carbone, notamment dans la pompe biologique gravitationnelle, lipidique et microbienne, a clairement montré que le réseau trophique de l'est de la baie de Baffin présente un réseau trophique plus spécialisé qui limite le carbone par des voies précises et efficaces, conduisant à une ségrégation de la boucle microbienne par rapport à la chaîne de broutage classique (Saint-Béat *et al.* 2020). En revanche, le réseau trophique de l'ouest a montré des voies redondantes et plus courtes qui ont entraîné une augmentation des exportations de carbone, en particulier par le biais des lipides (copépodes) et des pompes microbiennes, et ont ainsi favorisé la séquestration du carbone. Cela a confirmé une fois de plus le rôle essentiel joué par les copépodes de grande taille capables de construire de grandes réserves de lipides pour l'exportation de carbone dans la baie de Baffin.

La plupart des espèces d'importance culturelle et économique sont très mobiles et ont tendance à effectuer de longues migrations à l'intérieur et à l'extérieur de la baie pour exploiter ses ressources de façon saisonnière. La baleine boréale est adaptée pour exploiter les environnements contrastants de la baie de Baffin. En suivant le recul vers l'ouest de la zone marginale de la glace et les eaux froides pendant l'été, apparemment en tentant d'échapper aux eaux de surface qui se réchauffent (possiblement appauvries en grands copépodes, leur proie préférée), de nombreuses baleines boréales sont restées dans la région de la baie de Disko, au sud-est, pendant l'hiver, où la combinaison de la faible couverture de glace et de la bathymétrie leur permet de se régaler sur de grands copépodes riches en lipides piégés dans des rassemblements denses près du fond (Chambault *et al.* 2018). Les modèles statistiques ont montré que les baleines boréales maintenaient activement un habitat ayant une plage étroite de températures (-0,5 à 2 °C).

Les conséquences possibles de l'évolution des espèces fourragères sont mises en évidence dans un nouveau cadre de modélisation pour l'ouest de la baie de Baffin (Pedro *et al.* 2023) qui laisse entendre que le système est contrôlé par des niveaux trophiques intermédiaires, en soulignant le rôle essentiel des grands copépodes et de la morue polaire en tant que poissons-proies. Le modèle montre également l'importance d'autres groupes moins étudiés comme les céphalopodes dans le contrôle des flux d'énergie (Figure 99). La plus grande partie de la biomasse de l'écosystème a été conservée dans le système, avec très peu de pertes dues à la récolte de subsistance et la pêche commerciale, ce qui indique que ces activités se trouvaient dans une fourchette durable pendant la période de modélisation.

Une grande partie de la baie de Baffin contribue aux efforts de conservation du Canada visant à protéger 25 % de ses écosystèmes marins d'ici 2025. Il est essentiel de comprendre les différences régionales subtiles dans les propriétés biogéochimiques et les réactions des écosystèmes à l'accélération des effets des changements climatiques dans la région pour que les efforts de gestion et de conservation soient efficaces dans cette région d'importance écologique.

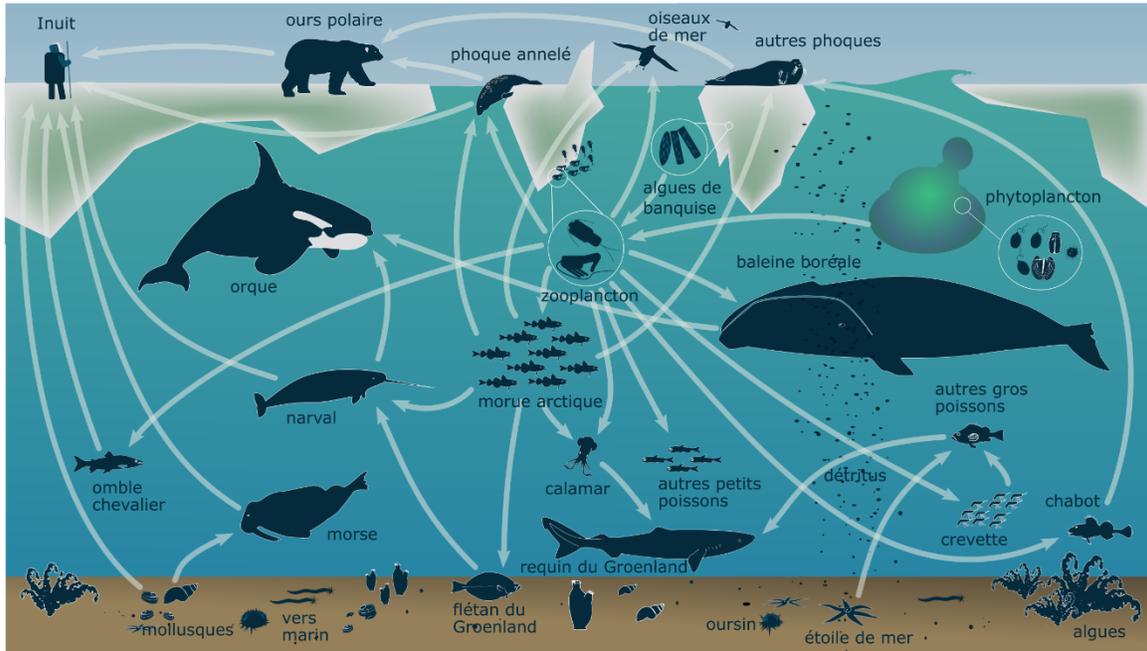


Figure 99. Représentation des interactions du réseau trophique côtier et de celui du plateau ouest de la baie de Baffin (source : Sara Pedro).

6.4 Liens entre le Pacifique, l'Arctique et l'Atlantique

Les saumons du Pacifique, le saumon de l'Atlantique et l'omble chevalier, les poissons emblématiques des océans Pacifique, Atlantique et Arctique, se rencontreront bientôt dans l'Arctique canadien. Le saumon du Pacifique se déplace vers le nord et il est capturé, principalement dans les Territoires du Nord-Ouest, comme prise accessoire dans les pêches de subsistance ciblant les espèces arctiques (Dunmall *et al.* 2013; Dunmall *et al.* 2021). Le saumon de l'Atlantique est également pêché, bien qu'en plus petits nombres, par les collectivités du Nunavut (Bilous et Dunmall 2020; Dunmall *et al.* 2021). Le saumon rose est également présent et en augmentation dans l'océan Atlantique au cours des années impaires (CIEM 2022) et a récemment fait son apparition dans les filets de la pêche de subsistance au Nunavik et au Nunavut (McNicholl *et al.* 2021). La poursuite du réchauffement pourrait soutenir l'augmentation de la production de saumon rose aux limites septentrionales de l'aire de répartition (Farley *et al.* 2020). Bien que le rythme de ces changements soit rapide, notre compréhension de leurs répercussions et des possibilités qu'ils présentent pour les écosystèmes et les gens ne fait que commencer.

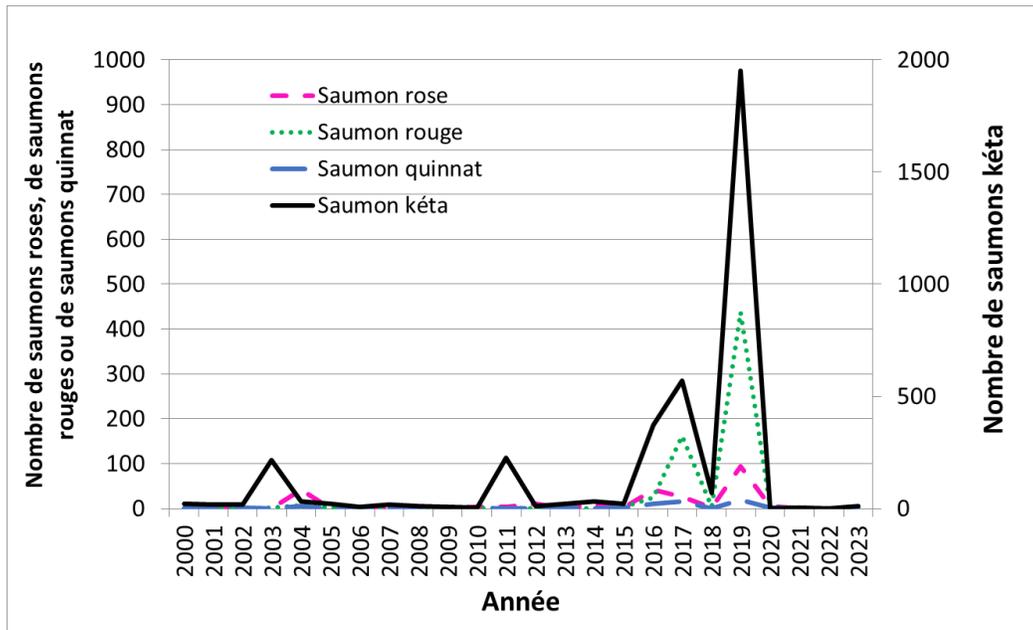


Figure 100. Nombre d'individus de chaque espèce de saumon du Pacifique obtenu par le programme de suivi communautaire des saumons dans l'Arctique auprès des pêcheurs dans l'ensemble de l'Arctique canadien de 2000 à 2023.

La présence des saumons dans l'Arctique canadien n'est pas nouvelle; cependant, au cours des dernières années, plus de saumons d'un plus grand nombre d'espèces sont récoltés dans un plus grand nombre d'endroits de l'Arctique canadien (Dunmall *et al.* 2021; Chila *et al.* 2022). Le programme Arctic Salmon collabore avec les pêcheurs pour surveiller la présence de saumons et d'autres poissons inhabituels dans les pêches de subsistance dans l'ensemble de l'Arctique canadien (Dunmall *et al.* 2013). Ces saumons réagissent aux changements dans le milieu marin qui facilitent leur accès à des endroits où ils n'ont jamais été observés par le passé et, certaines années, ils sont pêchés en quantités jamais atteintes auparavant (Figure 100). L'augmentation du

nombre de saumons est préoccupante pour les pêcheurs en raison des répercussions possibles sur les principaux poissons et écosystèmes de l'Arctique, ainsi que sur les pratiques culturelles (Chila *et al.* 2022). Les saumons peuvent interagir avec d'autres poissons de l'Arctique dans les zones où l'habitat ou l'utilisation des ressources se chevauchent (Harris *et al.* 2022a). Bien que les saumons ne soient pas des poissons de prédilection dans l'Arctique, les pêcheurs ont commencé à s'adapter à leur présence (Chila *et al.* 2022).

Malgré la présence régulière de plusieurs espèces de saumons du Pacifique dans l'Arctique canadien, on ne sait pas si ces poissons se reproduisent avec succès dans les cours d'eau de l'Arctique et peuvent s'établir à de nouveaux endroits. Lorsque les saumons du Pacifique fraient à l'automne, ils doivent trouver des endroits qui ne gèlent pas jusqu'au fond pour y hiverner. Ces endroits existent, mais sont limités dans l'Arctique canadien (Dunmall *et al.* 2016). Toutefois, la première capture d'un saumon kéta (*Oncorhynchus keta*) juvénile près de Kaktovik confirme la réussite de la fraie et la survie précoce en mer d'un saumon du Pacifique dans l'Arctique nord-américain (Dunmall *et al.* 2022). Une sensibilisation accrue à la présence possible de saumons juvéniles pourrait éclairer d'autres programmes littoraux et les efforts d'observation communautaire, ce qui pourrait mener à la documentation de nouvelles occurrences supplémentaires (p. ex. McNicholl *et al.* 2021).

6.5 Des liens qui changent : mammifères marins

Les mammifères marins migrateurs se rendent dans l'Arctique canadien ou s'y déplacent pour profiter de sources de nourriture abondantes selon la saison et d'aires de croissance convenables. Ce faisant, ils relient des écosystèmes éloignés et agissent comme des prédateurs et des proies éphémères dans les réseaux trophiques locaux. Les cétacés migrateurs de l'Arctique créent des liens biologiques transnationaux entre les eaux canadiennes et celles de la mer des Tchoukches voisine à l'ouest, et les eaux du Groenland à l'est (p. ex. Heide-Jørgensen *et al.* 2003; Clarke *et al.* 2023). Dans les eaux canadiennes, ils relient de grands écosystèmes de haute mer comme la mer de Beaufort, la baie de Baffin et la baie d'Hudson aux écosystèmes côtiers et de fjords de l'archipel Arctique canadien et du Nunavik (p. ex. Heide-Jørgensen *et al.* 2003; Fortune *et al.* 2020a,b; Shuert *et al.* 2022).

Les mammifères marins migrateurs doivent composer avec la variabilité environnementale de plusieurs habitats, ce qui pourrait accroître leur vulnérabilité aux changements des écosystèmes liés au climat si la phénologie et la fidélité au site des migrations sont fixes (Laidre *et al.* 2008). Pour les cétacés résidents de l'Arctique, du moins, de nouvelles données laissent de plus en plus penser que certains aspects de la migration peuvent être flexibles et réagir aux changements du moment du retrait ou de la prise des glaces de mer, et de la répartition des proies. Le narval est généralement considéré comme vulnérable aux changements environnementaux à grande échelle en raison de sa spécialisation relative de l'habitat et de sa phénologie de migration constante (Laidre *et al.* 2008; Heide-Jørgensen 2015). L'étude de cas 8 indique que le départ des narvals des aires d'estivage dans le détroit d'Éclipse se fait, en moyenne, environ 20 jours plus tard depuis 1997, ce retard étant lié à des indices de faibles concentrations de glace de mer. De même, les bélugas de la population des Tchoukches ont quitté la mer de Beaufort de deux à quatre semaines plus tard depuis les années 1990, parallèlement à une prise des glaces plus tardive (Hauser *et al.* 2017), et la débâcle précoce de la glace de rive dans la mer de Beaufort a permis

aux bélugas de l'est de la mer de Beaufort d'entrer plus tôt dans l'estuaire du Mackenzie (section 7.3). L'étude de cas 4 décrit comment les comportements de recherche de nourriture du béluga de l'est de la mer de Beaufort et de la baleine boréale de l'est du Canada et de l'ouest du Groenland changent en fonction de la disponibilité des proies le long des voies de migration.

Les chasseurs inuits ont remarqué des changements d'utilisation de l'habitat et de la période de migration de certains cétacés résidents de l'Arctique à certains endroits comme la baie Resolute et l'estuaire du Mackenzie (p. ex. Waugh *et al.* 2018; Harwood *et al.* 2020; McLennan *et al.* 2022). La variation interannuelle et intra-annuelle de l'utilisation locale de l'habitat dans les aires d'estivage peut être associée à des perturbations comme des tempêtes (Scharffenberg *et al.* 2021), le bruit anthropique sous-marin (Halliday *et al.* 2020b), ou la présence d'épaulards prédateurs (Matthews *et al.* 2020). Toutefois, ces changements constituent des ajustements relativement locaux. Aucune modification à grande échelle des voies de migration ou des destinations n'a été observée pour les cétacés résidents de l'Arctique. En fait, la variation des migrations a surtout été associée à des changements de la phénologie ou du comportement de recherche de nourriture en cours de route (études de cas 4 et 8; Hauser *et al.* 2017). Les liens de longue distance entre les écosystèmes voisins demeurent intacts. Néanmoins, les changements intrarégionaux dans l'utilisation de l'habitat des cétacés et d'autres mammifères marins en réaction aux conditions environnementales peuvent rendre la chasse plus difficile pour les chasseurs inuits (Hauser *et al.* 2021; Martinez-Levasseur *et al.* 2021; McLennan *et al.* 2022).

En revanche, on a constaté des changements notables dans la répartition et l'aire de répartition des cétacés non résidents dans l'Arctique. Depuis le rapport précédent sur l'état des mers arctiques au Canada (Niemi *et al.* 2019), les observations d'épaulards ont continué d'augmenter près du détroit de Lancaster et aussi loin à l'ouest que la baie Cambridge, mais sont encore rares dans l'ouest de l'Arctique (McLennan *et al.* 2022). Des Inuits et des observateurs scientifiques ont vu des grands cachalots (*Physeter macrocephalus*) pour la première fois en 2014 et en 2018 dans la baie d'Éclipse, le long du nord de l'île de Baffin (Lefort *et al.* 2022; Posdaljian *et al.* 2022). Les études de suivi sur les données provenant d'enregistreurs acoustiques amarrés ont confirmé la présence de l'espèce tous les ans entre 2015 et 2019 (Posdaljian *et al.* 2022). La présence de grands cachalots à la fin de l'été dans le détroit d'Éclipse a été étroitement associée au moment où la glace de mer atteint une étendue minimale (Posdaljian *et al.* 2022).

6.6 Migrations des oiseaux de mer : questions océaniques multiples

L'étude du cycle annuel complet d'un organisme joue un rôle essentiel en vue de comprendre comment les effets des comportements et des conditions environnementales se répercutent entre les saisons, en particulier dans un contexte de changement de l'état des glaces et d'augmentation des activités humaines. Les oiseaux de mer sont généralement reconnus comme des indicateurs de la santé des écosystèmes marins (Parsons *et al.* 2008). Les oiseaux de mer de l'Arctique hivernent généralement dans des endroits plus au sud et migrent vers et depuis leurs aires de reproduction de l'Arctique, où ils ont accès à une abondance de ressources alimentaires qui peuvent soutenir la reproduction lorsque les conditions sont favorables. Plusieurs études ont récemment utilisé des techniques de suivi, notamment la télémétrie satellitaire, des géolocalisateurs légers et de petits dispositifs GPS, pour documenter les déplacements annuels des oiseaux de mer qui nichent dans l'Arctique canadien. Ces études fournissent des

renseignements de premier plan sur la connectivité de l'habitat entre les côtes de l'Arctique canadien et d'autres océans mondiaux, ce qui souligne l'influence que les conditions environnementales dans l'ensemble de l'aire de migration peuvent avoir sur la reproduction dans l'Arctique.

La sterne arctique (*Sterna paradisaea*) effectue les plus longues migrations annuelles connues sur Terre, depuis les aires d'hivernage dans l'Antarctique jusqu'aux colonies de nidification estivale situées dans l'ensemble de l'Arctique circumpolaire (Egevang *et al.* 2010). Les individus utilisent habituellement la même colonie de nidification tout au long de leur vie et se nourrissent dans les eaux de surface de petits poissons, de krill et de gros zooplancton. Des réductions apparentes du nombre de sternes arctiques ont été observées à l'échelle mondiale et locale, ce qui a soulevé des préoccupations chez certains Inuits des collectivités du Nunavik qui récoltent des œufs de sternes pour se nourrir (Mallory *et al.* 2018; Henry *et al.* 2020; Birdlife 2023). De récentes études de suivi ont révélé que les sternes arctiques des colonies de nidification de l'Arctique canadien, de l'Alaska, du Groenland, de l'Islande et de la Scandinavie partagent des voies de migration communes vers le sud et le nord, qui coïncident également avec les voies migratoires empruntées par divers autres oiseaux de mer migrants (Figure 101; Wong *et al.* 2021). Le moment des migrations vers le sud et vers le nord variait d'une colonie à l'autre, mais se produisait au cours d'une période d'un à deux mois. De plus, les oiseaux de toutes les colonies canadiennes utilisaient un site de halte migratoire commun dans l'Atlantique Nord (environ entre les 41° et 53° parallèles nord et les 27° et 41° méridiens ouest) pendant les migrations vers le sud.

Les labbes (*Stercorarius* spp.) sont des oiseaux de mer communs dans l'Arctique canadien. Ils se nourrissent dans les eaux marines dans leurs aires d'hivernage et lors de leur migration (p. ex. Seyer *et al.* 2021; Harrison *et al.* 2022), mais ils sont presque exclusivement des prédateurs terrestres dans leurs aires de nidification dans l'Arctique. Il a été démontré récemment qu'un petit échantillon de trois espèces de labbes nichant dans l'Extrême-Arctique canadien de façon sympatrique s'est dispersé dans des sites hivernaux dans quatre océans. Les labbes pomarins (*S. pomarinus*) se sont envolés vers l'ouest de l'océan Pacifique, les labbes parasites (*S. parasiticus*) ont migré vers l'ouest de l'océan Atlantique et les labbes à longue queue (*S. longicaudus*) ont migré vers l'est de l'océan Atlantique et l'ouest de l'océan Indien (Harrison *et al.* 2022). Les labbes à longue queue ont entrepris une migration printanière plus longue et plus lente que leur migration automnale, car ils ont cherché de la nourriture en cours de route pour accumuler des réserves corporelles qui seraient vraisemblablement nécessaires à leur arrivée à leurs lieux de reproduction (Seyer *et al.* 2021).

Les déplacements saisonniers à l'extérieur des aires de reproduction estivales de l'Arctique ont également fait l'objet d'un suivi récent qui illustre davantage la connectivité marine. Les dispositifs de suivi de goélands bourgmestres (*Larus hyperboreus*) de l'île Coats ont fourni les premiers renseignements sur leur migration et leur utilisation de l'habitat en dehors de la saison de reproduction. Les goélands utilisaient deux stratégies de migration : certains se déplaçaient jusqu'à la mer d'Okhotsk, en Russie, tandis que d'autres hivernaient dans l'Atlantique Nord. Ils hivernaient principalement dans des habitats pélagiques (56 %) et côtiers (38 %; Baak *et al.* 2021a). Le goéland de Thayer (*Larus glaucooides thayeri*) peu connu a également fait l'objet de suivi pour la première fois, montrant que les adultes des environs de l'île Devon, dans le Haut-Arctique canadien, ont migré par voie terrestre, à travers des chaînes de montagnes, pour

hiverner entre le sud-est de l'Alaska et le nord-ouest de la Colombie-Britannique (Gutowsky *et al.* 2020). Des capteurs de localisation mondiaux posés sur des goélands argentés (*Larus smithsonianus*) se reproduisant dans l'Arctique ont permis de suivre la migration des goélands vers le golfe du Mexique ou les Grands Lacs, ce qui démontre la variabilité individuelle de la migration de cette espèce qui s'alimente de façon généraliste (Baak *et al.* 2021b).

L'information sur les voies et le moment de leur migration fournit une base de référence importante qui démontre la connectivité de longue portée entre les océans et les côtes. Il est nécessaire de comprendre la connectivité pour examiner les effets potentiels des changements environnementaux à grande échelle et l'influence humaine sur les aires de reproduction de l'Arctique et les aires d'hivernage plus au sud. De plus, la détermination des dimensions spatiales et temporelles des voies migratoires de plusieurs espèces ou de plusieurs colonies est une étape essentielle pour établir des protections internationales le long des voies migratoires communes (Wong *et al.* 2021). Dans l'Arctique canadien, on s'attend à ce que 13 % des principaux habitats d'oiseaux de mer se trouvent dans des aires protégées en vertu de la loi à mesure que les aires marines de conservation nouvellement désignées seront définitivement établies (Mallory *et al.* 2019).

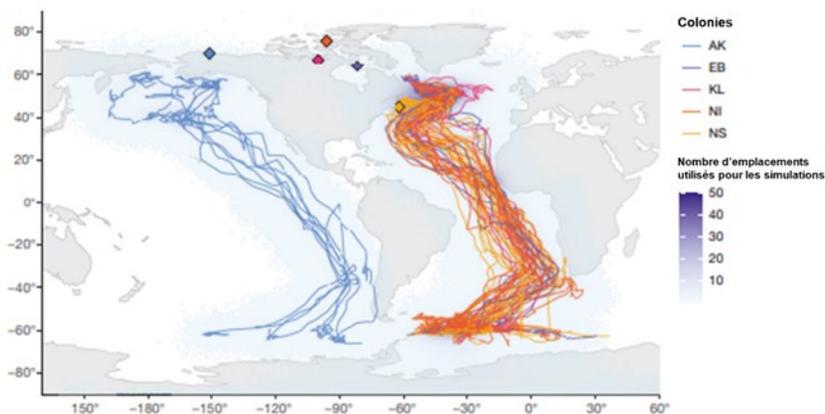


Figure 101. Les voies de migration les plus probables vers le nord empruntées par les sternes arctiques de février à juin 2018 à partir des colonies de nidification de l'Arctique canadien et de l'Alaska (indiquées par des losanges de couleur correspondante). L'incertitude modélisée est affichée avec la densité des emplacements simulés/échantillonnés (ombrage violet). AK : Alaska, EB : baie Est, KL : lac Karrak, NI : île Nasaruaalik, NS : Nouvelle-Écosse (source : Wong *et al.* 2021).

7.0 Écosystèmes côtiers

Dans la présente section, nous examinons les écosystèmes côtiers situés généralement à moins de cinq kilomètres du rivage ou du côté côtier de l'isobathe de 20 m. Il s'agit de zones très dynamiques, car l'océan y rencontre la terre et les cours d'eau y rencontrent la mer. La glace et les vents se comportent différemment près du rivage qu'en haute mer (glace de rive par rapport à banquise) et l'interface des eaux côtières et des eaux du large, ainsi que leur brassage, sont des processus essentiels qui influent sur la fonction des écosystèmes côtiers. La majorité des collectivités canadiennes de l'Arctique bordent ces zones (Figure 1) et en dépendent pour leur mode de vie et leurs moyens de subsistance.

Les collectivités et les écosystèmes côtiers sont reliés aux cours d'eau et influencés par ceux-ci, qui connaissent des cycles saisonniers, y compris un pic du débit après la fonte printanière de la neige et de la glace terrestres. Les zones côtières influencées par les cours d'eau sont relativement plus chaudes et moins salines en été comparativement aux eaux extracôtières, et représentent donc des habitats uniques qui sont exploités par des migrateurs culturellement valorisés et saisonniers comme les poissons anadromes et le béluga. L'océan Arctique reçoit plus de ruissellement fluvial par unité de superficie que tout autre grand bassin océanique (11 % du ruissellement mondial pour 1 % de la surface océanique mondiale; McClelland *et al.* 2011). Cet afflux de chaleur peut affecter les habitats marins côtiers. La modélisation indique qu'au moins une partie de la tendance à la fonte hâtive de la glace de mer observée sur le plateau du Mackenzie (voir la section 5.2.2) entre 1981 et 2015 est attribuable à l'augmentation du débit d'eau chaude des cours d'eau (le réchauffement côtier associé au fleuve et aux rivières devrait causer une débâcle plus hâtive de 5 à 14 jours; Park *et al.* 2020). Au Canada, les changements de l'écoulement et du débit des cours d'eau varient selon la région et sont associés à l'évolution des régimes de précipitations et à la fonte du pergélisol (Champagne *et al.* 2021; Shrestha *et al.* 2021). Les sections qui suivent traitent des principaux processus côtiers qui mettent en lumière les changements dans cette zone littorale qui sont susceptibles d'avoir des conséquences sur la structure et la fonction de l'écosystème.

7.1 Comprendre les écosystèmes côtiers

Dans le domaine côtier, il est impératif de réunir les connaissances autochtones et scientifiques pour comprendre les conséquences écologiques d'un Arctique en évolution rapide. Par conséquent, on déploie de plus en plus d'efforts dans l'ensemble de l'Arctique canadien pour regrouper les connaissances (on dit parfois « les rapprocher ») afin d'aborder les priorités en matière de recherche, de suivi et de gestion (examinées dans Alexander *et al.* 2019, 2021). Dans le même ordre d'idées, les termes relatifs à la participation communautaire utilisés dans la littérature évaluée par les pairs sont de plus en plus nombreux (examinés dans Drake *et al.* 2022; étude de cas 13). Toutefois, le processus de rapprochement des connaissances n'est pas bien compris et il existe de nombreuses méthodes pouvant servir à recueillir des connaissances autochtones et des données en sciences naturelles (examinées dans Drake *et al.* 2023).

Comme norme de base, et à mesure que ce domaine croît rapidement, il est impératif de suivre les bonnes pratiques en matière de participation communautaire à la recherche et au suivi qui ont été communiquées par la Stratégie nationale inuite sur la recherche de l'Inuit Tapiriit Kanatami (2018) et dans le rapport de synthèse sur la participation éthique et équitable du Conseil circumpolaire inuit (CCI 2021), et d'autres. Elles reposent sur une communication et une orientation efficaces de la part des dirigeants de la collectivité, qui sont toutes deux nécessaires pour aller de l'avant ensemble et réunir les connaissances.

De nombreux projets récents ont mis au point et appliqué des outils novateurs pour rassembler les connaissances afin de répondre aux priorités de la collectivité. Par exemple, des questionnaires ont été créés conjointement avec la collectivité de Kinngait, le Nunavut et les chercheurs du MPO pour documenter le savoir autochtone sur les changements des écosystèmes aquatiques (Christie *et al.* 2023a). Une application à petite échelle de l'évaluation des

changements de la glace de mer à l'aide de cartes hebdomadaires a été utilisée dans la ZPM d'Anguniaqvia Niqiyuam pour documenter une diminution d'environ un mois sur 40 ans de la durée de la couverture de la glace de mer côtière (Gully *et al.* 2023). Les écosystèmes côtiers près de neuf collectivités de l'Inuit Nunangat ont été évalués à l'aide de protocoles normalisés appliqués à des indicateurs cohérents définis par les collectivités afin de documenter les conditions de référence et d'évaluer les changements au sein des collectivités et entre elles (figure 1; McNicholl *et al.* 2020; Bilous *et al.* 2022; Christie *et al.* 2023b). Au Nunavik, les connaissances autochtones sur l'omble chevalier ont été combinées à la littérature publiée afin de fournir une compréhension plus complète de cette espèce arctique clé (Dubos *et al.* 2023). Le regroupement des observations locales et scientifiques a fourni une nouvelle approche pour l'évaluation de la répartition de l'espèce et des changements potentiels attribuables aux changements environnementaux dans une vaste région géographique (McNicholl *et al.* 2021). Ces exemples ne montrent que quelques-unes des nombreuses méthodes et processus disponibles pour réunir les connaissances.

7.2 Carbone et nutriments dans les zones côtières

Dans l'Arctique canadien, l'apport de nutriments d'origine terrestre dans les zones côtières et au large/en aval est influencé par l'écoulement fluvial, la dégradation du pergélisol et l'érosion connexe, ainsi que la fonte des glaciers. La Figure 102 montre que dans l'ouest de l'Arctique canadien, l'apport de nutriments, y compris de carbone, dans les eaux de surface est dominé par l'influence du fleuve Mackenzie, tandis que dans la partie est de l'archipel Arctique canadien, l'influence de la fonte des glaciers est évidente.

De nouvelles recherches menées dans le détroit de Jones, dans l'est de l'archipel Arctique canadien, indiquent que les glaciers fournissent des concentrations élevées de macronutriments (azote, silice, phosphore) et de micronutriments (fer, manganèse) aux eaux de surface, comparativement aux régions côtières sans fonte des glaciers. Deux mécanismes interviennent dans l'apport en nutriments. Les macronutriments ne proviennent pas directement des glaciers, mais plutôt des eaux marines plus profondes qui sont soulevées à la surface de l'océan par l'augmentation de l'eau de fonte des glaciers (moins dense) qui pénètre dans l'océan sous la surface de la mer. Les micronutriments sont fournis par l'eau de fonte des glaciers elle-même (Bhatia *et al.* 2021). Les modèles océaniques fondés sur un micronutriment (le manganèse) ont aidé à comprendre l'apport en nutriments terrestres et leur répartition dans l'Arctique canadien (figure 102). Compte tenu des bassins hydrographiques des cours d'eau (y compris ceux qui sont alimentés par des glaciers) dans l'Arctique canadien, il existe une séparation nord-sud de l'apport en nutriments dans l'archipel Arctique canadien (Rogalla *et al.* 2023). Les cours d'eau continentaux influencent principalement le sud-ouest de l'archipel Arctique canadien, tandis que les glaciers influencent le nord-est de l'archipel et fournissent des micronutriments aux eaux du Nord. Les nutriments des glaciers sont transportés en aval du détroit de Nares, par exemple, fournissant 18 % du manganèse de façon saisonnière (Rogalla *et al.* 2023). Par conséquent, les changements du ruissellement glaciaire dans l'archipel Arctique canadien peuvent avoir des répercussions sur les zones productives en aval. L'apport de nutriments provenant des glaciers dans les eaux de surface est un autre élément important pour comprendre la productivité dans l'archipel Arctique canadien et les flux de nutriments de l'archipel Arctique canadien vers l'Atlantique Nord.

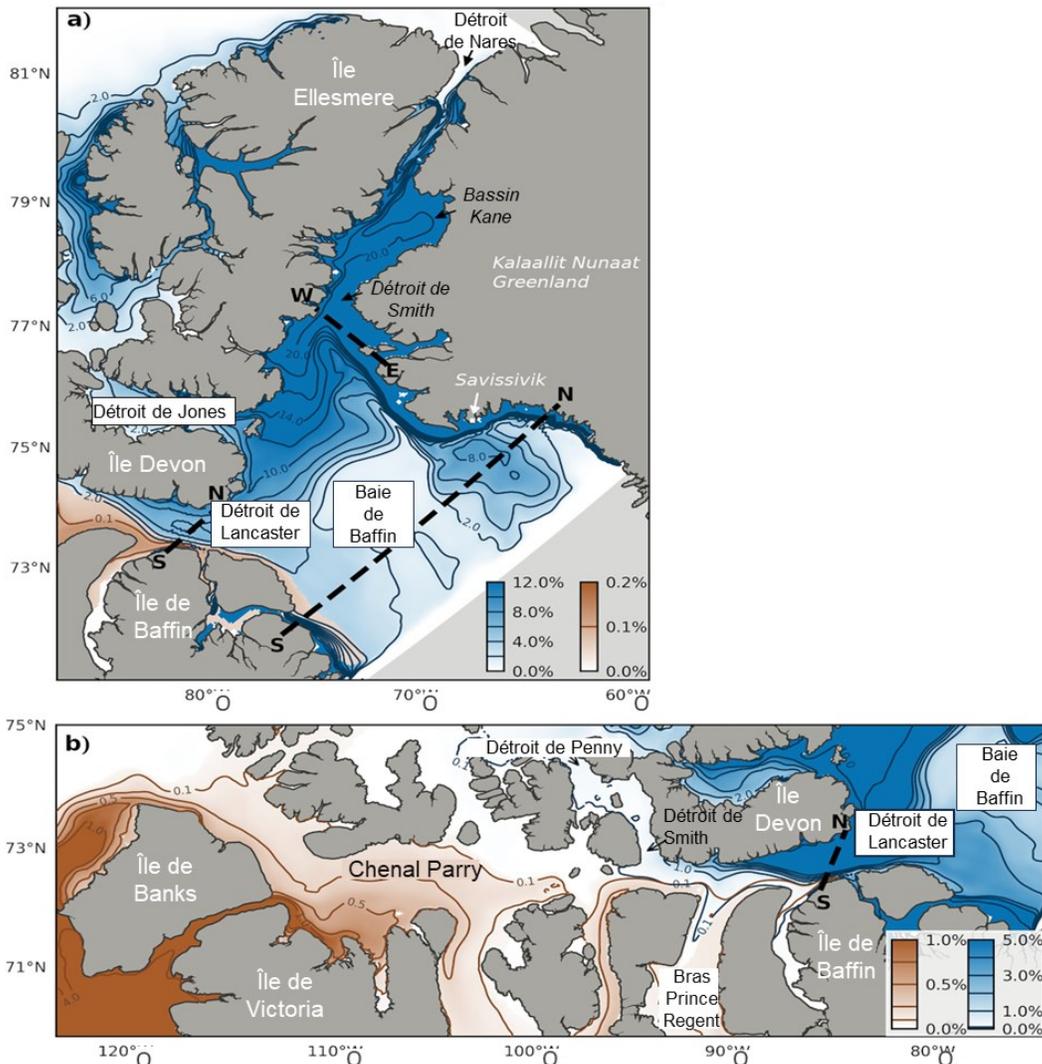


Figure 102. Influences continentales (brunes) et glaciaires (bleues) des eaux douces terrestres fondées sur la moyenne climatologique de septembre des contributions du ruissellement au manganèse dans la partie supérieure de 34 m de la colonne d'eau pour le nord-est de l'archipel (a) et le chenal Parry (b). Ces tendances sont caractéristiques du modèle complet pour la période de 2002 à 2020. Les apports du ruissellement au manganèse sont calculés comme le pourcentage d'augmentation du Mn dissous pour les expériences glaciaires et continentales améliorées, par rapport au modèle de base modélisé, voir Rogalla *et al.* (2023) pour plus de détails.

Le fleuve Mackenzie fournit la plus grande quantité de carbone et de nutriments d'origine terrestre par rapport aux autres cours d'eau de l'Arctique canadien. De récentes campagnes de recherche menées en partenariat avec les collectivités d'Aklavik, d'Inuvik et de Tuktoyaktuk ont fait progresser les connaissances sur la dynamique saisonnière et spatiale des matières terrestres dans le panache du fleuve (Lizotte *et al.* 2023). Des mesures détaillées du carbone dissous et particulaire et des nutriments, ainsi que de leurs caractéristiques par rapport aux conditions océaniques, ont permis d'améliorer la connaissance des conditions locales et de fournir une vérification exhaustive sur le terrain de l'évaluation par satellite des eaux de surface dans la

région du Mackenzie et de la mer de Beaufort (Juhls *et al.* 2022). Les tendances pour la région du delta du Mackenzie sont résumées à la Figure 103 et comprennent les données météorologiques et hydrologiques observées à Inuvik (Territoires du Nord-Ouest). Les tendances à long terme (p. ex. 1998 à 2019) dans le delta du Mackenzie montrent une augmentation importante du carbone organique dissous et particulaire dans les eaux à la fin de l'été. Cette augmentation s'explique probablement par l'accroissement des apports de carbone organique du pergélisol et n'est pas liée aux modifications du débit fluvial (Matsuoka *et al.* 2022). Par conséquent, le dégel du pergélisol peut être un facteur important pour comprendre le cycle saisonnier et l'exportation du carbone fluvial.

Le pergélisol se dégrade également directement sur le littoral en raison du réchauffement de la température de l'air et de la mer, des saisons sans glace plus longues et de l'élévation du niveau de la mer. Ces facteurs peuvent collectivement accroître l'érosion côtière dans l'Arctique, ce qui endommage les infrastructures, menace les collectivités côtières et libère du carbone organique des côtes de pergélisol. Le carbone organique libéré peut être transformé en gaz à effet de serre, ce qui contribue à un effet positif sur le changement côtier. Dans la zone littorale, les matières érodées perdent du carbone organique par la transformation en CO₂. Un écoulement plus lent des débris de boue peut libérer plus de trois fois plus de CO₂ qu'une courte impulsion de CO₂ causée par des débris libérés par l'effondrement d'une falaise (Tanski *et al.* 2021). Ces nouvelles constatations indiquent que le rejet de CO₂ provenant de l'érosion du pergélisol dans l'Arctique canadien peut varier selon le type d'érosion et le temps de séjour des débris dans les eaux littorales.

La transformation du carbone et des nutriments apportés au système marin par l'érosion côtière ou les cours d'eau peut également améliorer la productivité primaire. D'après les estimations concernant le fleuve Mackenzie et les cinq autres plus grandes rivières qui coulent dans l'ensemble de l'Arctique, on évalue maintenant que le carbone et les nutriments provenant des cours d'eau et de l'érosion côtière alimentent de 28 à 51 % de la productivité primaire nette annuelle actuelle de l'océan Arctique (Terhaar *et al.* 2021). La majeure partie de cette production est fondée sur le recyclage optimisé des nutriments terrestres dans les eaux des plateaux de l'Arctique (c.-à-d. les eaux de moins de 200 m de profondeur). Cependant, l'apport en nutriments provenant des cours d'eau est susceptible d'avoir le plus grand effet sur les producteurs primaires locaux, plutôt que des effets à grande échelle, même à quelques dizaines de kilomètres seulement de l'embouchure du fleuve Mackenzie (Ardyna et Arrigo 2020).

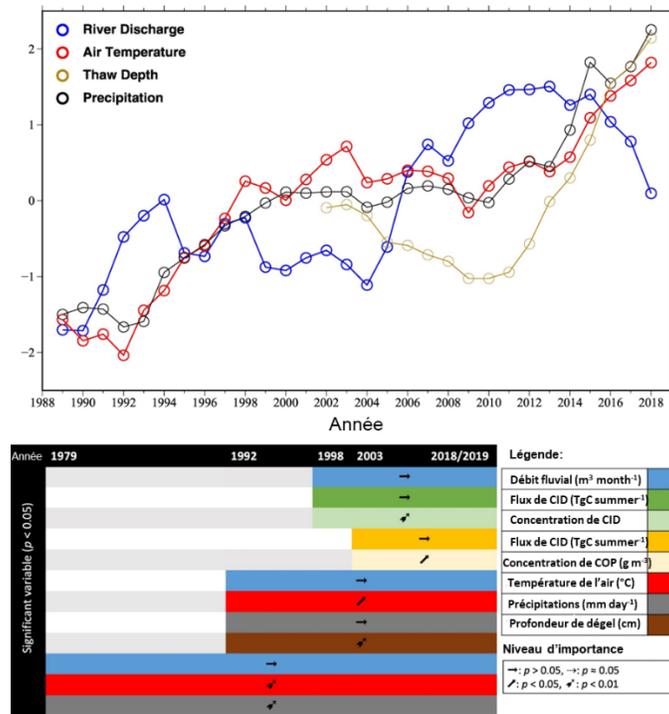


Figure 103. Résumé des tendances du débit fluvial, des précipitations et des températures de l'air à Inuvik (Territoires du Nord-Ouest), avec les tendances de la profondeur du dégel du pergélisol dans le delta du Mackenzie. Les anomalies sont fondées sur une moyenne mobile sur 11 ans, voir Matsuoka *et al.* (2022) pour plus de détails. Le panneau inférieur présente un résumé de l'analyse des tendances au cours d'une période de télédétection (1998 à 2019), d'une période plus longue (1992 à 2018) et d'une période complète (1979 à 2018), y compris le carbone organique fluvial dissous (COD) et particulaire (COP). Les flèches horizontales épaisses et minces ne présentent aucune tendance significative. La flèche épaisse qui pointe vers le haut à droite indique un niveau significatif à $p < 0,05$. L'autre flèche qui pointe vers le haut à droite indique un niveau significatif à $p < 0,01$ (source : Matsuoka *et al.* 2022).

7.3 Influences de l'eau douce sur l'habitat côtier du poisson

L'influence de l'eau douce sur les côtes de l'océan Arctique est essentielle pour de nombreuses espèces de poissons, tant marins qu'anadromes. Son écoulement dans les zones côtières augmente la température, réduit la salinité et fournit des nutriments qui créent des habitats uniques dotés d'une grande variabilité saisonnière de la salinité, de la température et de la turbidité. Les assemblages de poissons qui résident dans les zones côtières de l'océan Arctique sont donc uniques par rapport à ceux qui résident au large (p. ex. Majewski *et al.* 2013, 2017; McNicholl *et al.* 2020). Les écosystèmes côtiers abritent des poissons marins et dulcicoles qui tolèrent un large éventail de températures et de salinités, ainsi que des espèces anadromes migratrices (p. ex. McNicholl *et al.* 2020). La diversité des poissons dans ces habitats est la plus élevée en été, lorsque le lien entre les cours d'eau côtiers et le milieu marin n'est pas obstrué par la glace et lorsque les températures des eaux marines sont suffisamment chaudes pour soutenir les espèces anadromes.

Pour les poissons anadromes comme l'omble chevalier et le Dolly Varden, les cours d'eau relient les habitats de fraie et d'hivernage dans les lacs et les cours d'eau à l'océan hautement productif.

Les poissons anadromes matures ont accès à de précieuses ressources de proies dans le milieu marin pendant la courte période estivale, qui peuvent les soutenir tout l'hiver (Boivin et Power 1990). Le lien que les cours d'eau fournissent entre l'habitat d'hivernage et l'habitat d'alimentation estival s'étend bien au-delà de leur embouchure, car les eaux chaudes et dessalées établissent des voies migratoires vers les aires d'alimentation le long de la côte et au large (Gallagher *et al.* 2021a; Hollins *et al.* 2022). L'omble chevalier et le Dolly Varden demeurent principalement dans la partie supérieure (trois mètres) de la colonne d'eau lorsqu'ils sont en mer et sont fortement associés aux habitats estuariens et à la répartition des eaux de surface chaudes et douces au large des côtes (Spares *et al.* 2012; Moore *et al.* 2016; Courtney *et al.* 2018, Harris *et al.* 2020; Gallagher *et al.* 2021a). Ici, l'omble chevalier peut généralement se maintenir dans une plage de température de 2 à 10 °C, ce qui est optimal pour ses processus physiologiques (Courtney *et al.* 2018, Harris *et al.* 2020; Gallagher *et al.* 2021a), et ces conditions privilégiées peuvent être étendues loin au large par de grands panaches fluviaux.

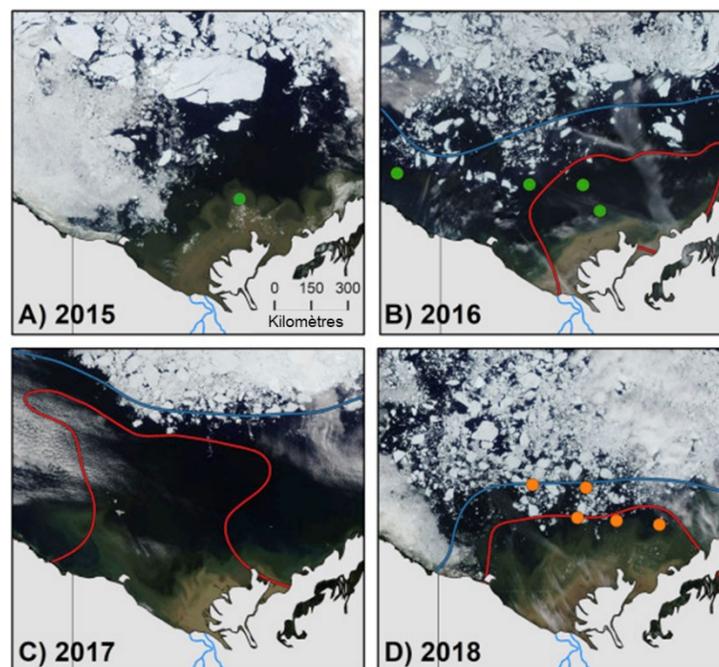


Figure 104. Carte de l'état de la glace de mer (imagerie satellitaire MODIS) près du fleuve Mackenzie, dans la mer de Beaufort, au cours d'une étude de quatre ans sur l'utilisation de l'habitat marin par le Dolly Varden. Les images de la glace de mer ont été prises les A) 24 juin 2015, B) 15 juillet 2016, C) 15 juillet 2017 et D) 15 juillet 2018. Plus de 90 % des détections de Dolly Varden marqués par des récepteurs de télémétrie acoustique se sont produites entre les lignes de contour rouge et bleu, qui indiquent des isolignes dérivées par satellite pour les températures de surface de la mer le 15 juillet de chaque année. La répartition extracôtère du Dolly Varden était associée à l'étendue des eaux chaudes du panache du fleuve Mackenzie et de la lisière de la glace de mer, où ils se nourrissent (source : Gallagher *et al.* 2021a).

Entre 2015 et 2018, le Dolly Varden a parcouru jusqu'à 152 km au large des côtes de la mer de Beaufort canadienne, la dispersion au large étant liée à l'emplacement de la lisière de la glace de mer et à l'étendue du panache du fleuve Mackenzie (Figure 104; Gallagher *et al.* 2021a). Pendant les années relativement froides où la débâcle s'est produite tardivement, lorsque la

lisière de la glace de mer était plus près de la rive comparativement aux années chaudes, le Dolly Varden occupait les eaux littorales plus souvent que les eaux extracôtières et se trouvait à des profondeurs moyennes moins élevées (Gallagher *et al.* 2021a). Au cours des années relativement chaudes où la débâcle s'est produite plus tôt, le Dolly Varden occupait plus fréquemment des eaux plus profondes (Gallagher *et al.* 2021a). De même, l'omble chevalier dans la mer de Kitikmeot se déplaçait vers des eaux plus profondes à la fin de l'été pour demeurer dans une aire thermique optimale ou suivre des proies, mais contrairement à ce qui survenait dans la mer de Beaufort, son association avec les eaux de surface n'était pas associée à la variabilité interannuelle des concentrations de glace de mer sur une période de quatre ans, de 2013 à 2016 (Harris *et al.* 2020).

Le comportement de plongée (profondeur supérieure à cinq mètres) de l'omble chevalier et du Dolly Varden est relativement rare, se produisant plus fréquemment en milieu marin que dans les habitats estuariens, et il est probablement associé à l'alimentation (Figure 105; Spares *et al.* 2012; Courtney *et al.* 2018, Harris *et al.* 2020; Gallagher *et al.* 2021a). De nouvelles observations d'un Dolly Varden marqué ingéré par un béluga fournissent des données convaincantes que l'espèce effectue aussi des plongées rapides allant jusqu'à 12,5 m pour éviter la prédation (Gallagher *et al.* 2021b).

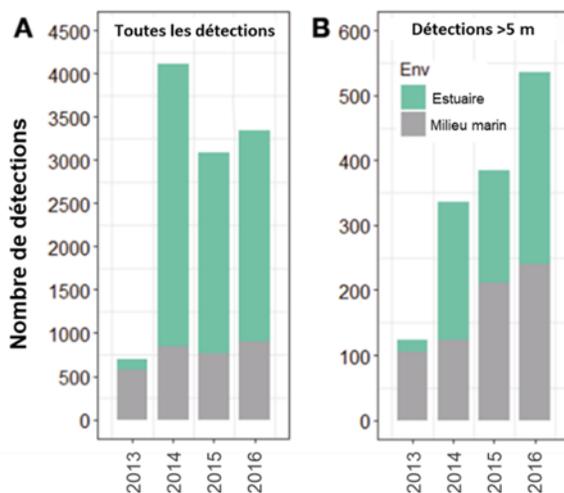


Figure 105. Nombre de fois que l'omble chevalier marqué par des émetteurs de télémétrie acoustique dans la mer de Kitikmeot a été détecté A) dans l'ensemble, et B) à des profondeurs supérieures à cinq mètres (indiquant une plongée) entre 2013 et 2016. Les détections sont séparées selon l'habitat marin (gris) et l'habitat estuarien (vert). Le comportement de plongée était relativement rare comparativement à l'occupation des eaux peu profondes, mais il était statistiquement plus fréquent plus tard en été et dans le milieu marin (source : Harris *et al.* 2020).

L'omble chevalier anadrome qui réside à des latitudes élevées doit retourner dans son habitat d'eau douce en automne pour éviter les températures de l'eau marine qui tombent sous zéro en hiver et qui lui sont létales (Klemetsen *et al.* 2003). Récemment, toutefois, le suivi par télémétrie acoustique a révélé que certains ombles de l'Arctique migraient et se déplaçaient considérablement dans l'environnement marin dans les semaines précédant la débâcle côtière dans le détroit de Tremblay (Hammer *et al.* 2021) et au large de la rivière Coppermine, près de Kugluktuk (Smith *et al.* 2022). On suppose que l'entrée précoce dans les eaux marines confère

des avantages énergétiques en permettant aux premiers migrateurs de maximiser leur utilisation de la nourriture prévue associée à la prolifération printanière (Hammer *et al.* 2022). De plus, les individus de la rivière Coppermine ont effectué de longs déplacements hivernaux sous la glace dans les rivières (jusqu'à huit kilomètres) et ont migré vers des eaux marines couvertes de glace tout au long de l'hiver (novembre à mai; Smith *et al.* 2022). Les migrateurs hivernaux ont parcouru jusqu'à 18 km au large et se sont exposés à des températures corporelles inférieures à celles qui avaient été enregistrées auparavant (-0,76 à 1,90 °C; Smith *et al.* 2022). De telles tactiques diversifiées et non documentées jusqu'à présent liées au cycle biologique indiquent que le fleuve et les rivières représentent d'importants liens entre les écosystèmes dulcicoles et marins tout au long de l'année.

7.4 Utilisation de l'habitat estuarien par le béluga

Les données historiques et les connaissances traditionnelles documentent l'entrée des bélugas dans l'estuaire du Mackenzie peu après la débâcle des glaces de rive, ce qui leur donne accès à la région à la fin de juin et leur permet de former de grands rassemblements jusqu'à la fin de juillet ou au début d'août (Fraker *et al.* 1979; Norton et Harwood 1986). Cette entrée rapide après la débâcle est toujours observée aujourd'hui (Hornby *et al.* 2016; Scharffenberg *et al.* 2019, 2020). La débâcle se produit plus tôt dans l'année (Loseto *et al.* 2018; données inédites de R. Lee), ce qui signifie que les bélugas ont accès à l'estuaire plus tôt. Les chasseurs inuvialuits ont remarqué l'accès précoce (Waugh *et al.* 2018; Harwood *et al.* 2020) qui a aussi été observé dans des ensembles de données de suivi acoustique passive (Scharffenberg *et al.* 2019). On observe également des bélugas qui quittent l'estuaire plus tard que par le passé (Harwood *et al.* 2020) et au cours des dernières années, des bélugas ont été détectés par des hydrophones dans le delta du Mackenzie à la fin d'août et au début de septembre (données inédites du MPO).

Dans l'estuaire, la répartition est très concentrée et les bélugas sont plus susceptibles de se rassembler dans certaines zones d'une année à l'autre (Harwood *et al.* 2014). Ces « points névralgiques » semblent être déterminés par le substrat du fond marin (Whalen *et al.* 2019), des variables environnementales comme la température, la salinité, l'heure du jour, le vent (Scharffenberg *et al.* 2019, 2020) et la turbidité (Noel *et al.* 2022), ainsi que par la présence de navires (Halliday *et al.* 2019). Les points névralgiques ne sont pas complètement stationnaires; la répartition des bélugas dans l'estuaire peut varier d'un jour à l'autre en fonction des conditions (Scharffenberg *et al.* 2019). Par exemple, lorsque les eaux fluviales chaudes et turbides sont répandues, les bélugas se répartissent plus largement dans l'estuaire, mais lorsqu'elles sont contractées le long des berges, les bélugas ont tendance à se regrouper plus près des côtes (Scharffenberg *et al.* 2019; Noel *et al.* 2022). Le déplacement des bélugas loin des afflux d'eaux froides et salines et l'association avec des substrats plus grossiers (Whalen *et al.* 2019) permet d'appuyer l'hypothèse selon laquelle les eaux estuariennes aident à la mue (St. Aubin *et al.* 1990; Smith *et al.* 1992). De plus, il y a des endroits dans l'estuaire où les bélugas se rassemblent certaines années, mais pas d'autres (Ovitz *et al.* 2023). Dans l'ensemble, cela laisse entendre que la répartition des bélugas dans l'estuaire pourrait être sensible aux changements climatiques qui affectent les conditions estuariennes.

Les phénomènes de vents très forts, en particulier les grosses tempêtes, semblent également perturber l'utilisation de l'habitat dans les eaux peu profondes du delta du Mackenzie, où les

bélugas évitent des endroits qui seraient habituellement très utilisés (c.-à-d. les points névralgiques habituels; Scharffenberg *et al.* 2019; Scharffenberg *et al.* 2023). Cette situation est probablement attribuable à de grosses vagues et à des conditions turbulentes dans des eaux aussi peu profondes, rendant la zone non convenable, ce qui pousse les bélugas à chercher des endroits protégés ou des eaux plus profondes où elles peuvent plonger sous la zone influencée par les vagues. Dans la région du Mackenzie, les observations de bélugas se déplaçant en amont sont plus fréquentes à la suite d'ondes de tempête et de hautes eaux (Byers et Roberts 1995; Scharffenberg *et al.* 2021). Le plus grand événement en amont jamais enregistré s'est produit en 2018, lorsque plus de 50 bélugas ont été observés près d'Aklavik (plus de 60 km en amont) à la suite d'une grosse tempête. Les ondes de tempête côtières peuvent entraîner une réduction ou un renversement du débit fluvial, ce qui peut accroître la probabilité que des bélugas entrent dans le réseau fluvial. Cependant, dans d'autres populations (p. ex. golfe de Cook), il n'est pas rare que les bélugas se déplacent en amont en réaction aux déplacements des poissons (Huntington 2000).

Au cours des 30 dernières années (1981 à 2010), on a constaté une hausse importante du nombre de tempêtes dans l'archipel Arctique canadien en été (Zahn *et al.* 2018). Dans le delta du Mackenzie, les utilisateurs des terres estiment généralement que les vents et les précipitations augmentent (Waugh *et al.* 2018; Ovitz *et al.* 2023). L'augmentation des vagues associées aux tempêtes côtières représente un défi pour les pêcheurs et les voyageurs (Waugh *et al.* 2018) et constitue une cause majeure de la diminution des prises de bélugas par des collectivités comme Aklavik (Worden *et al.* 2020). Un exemple direct de cette situation s'est produit en 2016, lorsqu'une grosse tempête a empêché les gens de chasser pendant dix jours, ce qui a contribué au très faible nombre de prises pour l'année (Scharffenberg *et al.* 2020).

Les bélugas de la population de l'ouest de la baie d'Hudson ont choisi des habitats comportant soit un faible taux de sédiments en suspension, soit peu de matières organiques dissoutes colorées, qui ont été associés à la présence de certaines espèces de poissons (Ausen *et al.* 2023). La rivière Knife a été désignée comme un habitat distinct où le nombre de bélugas est élevé, et ces derniers préfèrent les zones près de la limite du panache fluvial (Ausen *et al.* 2023). La rivière Seal semblait également être un habitat important pour l'élevage des veaux dans la baie d'Hudson (Westdal *et al.* 2022).

8.0 Cogestion de l'océan Arctique canadien

Dans l'Arctique canadien, les poissons, les mammifères marins et les habitats dont ils dépendent font l'objet d'une gestion très différente de celle qui est assurée dans les autres régions du Canada. Le processus de gestion et de protection a été défini dans le cadre d'accords modernes de règlement des revendications territoriales globales, ou de traités, entre les Premières Nations, les Inuits et les gouvernements du Canada, des provinces et des territoires. Les quatre régions qui constituent les terres ancestrales inuites du Canada, appelées collectivement Inuit Nunangat (ITK 2019), comprennent le littoral de l'Arctique et les îles et océans adjacents de la frontière du Yukon et de l'Alaska jusqu'à la région désignée des Inuvialuit au Yukon et les Territoires du Nord-Ouest, le Nunavut, le Nunavik dans le nord du Québec et le Nunatsiavut dans le nord de Terre-Neuve-et-Labrador. Les accords, bien qu'ils diffèrent dans leurs détails, ont tous établi des conseils de cogestion des pêches et de la faune, ainsi que de protection et de planification de l'environnement. Par conséquent, les collectivités inuites participent désormais directement à la

gestion des ressources et à la prise de décision concernant l'océan Arctique, en partenariat avec le gouvernement fédéral. Ces accords sont protégés par la Constitution canadienne et en cas de conflit entre les législations fédérale, provinciale ou territoriale et un accord de règlement, c'est l'accord de règlement qui prévaut.

Pour terminer le présent rapport, des études de cas sont présentées décrivant les activités de cogestion et le rapprochement des connaissances scientifiques et inuites qui accompagnent nos efforts pour mieux comprendre l'état de l'océan Arctique canadien.

ÉTUDE DE CAS 13 : Participation des collectivités aux activités de recherche et de suivi relatives aux eaux côtières et marines dans l’Inuit Nunangat

Dans l’Arctique canadien, la participation des collectivités autochtones à la recherche et au suivi augmente en réponse aux demandes de partenariats et à l’intérêt accru pour le regroupement des connaissances autochtones (souvent appelées savoir traditionnel ou connaissances écologiques traditionnelles) et les données des sciences naturelles (occidentales). Il est maintenant largement reconnu que le rapprochement de différentes façons de savoir peut favoriser une conservation et une cogestion plus efficaces de la biodiversité en permettant une compréhension holistique du changement environnemental (Berkes 2018; Reid *et al.* 2021). Ce changement a créé le besoin de caractériser la nature et l’étendue de la participation des collectivités à la recherche et au suivi concernant le milieu aquatique afin de continuer à élaborer de bonnes pratiques. Les tendances de deux examens explorant la participation des collectivités à des activités de recherche et de suivi relatives aux eaux côtières et marines dans l’Inuit Nunangat (terres ancestrales inuites) (Drake *et al.* 2022, 2023) sont résumées ci-dessous et les mesures suggérées pour les chercheurs sont indiquées.

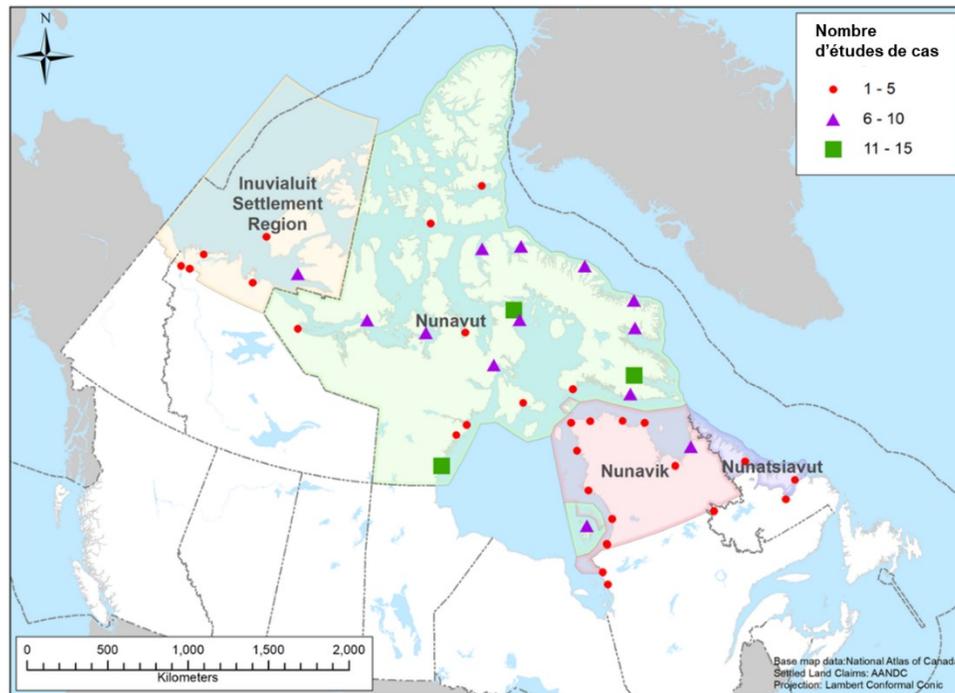


Figure 106. Le nombre d’études de cas de chaque collectivité dans l’examen connexe (Drake *et al.* 2022). À noter que les études réalisées dans de multiples collectivités ont été conservées, car les méthodes ont été répliquées de manière cohérente d’une collectivité à l’autre. La ligne tiretée dans la zone océanique représente la frontière de la zone économique exclusive du Canada.

La littérature publiée sur la participation des collectivités à la recherche et au suivi concernant le milieu aquatique a augmenté vers 2006, ce qui pourrait être attribuable à la création du réseau de recherche ArcticNet en 2004 ainsi qu’à l’Année polaire internationale de 2007 à 2008 (Drake *et al.* 2022). Les études de cas étaient concentrées au Nunavut, où il y avait cinq fois plus

d'études comparativement au Nunavik et à la région désignée des Inuvialuit (Figure 106). Les études publiées au Nunatsiavut étaient encore moins nombreuses. En examinant la façon dont la participation communautaire était formulée, on a constaté que 14 termes différents ont été employés, les plus courants étant ceux-ci : *participer*, *collaborer*, *axé sur la collectivité*, *consulter*, ou leurs variations (Figure 107). Ces termes étaient rarement définis. Une évaluation des niveaux de participation communautaire a révélé des niveaux plus faibles pour la plupart des études (c.-à-d. un niveau de participation communautaire de nature « consultative » ou « contractuelle »), aucune n'étant dirigée par des Autochtones (voir Drake *et al.* 2022 pour les niveaux). Au cours de la dernière décennie, les études « collaboratives », où des membres des collectivités et des chercheurs travaillaient ensemble à des rôles plus égaux, ont commencé à être plus fréquentes. Bien que cela indique un mouvement vers une plus grande prise de décisions communautaires dans les projets de recherche et de suivi, il est important de noter qu'à ce niveau de participation, les chercheurs ont conservé l'autorité principale sur le processus de recherche.

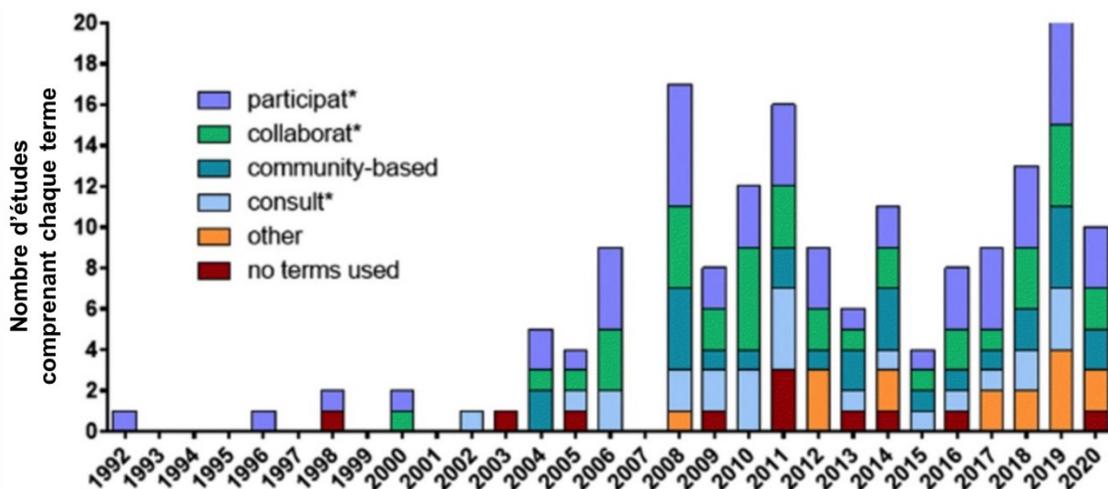


Figure 107. Le nombre d'études qui incluaient les termes (ou leurs variations) participant*, collaborat*, communautaire, consult*, ou d'autres termes liés à la participation communautaire au fil du temps (source : Drake *et al.* 2022). À noter que des études distinctes peuvent avoir employé plusieurs termes liés à la participation communautaire.

Les chasseurs et les pêcheurs, les membres des associations de chasseurs et de trappeurs et les aînés étaient la plupart des participants communautaires aux activités de recherche et de suivi concernant le milieu aquatique. Des méthodes verbales pour la mise en commun des connaissances (p. ex. des entrevues) ont servi à recueillir des connaissances autochtones dans de nombreuses études qui combinent le savoir autochtone et les données de sciences naturelles, ce qui peut être comparé à la transmission des enseignements autochtones par la tradition orale. Les données de sciences naturelles étaient le plus souvent recueillies au moyen d'exams de documents, fréquemment réalisés avec d'autres méthodes utilisées sur le terrain et en laboratoire. Cette étude a également révélé qu'on trouvait peu de cas où des données de sciences naturelles étaient appliquées comme moyen de soutenir le savoir autochtone, quand une importance égale ou supérieure était accordée à ce dernier. Cela concorde avec les conclusions de plusieurs auteurs selon lesquelles les connaissances autochtones sont souvent acceptées et déclarées seulement lorsqu'elles concordent avec les données de sciences naturelles (voir Kimmerer, 2013; York *et al.* 2016; Wheeler et Root-Bernstein 2020; Wheeler *et al.* 2020; Reid *et al.* 2021).

Il y a eu beaucoup de progrès vers une participation accrue des collectivités et des pratiques plus respectueuses en matière de recherche et de suivi concernant le milieu aquatique; cependant, des défis subsistent. Quatre mesures ont été définies pour appuyer les changements dans les bonnes pratiques (Drake *et al.* 2022, 2023).

Mesures 1 : Mieux définir le degré, la nature et la signification voulue de la participation communautaire aux projets de recherche et de suivi.

Les termes qui décrivent la participation communautaire et le rôle des collectivités autochtones dans la recherche et au suivi sont souvent imprécis. Cela peut donner lieu à une politique de pure forme ou à une présentation erronée des pratiques de recherche, ce qui a été confirmé par Mosurska et Ford (2020) dans leur examen de la recherche communautaire et participative en Alaska. La nature des partenariats de recherche devrait donc être définie en fonction de la collectivité et du projet.

Mesures 2 : Déclarer tous les détails liés au lancement et aux méthodes d'un projet.

D'importants détails sont souvent absents des études, comme la nature de la communication initiale entre les chercheurs et les collectivités, la façon dont les objectifs de recherche sont établis, la mesure dans laquelle les objectifs reflètent les priorités communautaires, et la façon dont les méthodes sont choisies et appliquées, ainsi que les raisons pour lesquelles elles le sont. Les rapports fragmentés concernant les licences, les permis, le consentement, la confidentialité, ainsi que la vérification et la diffusion des résultats auprès des membres de la collectivité sont également courants. Une plus grande transparence des pratiques de recherche permettra une meilleure compréhension du contexte de la recherche et de la prise de décisions.

Mesures 3 : Tenir compte des nombreuses méthodes et applications disponibles pour rapprocher les connaissances autochtones et les données de sciences naturelles.

Il existe une pléthore de méthodes de recherche possibles dans les projets entrepris avec les collectivités autochtones (Drake *et al.* 2023). De plus, les connaissances autochtones et les données de sciences naturelles peuvent être appliquées en plusieurs séquences à diverses fins (p. ex. pour éclairer les autres données scientifiques ou les comparer, pour une compréhension plus complète). Les chercheurs doivent rester conscients des raisons pour lesquelles ils emploient des méthodes particulières, s'assurer que leur utilisation des méthodes est conforme aux souhaits et aux valeurs de la collectivité et chercher à élargir leur utilisation, le cas échéant.

Mesures 4 : Être conscient de la dépendance à des méthodes de recherche particulières et de la fatigue liée à la recherche.

L'utilisation répétée de quelques méthodes peut créer des dépendances à l'égard de pratiques de recherche particulières, ce qui peut mener à des options sous-optimales qui s'établissent de façon permanente (voir la dépendance à la démarche établie dans Röhring et Gailing 2010). Cette récurrence au fil du temps, en particulier parmi des groupes démographiques semblables (p. ex. les chasseurs et aînés masculins, voir Hitomi et Loring 2018), peut imposer un fardeau disproportionné aux membres de la collectivité et amplifier les préjugés connexes (David-

Chavez et Gavin 2018). De plus, tout dédoublement d'efforts peut entraîner ou aggraver la fatigue liée à la recherche existante dans les régions de l'Arctique qui font l'objet de recherches poussées sur les répercussions des changements climatiques (Ford *et al.* 2016; ICC 2021). Il s'agit de considérations essentielles à prendre en compte lors de la planification et de la mise en œuvre de la recherche et du suivi avec les collectivités autochtones.

ÉTUDE DE CAS 14 : Gouvernance et recherche collaboratives dans la zone de protection marine de Tarium Niryutait – amélioration des méthodes de recherche et de création conjointe des connaissances

Chaque année, des milliers de bélugas de l'est de la mer de Beaufort migrent vers leur habitat essentiel dans l'estuaire du Mackenzie, où ils forment l'un des plus grands rassemblements d'estivage de l'espèce au monde. Depuis des milliers d'années, les Inuvialuits, les Inuits de l'ouest de l'Arctique canadien, récoltent le *qilalugaq* (béluga) dans la région, où il continue d'avoir une importance culturelle et pour la subsistance. Au milieu des années 1970, les préoccupations des Inuvialuits au sujet de l'exploitation pétrolière et gazière dans la mer de Beaufort ont conduit à recommander la création d'un sanctuaire de baleines pour protéger cette ressource importante pour les générations futures. Près de 35 ans plus tard, la zone de protection marine (ZPM) de Tarium Niryutait, située dans la région désignée des Inuvialuits, a été la première ZPM à être désignée dans la région arctique du Canada (2010). Elle est cogérée par le Canada et les Inuvialuits en vertu d'un accord moderne sur les revendications territoriales globales. Son objectif de conservation est vaste, soit de conserver et protéger le béluga et d'autres espèces marines (poissons anadromes, sauvagine et oiseaux de mer), leurs habitats et les écosystèmes dont ils dépendent. Dans le cadre d'un système de cogestion, les Inuvialuits et Pêches et Océans Canada (MPO) codirigent toutes les étapes du cadre de gestion de la ZPM, y compris l'établissement des priorités de recherche, le suivi et l'évaluation.

Le cadre de gouvernance de gestion coopérative a préparé le terrain pour établir de nouveaux partenariats et renforcer les partenariats actuels entre les scientifiques, les gestionnaires et les détenteurs de connaissances inuvialuits, améliorant ainsi les méthodes de mise en œuvre de la recherche et du suivi. Plus précisément, les approches collaboratives ont permis la conception conjointe de projets qui répondent à l'établissement des priorités par les groupes de gouvernance et, deuxièmement, ont permis la participation des Inuvialuits à tous les projets. Les priorités et les connaissances des Inuvialuits ont contribué à la création conjointe de programmes qui allient et respectent les deux systèmes de connaissances pour l'amélioration de la gestion des écosystèmes et de la conservation.

Avant l'établissement de la ZPM de Tarium Niryutait, plusieurs programmes axés sur le béluga étaient déjà en place dans la région (p. ex. Harwood *et al.* 2002). La recherche et le suivi concernant le béluga dans la ZPM de Tarium Niryutait sont un exemple de l'évolution des programmes de collaboration. Le programme de récolte du béluga fonctionne en collaboration depuis près de 40 ans entre les chasseurs, les comités de chasseurs et de trappeurs, le Comité mixte de gestion de la pêche et le MPO. Il a été élargi en 2000 pour inclure le prélèvement d'échantillons afin de mieux comprendre la santé du béluga (contaminants, régime alimentaire, maladies, effets des agents stressants, etc.; Noël *et al.* 2018; Loseto *et al.* 2018; Choy *et al.* 2020; Harwood *et al.* 2020). Le programme sur la santé du béluga, ainsi que les études sur sa répartition relative, ses déplacements et son utilisation de l'habitat (c.-à-d. relevés aériens, programmes de télémétrie, suivi acoustique passif) ont répondu aux besoins de la ZPM de Tarium Niryutait et aux préoccupations et priorités des Inuvialuits en matière de gouvernance. L'établissement des priorités communautaires sous-tend les besoins de cogestion et a conduit à des études de recherche sur le béluga, notamment sur l'évaluation des répercussions du transport maritime (Halliday *et al.* 2019, 2021; Martin *et al.* 2022), des contaminants (inquiétudes liées à

Fukushima – Stocki *et al.* 2016; préoccupations au sujet des microplastiques – Moore *et al.* 2020) et des maladies comme la toxoplasmose et la COVID-19 (Sharma *et al.* 2018), et le suivi de la grippe aviaire a commencé en 2023.

Outre le fait que les programmes de recherche tiennent compte des collectivités, la *façon* dont la recherche est menée a évolué en parallèle pour inclure et renforcer les connaissances des Inuvialuits tout au long du processus. Le programme de suivi de la santé du béluga s'est adapté pour recueillir de l'information priorisée par les collectivités dans une optique de conception conjointe, mais souvent dans une perspective scientifique occidentale (p. ex. suivi des maladies, répercussions des changements climatiques sur le régime alimentaire, écotoxicologie). Pour accroître l'inclusion des connaissances inuvialuites dans le programme de suivi du béluga, une série d'ateliers, d'entrevues et de groupes de discussion ont permis de déterminer les mesures des connaissances inuvialuites sur la santé du béluga (p. ex. couleur du muktuk, forme des individus) à consigner sur les fiches de données de suivi annuel du béluga aux côtés des mesures « types » de la science occidentale (Ostertag *et al.* 2018). Les mesures de suivi répondent maintenant mieux aux priorités des collectivités et comprennent de nouvelles méthodologies conçues conjointement pour l'inclusion des connaissances communautaires dans le suivi et la recherche (Ostertag *et al.* 2018, 2019).

Des efforts ciblés visant à mieux intégrer le savoir des Inuvialuits sur le béluga dans la littérature universitaire ont amélioré les connaissances sur le comportement et la santé de l'espèce (Waugh *et al.* 2018). Les Inuvialuits de Tuktoyaktuk, qui récoltaient l'espèce dans la parcelle Kugmallit de la ZPM de Tarium Niryutait, ont expliqué comment la santé et le bien-être des humains sont directement liés à la santé des bélugas et comment les répercussions des changements climatiques nuisent à cette relation complexe (Waugh *et al.* 2018). Un volet de recherche communautaire a évolué pour répondre aux questions et aux préoccupations suscitées par les observations de changement dans les parcelles d'Okeevik (zone de récolte de l'île Kendall) et de Niaqunnaq (zone de récolte de la pointe Shingle) de la ZPM de Tarium Niryutait. Ces projets ont mis en évidence l'immense connaissance que les Inuvialuits ont de leurs terres, des bélugas et des relations humaines qui les unissent, ainsi que les répercussions des changements climatiques sur les écosystèmes et les Inuvialuits (Worden *et al.* 2018; Ovitz *et al.* 2023). Ensemble, les Inuvialuits et les scientifiques ont appris les influences des changements sociétaux, en particulier la façon dont la perte des aînés et de leur savoir, ainsi que les répercussions liées aux changements climatiques (p. ex. l'arrivée précoce des baleines) nuisaient au mode de vie des Inuvialuits, à leurs liens avec les bélugas et à leur bien-être (Worden *et al.* 2020). L'achèvement de ces études et des événements comme le Sommet sur le béluga (Murray *et al.* 2023) ont influé sur la façon dont les projets dans la région ont continué de favoriser l'inclusion éthique et significative des priorités et des connaissances inuvialuites tout au long du processus.

Les programmes de collaboration ont favorisé la recherche élaborée conjointement afin de mieux comprendre le béluga et les écosystèmes qui le soutiennent. L'élaboration et l'exécution du programme ciblant le béluga fondé sur la télémétrie et l'interprétation conjointe des résultats associés à la mortalité du béluga en sont des exemples (Loseto *et al.* sous presse par le Secrétariat canadien des avis scientifiques [SCAS]). La planification du programme s'est échelonnée sur deux ans, en s'appuyant sur les lacunes prioritaires cernées lors du Sommet sur le béluga de 2016 au sujet de la nécessité d'obtenir des renseignements sur les déplacements des

bélugas et les liens écosystémiques au large des côtes (Murray *et al.* 2023). Des réunions communautaires et des consultations avec chaque collectivité de la région désignée des Inuvialuit et les comités de chasseurs et de trappeurs ont orienté et établi le soutien au programme de télémétrie. À la suite de ces réunions et consultations, il a été décidé que le programme de télémétrie serait désormais codirigé par les Inuvialuits (représentés par le Conseil inuvialuit de gestion du gibier) et le MPO (MacPhee *et al.* – sous presse). Un groupe de gouvernance (un groupe consultatif sur le marquage) a été créé avec des délégués inuvialuits des conseils régionaux et des scientifiques du MPO qui ont élaboré le programme conjointement, en tenant des réunions régulières pour diriger la prise de décisions sur les composantes du projet, y compris l'organisation d'un atelier sur le protocole de soins aux animaux conçu conjointement et d'un atelier sur le marquage au harpon afin de créer conjointement de nouvelles méthodes de déploiement du marquage. Le partenariat de collaboration a été fondamental pour réunir les individus, les méthodes et les connaissances afin de faire face à l'issue difficile de la mortalité des bélugas (Murray *et al.* – compte rendu du SCAS sous presse).

ÉTUDE DE CAS 15 : L'innovation en matière de leadership autochtone pour la recherche et le suivi dans la zone de protection marine d'Anguniaqvia niqiqyuam – une nouvelle tendance relative à la protection des eaux canadiennes

Les aires marines protégées (AMP) de l'Arctique sont axées sur la conservation d'espèces clés et de leurs habitats afin d'assurer la sécurité alimentaire, les modes de vie traditionnels et les liens culturels avec le territoire. Les collectivités côtières de la région désignée des Inuvialuit de l'ouest de l'Arctique canadien ont innové dans tous les aspects du processus de désignation et de gestion des AMP grâce à leur leadership. Dans le cadre du processus lié aux AMP, les activités de recherche et de suivi des zones importantes sur les plans écologique et culturel dans l'Arctique canadien sont menées grâce à l'aide et au leadership des Inuits.

Le hameau de Paulatuk (Territoires du Nord-Ouest) est situé sur la côte sud du golfe Amundsen, dans la baie Darnley (Figure 108). En 2016, la zone de protection marine (ZPM) d'Anguniaqvia niqiqyuam, qui se traduit par « terrains de chasse de Nelson Green », a été désignée, signifiant l'importance écologique et culturelle de cette région. Le Comité des chasseurs et des trappeurs de Paulatuk (CCTP) a façonné l'évolution de la recherche et du suivi de façon à tenir compte des points de vue des collectivités et à les intégrer à la gestion de la ZPM d'Anguniaqvia niqiqyuam. Il s'agit de la première ZPM au Canada dont l'objectif de conservation est fondé uniquement sur le savoir autochtone et qui vise à protéger d'importants corridors migratoires d'espèces traditionnellement récoltées.

La relation entre le CCTP et les Sciences du MPO est unique en raison de sa structure de collaboration pour la recherche et le suivi. Pour que tout projet scientifique puisse fonctionner, le MPO doit recevoir un soutien direct du CCTP, et le projet doit répondre à une préoccupation des collectivités ou établir un lien plus large avec les priorités établies par le CCTP, ainsi que par les intervenants inuvialuits (Secrétariat mixte). Il existe un processus itératif dans le cadre duquel les scientifiques du MPO communiquent avec le CCTP, dans un premier temps pour montrer comment leurs travaux de recherche répondent à une préoccupation des collectivités (p. ex. changements dans l'état des baleines ou présence d'espèces nouvelles ou inhabituelles) avant de mener des activités sur le terrain. Une fois le soutien obtenu, les travaux de recherche de base sont effectués par les chercheurs ou les collectivités, ou les deux, puis présentés au CCTP. Au fil du temps, ce processus peut aboutir à des projets de suivi communautaires à long terme (p. ex. projet Arctic Coast, santé et suivi du béluga, évaluation des stocks d'omble chevalier). Ce processus appuie la détermination d'indicateurs de suivi reconnus par les scientifiques et les titulaires de droits, ainsi que le rapprochement des systèmes de connaissances afin d'interpréter les effets des agents stressants écologiques. La complexité du traitement d'une observation ou d'un indicateur peut mener à de nouvelles questions de recherche et contribuer à l'élaboration d'un plan de gestion et de suivi de la ZPM.

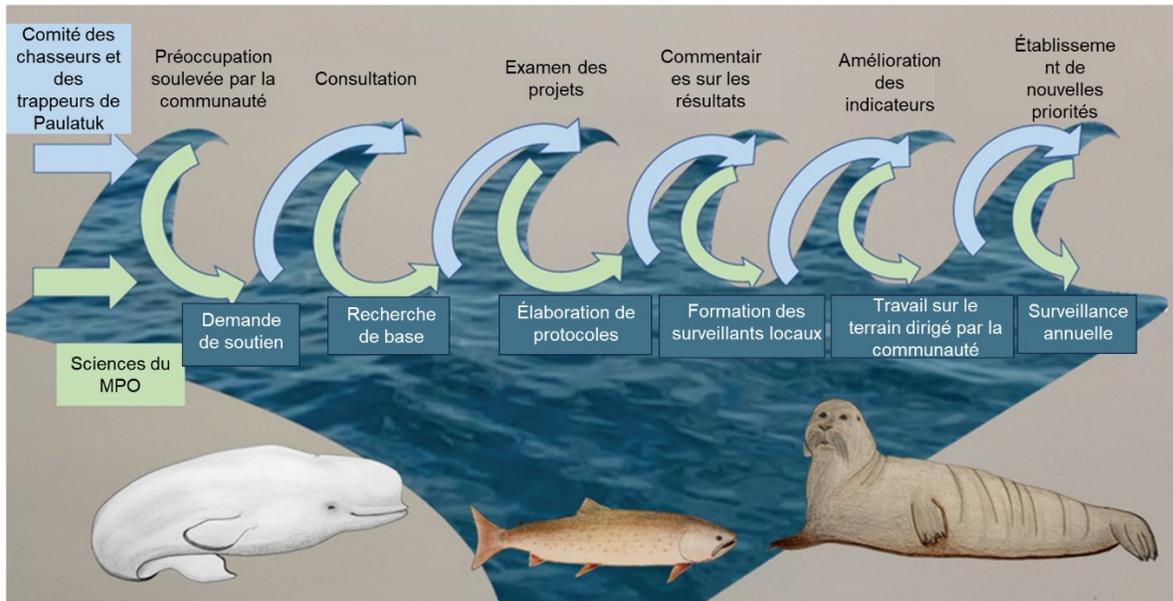


Figure 108. Représentation visuelle de la collaboration en matière de recherche et de suivi dans la ZPM d'Anguniaqvia niqiqyuam, présentée au Congrès international sur les aires marines protégées à Vancouver, le 6 février 2023.

Ensemble, les intervenants et les titulaires de droits autochtones contribuent au suivi et à la cogestion de la ZPM dans le cadre d'un processus de collaboration entre les dirigeants des collectivités, le MPO, les universitaires et les groupes de travail stratégiques. En mettant en commun les connaissances autochtones et scientifiques et en nous appuyant sur elles, nous sommes mieux préparés à conserver la biodiversité et à faire face à la crise climatique d'un Arctique qui se réchauffe rapidement, tout en reliant l'océan, la culture et le bien-être humain au moyen d'AMP.

ANNEXE A : Dépendance entre la glace de mer et les mammifères marins dans l'Arctique canadien.

Dépendance espèce-glace	Préférences sur l'état de la glace de mer
Espèces dépendantes de la glace	
Ours polaire	Forte association avec la glace de rive et la banquise annuelle dense. L'espèce dépend de la glace de mer pour atteindre les zones de mise bas et comme plateforme de chasse.
Morse	Utilisation de sites précis selon le sexe pour s'échouer; souvent dans les polynies pendant l'hiver; forte association à la banquise annuelle dense et à l'eau peu profonde.
Phoque barbu	Association générale à l'eau peu profonde sur le plateau continental, à la banquise annuelle dense ou peu compacte en mouvement, aux chenaux côtiers et aux polynies.
Phoque annelé	Large éventail de préférences très diversifiées. Forte association à la glace de rive; association modérée à la banquise annuelle dense ou peu compacte. Glace à la dérive et glace de rive utilisées pour la reproduction.
Espèces associées à la glace	
Baleine boréale	Polynies en hiver et au printemps, eaux libres ou couverture de glace de mer légère en été, association au plateau continental et aux remontées d'eau pour l'alimentation.
Béluga	Préférences diverses : association à la banquise annuelle et pluriannuelle peu compacte, aux polynies, aux eaux peu profondes du plateau continental et aux eaux profondes libres de glace.
Narval	Forte association à la banquise annuelle dense, aux chenaux/zones de dislocation et à la rupture de pente continentale/aux zones d'hivernage profondes.
Migrateurs saisonniers	
Phoque du Groenland	Utilise la glace de mer pour la reproduction et peut évoluer dans la glace de mer et s'échouer sur les glaciers et la glace en marche pour se reposer.
Baleine grise	Population du Pacifique Nord à capacité de charge ou presque; taux de mise bas positivement corrélé aux conditions sans glace dans les eaux arctiques.
Baleine à bec commune	Densités relativement faibles dans les eaux subarctiques froides profondes (plus de 500 m) du détroit de Davis, de la mer du Labrador et de la mer du Groenland. Capable de tolérer les zones à faible concentration de glace.
Petit rorqual	Peut s'adapter à de faibles concentrations de glace.

Grand cachalot	Les mâles utilisent les régions à latitude élevée pour s'alimenter pendant la période estivale de glace de mer minimum.
Rorqual à bosse	Habituellement présent près des côtes, et peut effectuer de longues migrations saisonnières qui comprennent l'utilisation des eaux arctiques en été; mais quitte habituellement la région avant la formation des glaces.
Phoque commun	Longue association avec les régions subarctiques. Espèce de zones tempérées habituellement, mais peut s'adapter aux conditions saisonnières de glace de mer.

ANNEXE B : Situation de résidence, répartition saisonnière, disponibilité d'estimations de l'abondance et tendances de l'abondance des mammifères marins dans l'Arctique canadien.

Nom commun	Populations/stocks	Répartition en été et en hiver	Estimations de l'abondance	Tendance de l'abondance	Référence
Résidents toute l'année					
Pinnipèdes					
Morse	Bassin Foxe	Nord et centre du bassin Foxe	Oui	Incertaine	Stewart et Hamilton 2013; MPO 2016a
	Détroit d'Hudson et détroit de Davis	Détroit d'Hudson et détroit de Davis	Oui	Incertaine	MPO 2016b.
	Sud et est de la baie d'Hudson	Sud et est de la baie d'Hudson	Oui	Inconnue	MPO 2016b.
	Baie de Baffin	Baie de Baffin	Oui	Inconnue	MPO 2013
	Détroit de Penny et détroit de Lancaster	Détroit de Penny et détroit de Lancaster	Oui	Inconnue	MPO 2013
	Ouest du détroit de Jones	Ouest du détroit de Jones	Oui	Inconnue	MPO 2013
	Phoque annelé		Circumpolaire toute l'année	Oui	Inconnue
Phoque barbu		Circumpolaire toute l'année	Oui	Inconnue	Cleator 1996; Cameron <i>et al.</i> 2010
Cétacés					
Narval	Île Somerset	Île Somerset et baie de Baffin	Oui	Inconnue	Heide-Jørgensen <i>et al.</i> 2017a, Doniol-Valcroze <i>et al.</i> 2015a
	Détroit d'Éclipse	Détroit d'Éclipse et baie de Baffin	Oui	Inconnue	Watt <i>et al.</i> 2012; Marcoux <i>et al.</i> 2019
	Bras Admiralty	Bras Admiralty et baie de Baffin	Oui	Inconnue	Watt <i>et al.</i> 2012; Doniol-Valcroze <i>et al.</i> 2015a
	Détroit de Jones	Détroit de Jones, baie de Baffin et polynie des eaux du Nord	Oui	Inconnue	Doniol-Valcroze <i>et al.</i> 2015a
	Est de l'île de Baffin	Est de l'île de Baffin et baie de Baffin	Oui	Inconnue	Doniol-Valcroze <i>et al.</i> 2015a

Nom commun	Populations/stocks	Répartition en été et en hiver	Estimations de l'abondance	Tendance de l'abondance	Référence
Béluga	Détroit de Smith	Détroit de Smith, baie de Baffin et polynie des eaux du Nord	Oui	Inconnue	Doniol-Valcroze <i>et al.</i> 2015a
	Nord de la baie d'Hudson	Nord de la baie d'Hudson et mer du Labrador	Oui	Inconnue	Watt <i>et al.</i> 2017; Biddlecombe et Watt 2022
	Est de la mer de Beaufort	Est de la mer de Beaufort, ouest de la mer des Tchouktches et du détroit de Béring	Oui	Stable	Harwood <i>et al.</i> 1996; Stafford <i>et al.</i> 2018; Marcoux <i>et al.</i> 2023
	Baie Cumberland	Baie Cumberland toute l'année	Oui	En baisse	Watt <i>et al.</i> 2016; Watt <i>et al.</i> 2021b
	Est de l'Extrême-Arctique et baie de Baffin	Région de l'île Somerset et polynie des eaux du Nord	Oui	Inconnue	Koski <i>et al.</i> 2002
	Ouest de la baie d'Hudson	Ouest de la baie d'Hudson et Hudson	Oui	Inconnue	MPO 2018
	Baie James	Baie d'Hudson et détroit d'Hudson	Oui	Inconnue	MPO 2022
Baleine boréale	Est de la baie d'Hudson	Est de la baie d'Hudson et mer du Labrador	Oui	Inconnue	Lewis 2009; MPO 2022
	Est du Canada et ouest du Groenland	Région de l'île de Baffin toute l'année	Oui	En voie de rétablissement	Doniol-Valcroze <i>et al.</i> 2015b; Biddlecombe <i>et al.</i> 2023
Baleine boréale	Mers de Béring, des Tchouktches et de Beaufort	Mer de Beaufort, mer de Béring et migration par la mer des Tchouktches	Oui	En voie de rétablissement	Brandon et Wade 2006; Ferguson <i>et al.</i> 2021
Migrateurs saisonniers					
Pinnipèdes					
Phoque du Groenland		Région de l'île de Baffin et de Terre-Neuve	Oui	En hausse	Hammill <i>et al.</i> 2021
Phoque à capuchon		Région de l'île de Baffin et de Terre-Neuve	Oui	Inconnue	Hammill et Stenson 2006
Phoque rubané		Mer de Beaufort et mer de Béring	Oui	Inconnue	Ver Hoef <i>et al.</i> 2014
Phoque tacheté		Mer de Beaufort et mer de Béring	Oui	Inconnue	Ver Hoef <i>et al.</i> 2014

Nom commun	Populations/stocks	Répartition en été et en hiver	Estimations de l'abondance	Tendance de l'abondance	Référence
Phoque commun		Est de l'Arctique et Atlantique, Atlantique	Non	Inconnue	
Cétacés Épaulard			Oui	Inconnue	Lefort <i>et al.</i> 2020b
Dauphin commun			Non	Inconnue	
Rorqual bleu			Non	Inconnue	
Rorqual boréal			Non	Inconnue	
Petit rorqual			Non	Inconnue	
Grand cachalot			Non	Inconnue	
Baleine à bec commune			Non	Inconnue	
Dauphin à bec blanc			Non	Inconnue	Reinhart <i>et al.</i> 2014
Dauphin à flancs blancs de l'Atlantique			Non	Inconnue	
Rorqual commun			Oui	Inconnue	Heide-Jørgensen <i>et al.</i> 2010
Rorqual à bosse			Non	Inconnue	

9.0 Références

- Ahmed, M.M.M., Else, B.G.T., Capelle, D., Miller, L.A., et Papakyriakou, T. 2020. Underestimation of surface $p\text{CO}_2$ and air-sea CO_2 fluxes due to freshwater stratification in an Arctic shelf sea, Hudson Bay. *Elem. Sci. Anthr.* 8: 084. doi:10.1525/elementa.084.
- Ahmed, M.M.M., Else, B.G.T., Butterworth, B., Capelle, D.W., Guéguen, C., Miller, L.A., et al. 2021. Widespread surface water $p\text{CO}_2$ undersaturation during ice-melt season in an Arctic continental shelf sea (Hudson Bay, Canada). *Elem. Sci. Anthr.* 9: 00130. doi:10.1525/elementa.2020.00130
- Alexander, S.M., Provencher, J.F., Henri, D.A., Taylor, J.J., Lloren, J.I., Nanayakkara, L., et al. 2019. Bridging Indigenous and science-based knowledge in coastal and marine research, monitoring, and management in Canada. *Environ. Evid.* 8: 36. doi:10.1186/s13750-019-0181-3.
- Alexander, S.M., Provencher, J.F., Henri, D.A., Nanayakkara, L., Taylor, J.J., Berberi, A., et al. 2021. Bridging Indigenous and Western sciences in freshwater research, monitoring, and management in Canada. *Ecol. Solut. Evid.* 2: e12085. doi:10.1002/2688-8319.12085.
- AMAP, 2021a. AMAP Mercury Assessment. Summary for Policy-makers. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Tromsø, Norway. 16 p. Disponible à partir de <https://www.amap.no/documents/doc/2021-amap-mercury-assessment.-summary-for-policy-makers/3510>.
- AMAP, 2021b. AMAP Assessment 2020: PoPs and Chemicals of emerging Arctic concern: Influence of Climate Change. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Tromsø, Norway. viii+134pp. Disponible à partir de <https://www.amap.no/documents/doc/amap-assessment-2020-pops-and-chemicals-of-emerging-arctic-concern-influence-of-climate-change/3580>.
- Amiriaux, R., Burot, C., Bonin, P., Massé, G., Guasco, S., Babin, M., et al. 2020. Stress factors resulting from the Arctic vernal sea-ice melt. *Elem. Sci. Anthr.* 8: 076. doi:10.1525/elementa.076.
- Amiriaux, R., Archambault, P., Moriceau, B., Lemire, M., Babin, M., Memery, L., et al. 2021. Efficiency of sympagic-benthic coupling revealed by analyses of n-3 fatty acids, IP25 and other highly branched isoprenoids in two filter-feeding Arctic benthic molluscs: *Mya truncata* and *Serripes groenlandicus*. *Org. Geochem.* 151: 104160. doi:10.1016/J.ORGGEOCHEM.2020.104160.
- Amiriaux, R., Lavaud, J., Cameron-Bergeron, K., Matthes, L.C., Peeken, I., Mundy, C.J., et al. 2022. Content in fatty acids and carotenoids in phytoplankton blooms during the seasonal sea ice retreat in Hudson Bay complex, Canada. *Elem.10*: 89–106. doi:10.1525/elementa.2021.00106.

- Amiriaux, R., Mundy, C.J., Pierrejean, M., Niemi, A., Hedges, K.J., Brown, T.A., et al. 2023a. Tracing carbon flow and trophic structure of a coastal Arctic marine food web using highly branched isoprenoids and carbon, nitrogen and sulfur stable isotopes. *Ecol. Indic.* 147: 109938. doi:10.1016/J.ECOLIND.2023.109938.
- Amiriaux, R., Yurkowski, D.J., Archambault, P., Pierrejean, M., et Mundy, C.J. 2023b. Top predator sea stars are the benthic equivalent to polar bears of the pelagic realm. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 120: e2216701120. doi:10.1073/pnas.2216701120.
- Angnatok J. and Laing R. 2018. Indigenous Peoples Atlas of Canada. Inuit. Royal Canadian Geographical Society, Inuit Tapiriit Kanatami, Ottawa, Ont. Chapter 15 Sea ice. Disponible à partir de <https://indigenouspeoplesatlasofcanada.ca/section/inuit/>.
- Archambault, P., Snelgrove, P.V.R., Fisher, J.A.D., Gagnon, J.-M., Garbary, D.J., Harvey, M., et al. 2010. From sea to sea: Canada's three oceans of biodiversity. *PLoS One* 5: e12182. doi:10.1371/journal.pone.0012182.
- Armitage, T.W.K., Bacon, S., et Kwok, R. 2018. Arctic sea level and surface circulation response to the Arctic oscillation. *Geophys. Res. Lett.* 45: 6576–6584. doi:10.1029/2018GL078386.
- Ardyna, M., et Arrigo, K.R. 2020. Phytoplankton dynamics in a changing Arctic Ocean. *Nat. Clim. Chang.* 10: 892–903. doi:10.1038/s41558-020-0905-y.
- Ardyna, M., Babin, M., Gosselin, M., Devred, E., Rainville, L., et Tremblay, J.-É. 2014. Recent Arctic Ocean sea ice loss triggers novel fall phytoplankton blooms. *Geophys. Res. Lett.* 41: 6207–6212. doi:10.1002/2014GL061047.
- Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. et al. 2021. Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, et B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33–144. doi:10.1017/9781009157896.002.
- Arrigo, K.R., et van Dijken, G.L. 2015. Continued increases in Arctic Ocean primary production. *Prog. Oceanogr.* 136: 60–70. doi:10.1016/j.pocean.2015.05.002.
- Assmy, P., Fernández-Méndez, M., Duarte, P., Meyer, A., Randelhoff, A., Mundy, C., et al. 2017. Leads in Arctic pack ice enable early phytoplankton blooms below snow-covered sea ice. *Sci. Rep.* 7: 40850. doi:10.1038/srep40850.

- Athey, S.N., Adams, J.K., Erdle, L.M., Jantunen, L.M., Helm, P.A., Finkelstein, S.A., et al. 2020. The widespread environmental footprint of indigo denim microfibers from blue jeans. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 7: 840–847. doi:10.1021/acs.estlett.0c00498.
- Ausen, E.L., Marcoux, M., Chan, W.S., et Barber, D.G. 2022. Beluga (*Delphinapterus leucas*) response to personal watercraft and motorized whale watching vessels in the Churchill River estuary. *Front. Mar. Sci.* 9: 837425. doi:10.3389/fmars.2022.837425.
- Ausen, E.L., Barber, D.G., Basu, A., Ehn, J., Walker, D., Dalman, L., et Marcoux, M. 2023. River-influenced beluga (*Delphinapterus leucas*) summer habitat use in western Hudson Bay, Canada. *Arctic Science*. efirst. doi:10.1139/as-2022-0040.
- Baak, J.E., Provencher, J.F., et Mallory, M.L. 2020. Plastic ingestion by four seabird species in the Canadian Arctic: Comparisons across species and time. *Mar. Pollut. Bull.* 158: 111386. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111386.
- Baak, J.E., Patterson, A., Gilchrist, H.G., et Elliott, K.H. 2021a. First evidence of diverging migration and overwintering strategies in glaucous gulls (*Larus hyperboreus*) from the Canadian Arctic. *Anim. Migr.* 8: 98–109. doi:10.1515/ami-2020-0107.
- Baak, J.E., Mallory, M.L., Anderson, C.M., Auger-Méthé, M., Macdonald, C.A., Janssen, M.H., Gutowsky, S.E. et al. 2021b. Inter-individual variation in the migratory behaviour of a generalist seabird, the herring gull (*Larus smithsonianus*), from the Canadian Arctic. *Anim. Migr.* 8: 144–155. doi:10.1515/ami-2020-0109.
- Babb, D.G., Kirillov, S., Kuzyk, Z.Z.A., Netser, T., Liesch, J., Kamula, C., et al. 2022. On the intermittent formation of an ice bridge (Nunniq) across Roes Welcome Sound, northwestern Hudson Bay and its use to local Inuit hunters. *Arctic*. 75: 198–224. doi:10.14430/arctic74957.
- Babb, D.G., Galley, R.J., Kirillov, S., Landy, J.C., Howell, S.E.L., Stroeve, J.C., Barber, D.G., et al. 2023. The stepwise reduction of multiyear sea ice area in the Arctic Ocean since 1980. *J. Geophys. Res.* 128: e2023JC020157. doi.org/10.1029/2023JC020157.
- Back, D.-Y., Ha, S.-Y., Else, B., Hanson, M., Jones, S.F., Shin, K., et al. 2021. On the impact of wastewater effluent on phytoplankton in the Arctic coastal zone: A case study in the Kitikmeot Sea of the Canadian Arctic. *Sci. Total Environ.* 764: 143861. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143861.
- Baker, E., Odenthal, B., Tompkins, G., Walkusz, W., Siferd, T., et Kenchington, E. 2018a. Sponges from the 2010-2014 Paamiut multispecies trawl surveys, eastern Arctic and subarctic: Class Demospongiae, Subclass Heteroscleromorpha, Order Poecilosclerida, Families Crellidae and Myxillidae. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3253: iv + 52 p.
- Baker, E., Odenthal, B., Walkusz, W., Siferd, T., Ríos, P., Tompkins, G., et Kenchington, E. 2018b. Sponges from the 2010-2014 Paamiut multispecies trawl surveys, eastern Arctic and

- subarctic: Class Demospongiae, Subclass Heteroscleromorpha, Order Poecilosclerida, Families Dendoricellidae and Tedaniidae. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3282: v + 46 p.
- Baker, E., Beazley, L., Mcmillan, A., Rowsell, J., et Kenchington, E. 2018c. Epibenthic megafauna of the Disko Fan Conservation Area in the Davis Strait (Eastern Arctic) identified from in situ benthic image transects. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3272: vi + 388 p.
- Ballinger, T.J., Overland, J.E., Wang, M., Walsh, J.E., Brettschneider, B., Thoman, R.L., et al. 2022. Surface air temperature. *Arctic Report Card: Update for 2022*. doi:10.25923/13qm-2576.
- Bandara, K., Varpe, Ø., Wijewardene, L., Tverberg, V., et Eiane, K. 2021. Two hundred years of zooplankton vertical migration research. *Biol. Rev.* 96: 1547–1589. doi:10.1111/brv.12715.
- Barbedo, L., Bélanger, S., Lukovich, J. V., Myers, P.G., et Tremblay, J.-É. 2022. Atmospheric forcing and photo-acclimation of phytoplankton fall blooms in Hudson Bay. *Elem. Sci. Anthr.* 10:1–23. doi:10.1525/elementa.2021.00067.
- Barber, D.G., et Massom, R.A. 2007. Chapter 1 The Role of sea ice in Arctic and Antarctic polynyas. *Elsevier Oceanogr. Ser.* 74: 1–54. Elsevier. doi:10.1016/S0422-9894(06)74001-6.
- Barber, D.G., Babb, D.G., Ehn, J.K., Chan, W., Matthes, L., Dalman, L.A., et al. 2018. Increasing mobility of high Arctic Sea ice increases marine hazards off the east coast of Newfoundland. *Geophys. Res. Lett.* 45: 2370–2379. doi:10.1002/2017GL076587.
- Bates, N.R., et Mathis, J.T. 2009. The Arctic Ocean marine carbon cycle: Evaluation of air-sea CO₂ exchanges, ocean acidification impacts and potential feedbacks. *Biogeosci.* 6: 2433–2459. doi:10.5194/bg-6-2433-2009.
- Beazley, L., Murillo, F.J., Kenchington, E., Guijarro, J., Lirette, C., Siferd, T., et al. 2016. Species distribution modelling of corals and sponges in the eastern Arctic for use in the identification of significant benthic areas. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3175: vii + 210 p.
- Belt, S.T., Massé, G., Rowland, S.J., Poulin, M., Michel, C., et LeBlanc, B. 2007. A novel chemical fossil of paleo sea ice: IP₂₅. *Org. Geochem.* 38: 16–27. doi:10.1016/j.orggeochem.2006.09.013.
- Bergmann, M., Collard, F., Fabres, J., Gabrielsen, G.W., Provencher, J.F., Rochman, C., et al. 2022. Plastic pollution in the Arctic. *Nat. Rev. Earth Environ.* 3: 323–337. doi:10.1038/s43017-022-00279-8.
- Berkes, F. 2018. *Sacred ecology*. 4th edition. New York, N.Y.: Routledge. 349 p.

- Bertin, C., Carroll, D., Menemenlis, D., Dutkiewicz, S., Zhang, H., Matsuoka, A., et al. 2023. Biogeochemical river runoff drives intense coastal Arctic Ocean CO₂ outgassing. *Geophys. Res. Lett.* 50: e2022GL102377. doi:10.1029/2022GL102377.
- Bhatia, M.P., Waterman, S., Burgess, D.O., Williams, P.L., Bundy, R.M., Mellett, T., et al. 2021. Glaciers and nutrients in the Canadian Arctic Archipelago marine system. *Global Biogeochem. Cycl.* 35: e2021GB006976. doi:10.1029/2021GB006976.
- Biddlecombe, B.A., et Watt, C.A. 2022. Modeling population trajectory and probability of decline in northern Hudson Bay narwhals (*Monodon monoceros*). *Mar. Mam. Sci.* 38: 1357-1370. doi:10.1111/mms.12925.
- Biddlecombe, B.A., Ferguson, S.H., Heide-Jørgensen, M.P., Gillis, D.M., et Watt, C.A. 2023. Estimate abundance of Eastern Canada-West Greenland bowhead whales using genetic mark-recapture analyses. *Global Ecol. Conserv.* 45: e03634. doi:10.1016/j.gecco.2023.e02524.
- Bilous, M., et Dunmall, K. 2020. Atlantic salmon in the Canadian Arctic: potential dispersal, establishment, and interaction with Arctic char. *Rev. Fish Biol. Fish.* 30: 463–483. doi:10.1007/s11160-020-09610-2.
- Bilous, M., McNicholl, D.G., et Dunmall, K.M. 2022. Coastal marine biodiversity in the western Canadian Arctic. *Arct. Sci.* 8: 1127–1147. doi:10.1139/as-2021-0022.
- BirdLife International. 2020. Seabird tracking database. Disponible à partir de <https://www.seabirdtracking.org/species/>
- Bluhm, B.A., Brown, K., Rotermund, L., Williams, W., Danielsen, S., et Carmack, E.C. 2022. New distribution records of kelp in the Kitikmeot Region, Northwest Passage, Canada, fill a pan-Arctic gap. *Polar Biol.* 45: 719–736. doi:10.1007/s00300-022-03007-6.
- Boetius, A., Albrecht, S., Bakker, K., Bienhold, C., Felden, J., Fernández-Méndez, M., et al. 2013. Export of algal biomass from the melting Arctic Sea ice. *Science.* 339: 1430–1432. doi:10.1126/science.1231346.
- Boivin, T.G., et Power, G. 1990. Winter condition and proximate composition of anadromous Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in eastern Ungava Bay, Quebec. *Can. J. Zool.* 68: 2284–2289. doi:10.1139/z90-319.
- Boldreel, E., Attard, K., Hancke, K., et Glud, R. 2023. Microbial degradation dynamics of farmed kelp deposits from *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 709: 1–15. doi:10.3354/meps14285.
- Bourgeois, S., Archambault, P., et Witte, U. 2017. Organic matter remineralization in marine sediments: A Pan-Arctic synthesis. *Global Biogeochem. Cycl.* 31: 190–213. doi:10.1002/2016GB005378.

- Bourke, R.H., et Garrett, R.P. 1987. Sea ice thickness distribution in the Arctic Ocean. *Cold Reg. Sci. Technol.* 13 :259–280. doi:10.1016/0165-232X(87)90007-3.
- Brandon, J.R., et Wade, P.R. 2006. Assessment of the Bering-Chukchi-Beaufort Seas stock of bowhead whales using Bayesian model averaging. *J. Cetacean Res. Manag.* 8: 225-239. doi:10.47536/jcrm.v8i3.718.
- Braune, B.M., Gaston, A.J., et Mallory, M.L. 2019. Temporal trends of legacy organochlorines in eggs of Canadian Arctic seabirds monitored over four decades. *Sci. Total Environ.* 646: 551–563. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.291.
- Breed, G.A., Matthews, C.J.D., Marcoux, M., Higdon, J.W., LeBlanc, B., Petersen, S.D., et al. 2017. Sustained disruption of narwhal habitat use and behavior in the presence of Arctic killer whales. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114: 2628–2633. doi:10.1073/pnas.1611707114.
- Breton-Honeyman, K., Hammill, M.O., Furgal, C.M., et Hickie, B. 2016. Inuit Knowledge of beluga whale (*Delphinapterus leucas*) foraging ecology in Nunavik (Arctic Quebec), Canada. *Can. J. Zool.* 94: 713–726. doi:10.1139/cjz-2015-0259.
- Bringloe, T.T., Wilkinson, D.P., Goldsmit, J., Savoie, A.M., Filbee-Dexter, K., Macgregor, K.A., et al. 2022. Arctic marine forest distribution models showcase potentially severe habitat losses for cryophilic species under climate change. *Glob. Chang. Biol.* 28: 3711–3727. doi:10.1111/gcb.16142.
- Brown, R.D., et Cote, P. 1992. Interannual variability of landfast ice thickness in the Canadian High Arctic, 1950-89. *Arctic.* 45: 273–284. doi:10.14430/arctic1402.
- Brown, T.A., Belt, S.T., Tatarek, A., et Mundy, C.J. 2014a. Source identification of the Arctic sea ice proxy IP25. *Nat. Commun.* 5: 4197. doi:10.1038/ncomms5197.
- Brown, T.A., Yurkowski, D.J., Ferguson, S.H., Alexander, C., et Belt, S.T. 2014b. H-Print: a new chemical fingerprinting approach for distinguishing primary production sources in Arctic ecosystems. *Environ. Chem. Lett.* 12: 387–392. doi:10.1007/s10311-014-0459-1.
- Bruyant, F., Amiraux, R., Amyot, M.-P., Archambault, P., Artigue, L., Barbedo de Freitas, L., et al. 2022. The Green Edge cruise: investigating the marginal ice zone processes during late spring and early summer to understand the fate of the Arctic phytoplankton bloom. *Earth Syst. Sci. Data.* 14: 4607–4642. doi:10.5194/essd-14-4607-2022.
- Buchart, L., Castro de la Guardia, L., Xu, Y., Ridenour, N., Marson, J.M., Deschepper, I., et al. 2022. Future Climate Scenarios for Northern Baffin Bay and the Pikialasorsuaq (North Water Polynya) Region. *Atmos. Ocean.* 60: 102–123. doi:10.1080/07055900.2022.2067028.

- Buhl-Mortensen, L., Vanreusel, A., Gooday, A.J., Levin, L.A., Priede, I.G., Buhl-Mortensen, P., et al. 2010. Biological structures as a source of habitat heterogeneity and biodiversity on the deep ocean margins. *Mar. Ecol.* 31: 21–50. doi:10.1111/j.1439-0485.2010.00359.x.
- Burgers, T.M., Miller, L.A., Rysgaard, S., Mortensen, J., Else, B., Tremblay, J. -É., et al. 2023. Distinguishing physical and biological controls on the carbon dynamics in a High-Arctic outlet strait. *J. Geophys. Res. Ocean.* 128: e2022JC019393. doi:10.1029/2022JC019393.
- Byers, T., et Roberts, L.W. 1995. Harpoons and ulus: collective wisdom and traditions of Inuvialuit regarding the beluga (“qilalugaq”) in the Mackenzie River estuary. Byers Environmental Studies and Sociometrix Inc. Winnipeg, MB. 76 p.
- Byers, T., Reist, J.D., et Sawatzky, C.D. 2019. Compilation and synopsis of literature on the traditional knowledge of Indigenous peoples in the Northwest Territories concerning Dolly Varden. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3177: vi + 63 p.
- Cai, W.J., Chen, L., Chen, B., Gao, Z., Lee, S.H., Chen, J., et al. 2010. Decrease in the CO₂ uptake capacity in an ice-free Arctic Ocean basin. *Science.* 329: 556–559. doi:10.1126/science.1189338.
- Cameron, M.F., Bengtson, J.L., Boveng, P.L., Jansen, J.K., Kelly B.P., Dahle, S.P., Logerwell, E.A., Overland, J.E., Sabine, C.L., Waring, G.T., et Wilder, J.M. 2010. Status review of the bearded seal (*Erignathus barbatus*). U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-211: 246 p. Disponible à partir de <https://www.afsc.noaa.gov/publications/afsc-tm/noaa-tm-afsc-211.pdf>
- Canada. 2016. Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change : Canada’s plan to address climate change and grow the economy., Government of Canada. Disponible à partir de <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/pan-canadian-framework/climate-change-plan.html>.
- Canadian Endangered Species Conservation Council. 2022. Wild Species 2020: The General Status of Species in Canada. National General Status Working Group: 172 p. Disponible à partir de https://wildlife-species.canada.ca/species-risk-registry/virtual_sara/files/reports/Wild%20Species%202020.pdf.
- Canadian Polar Commission. 2003. Interview: Janet McGrath on IQ. Meridian. P. 6.
- Campbell, K., Matero, I., Bellas, C., Turpin-Jelfs, T., Anhaus, P., Graeve, M., et al. 2022. Monitoring a changing Arctic: Recent advancements in the study of sea ice microbial communities. *Ambio.* 51: 318–332. doi:10.1007/s13280-021-01658-z.
- Capelle, D.W., Kuzyk, Z.Z.A., Papakyriakou, T., Guéguen, C., Miller, L.A., et Macdonald, R.W. 2020. Effect of terrestrial organic matter on ocean acidification and CO₂ flux in an Arctic shelf sea. *Prog. Oceanogr.* 185: 102319. doi:10.1016/j.pocean.2020.102319.

- Carlyle, C.G., Florko, K.R.N., Young, B.G., Yurkowski, D.J., Michel, C., et Ferguson, S.H. 2021. Marine mammal biodiversity and rare narwhal (*Monodon monoceros*) observations near northern Ellesmere Island, Canada. *Ecosphere*. 12: e03534. doi:10.1002/ecs2.3534.
- Carmack, E.C., McLaughlin, F.A., Vagle, S., Melling, H., et Williams, W.J. 2010. Structures and property distributions in the three oceans surrounding Canada in 2007: A basis for a long-term ocean climate monitoring strategy. *Atmosphere-Ocean*. 48: 211–224. doi:10.3137/OC324.2010.
- Castro de la Guardia, L., Filbee-Dexter, K., Reimer, J., MacGregor, K.A., Garrido, I., Singh, R.K., et al. 2023. Increasing depth distribution of Arctic kelp with increasing number of open water days with light. *Elem. Sci. Anthr.* 11: 00051. doi:10.1525/elementa.2022.00051.
- Caza-Allard, I., Mazerolle, M.J., Harris, L.N., Malley, B.K., Tallman, R.F., Fisk, A.T., et Moore, J.-S. 2021. Annual survival probabilities of anadromous Arctic Char remain high and stable despite interannual differences in sea ice melt date. *Arctic Sci.* 7: 575–584. doi:10.1139/as-2020-0029.
- Cebrian, J. 1999. Patterns in the Fate of Production in Plant Communities. *Am. Nat.* 154: 449–468. doi:10.1086/303244.
- Chambault, P., Albertsen, C.M., Patterson, T.A., Hansen, R.G., Tervo, O., Laidre, K.L., et al. 2018. Sea surface temperature predicts the movements of an Arctic cetacean: The bowhead whale. *Sci. Rep.* 8: 9658. doi:10.1038/s41598-018-27966-1.
- Champagne, O., Arain, M.A., Wang, S., Leduc, M., et Russell, H.A.J. 2021. Interdecadal variability of streamflow in the Hudson Bay Lowlands watersheds driven by atmospheric circulation. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 36: 100868. doi:10.1016/j.ejrh.2021.100868.
- Chapman, Z.M., Mueter, F.J., Norcross, B.L., et Oxman, D.S. 2023. Arctic cod (*Boreogadus saida*) hatching season and growth rates in the Bering, Chukchi and Beaufort seas. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 207: 105226. doi:10.1016/j.dsr2.2022.105226.
- Chavarie, L., Reist, J.D., Guzzo, M.M., Harwood, L., et Power, M. 2019. Influences of environmental variation on anadromous Arctic charr from the Hornaday River, NWT. *Hydrobiol. J.* 840: 157–172. doi:10.1007/s10750-018-3828-0.
- Cherry, S.G., Derocher, A.E., Thiemann, G.W., et Lunn, N.J. 2013. Migration phenology and seasonal fidelity of an Arctic marine predator in relation to sea ice dynamics. *J. Anim. Ecol.* 82: 912–921. doi:10.1111/1365-2656.12050.
- Chila, Z., Dunmall, K.M., Proverbs, T.A., et Lantz, T.C., Aklavik Hunters and Trappers Committee, Inuvik Hunters and Trappers Committee, Sachs Harbour Hunters and Trappers Committee, Olokhaktomiut Hunters and Trappers Committee, and Paulatuk Hunters and Trappers Committee. 2022. Inuvialuit knowledge of Pacific salmon range expansion in the

- western Canadian Arctic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 79: 1042–1055. doi:10.1139/cjfas-2021-0172.
- Choy, E., Giraldo, C., Rosenberg, B., Roth, J., Ehrman, A., Majewski, A., et al. 2020. Variation in the diet of beluga whales in response to changes in prey availability: insights on changes in the Beaufort Sea ecosystem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 647: 195–210. doi:10.3354/meps13413.
- Christie, L.R., Drake, A.K., Perkovic, A., Aiviq Hunters and Trappers Association, Manning, O., Peter, S., Qiatsuq, P., Alexander, S.M., Nguyen, V.M., et Dunmall, K.M. 2023a. Insights from the remote co-creation of an Indigenous knowledge questionnaire about aquatic ecosystems in Kinngait, Nunavut. *Ecol. Solut. Evid.* 4 : e12236. doi.org/10.1002/2688-8319.12236
- Christie, L.R., McNicholl, D.G. et Dunmall, K.M. 2023b. Community-led coastal ecosystem assessments in the Hudson Bay Complex (Igloolik, Kinngait, and Naujaat, NU and Whapmagoostui, QC): Synthesis of 2020-2021 field programs. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3540: xi + 84 p.
- CIRNAC. 2022. Northern Oil and Gas Annual Report 2022. [Online] Disponible à partir de www.rcaanc-cirnac.gc.ca/eng/1683225891406/1683225926341#table1 (Accessed November 2024).
- Clarke, J.T., Ferguson, M.C., Brower, A.A., Fujioka, E., et Deland, S. 2023. Biologically important areas II for cetaceans in U.S. and adjacent waters - Arctic region. *Front. Mar. Sci.* 10: 1040123. doi:10.3389/fmars.2023.1040123.
- Cleator, H.J. 1996. The status of the bearded seal, *Erignathus barbatus*, in Canada. *Can. Field-Nat.* 110: 501–510.
- Collard, F., et Ask, A. 2021. Plastic ingestion by Arctic fauna: A review. *Sci. Total Environ.* 786: 147462. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147462.
- COMEX (Provincial Review Committee). 2013. Report on the Public Consultations Held in November 2012 Following Implementation of Hydro-Québec’s Eastmain-1-A and Sarcelle Powerhouses and Rupert Diversion Project, 223 p. Disponible à partir de https://comexqc.ca/wp-content/uploads/Rapport-EM1A-COMEX_EN_web.pdf.
- Conlan, K.E., Hendrycks, E.A., et Aitken, A.E. 2019. Dense Ampeliscid bed on the Canadian Beaufort Shelf: an explanation for species patterns. *Polar Biol.* 42: 195–215. doi:10.1007/s00300-018-2417-z.
- Copland, L., Dawson, J., Tivy, A., Delaney, F., et Cook, A. 2021. Changes in shipping navigability in the Canadian Arctic between 1972 and 2016. *FACETS* 6: 1069–1087. doi:10.1139/facets-2020-0096.

- Corminboeuf, A., Montero-Serrano, J.-C., et St-Louis, R. 2021. Spatial and temporal distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Canadian Arctic Archipelago. *Mar. Pollut. Bull.* 171: 112729. doi:10.1016/j.marpolbul.2021.112729.
- Courtney, M.B., Scanlon, B., Brown, R.J., Rikardsen, A.H., Gallagher, C.P., et Seitz, A.C. 2018. Offshore ocean dispersal of adult Dolly Varden *Salvelinus malma* in the Beaufort Sea. *Polar Biol.* 41: 817–825. doi:10.1007/s00300-017-2246-5.
- Croteau, D., Lacour, T., Schiffrine, N., Morin, P., Forget, M., Bruyant, F., et al. 2022. Shifts in growth light optima among diatom species support their succession during the spring bloom in the Arctic. *J. Ecol.* 110: 1356–1375. doi:10.1111/1365-2745.13874.
- Curry, B., Lee, C.M., Petrie, B., Moritz, R.E., et Kwok, R. 2014. Multiyear volume, liquid freshwater, and sea ice transports through Davis Strait, 2004–10. *J. Phys. Oceanogr.* 44: 1244–1266. doi:10.1175/JPO-D-13.0177.1.
- Cusset, F., Fort, J., Mallory, M., Braune, B., Massicotte, P., et Massé, G. 2019. Arctic seabirds and shrinking sea ice: egg analyses reveal the importance of ice-derived resources. *Sci. Rep.* 9: 15405. doi:10.1038/s41598-019-51788-4.
- Cusson, M., Archambault, P., et Aitken, A. 2007. Biodiversity of benthic assemblages on the Arctic continental shelf: Historical data from Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 331: 291–304. doi:10.3354/meps331291.
- Daase, M., Falk-Petersen, S., Varpe, Ø., Darnis, G., Søreide, J.E., Wold, A., et al. 2013. Timing of reproductive events in the marine copepod *Calanus glacialis*: a pan-Arctic perspective. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 70: 871–884. doi:10.1139/cjfas-2012-0401.
- Danielson, S.L., Ahkinga, O., Ashjian, C., Basyuk, E., Cooper, L.W., Eisner, L., Weingartner, T.J., et al. 2020. Manifestation and consequences of warming and altered heat fluxes over the Bering and Chukchi Sea continental shelves. *Deep Sea Res.* 177: 104781. doi:10.1016/j.dsr2.2020.104781.
- Darnis, G., Robert, D., Pomerleau, C., Link, H., Archambault, P., Nelson, R.J., et al. 2012. Current state and trends in Canadian Arctic marine ecosystems: II. Heterotrophic food web, pelagic-benthic coupling, and biodiversity. *Clim. Change.* 115: 179–205. doi:10.1007/s10584-012-0483-8.
- Darnis, G., et Fortier, L. 2014. Temperature, food and the seasonal vertical migration of key arctic copepods in the thermally stratified Amundsen Gulf (Beaufort Sea, Arctic Ocean). *J. Plankton Res.* 36: 1092–1108. doi:10.1093/plankt/fbu035.
- Darnis, G., Geoffroy, M., Dezutter, T., Aubry, C., Massicotte, P., Brown, T., Babin, M., Cote, D., et Fortier, L. 2022. Zooplankton assemblages along the North American Arctic: Ecological connectivity shaped by ocean circulation and bathymetry from the Chukchi Sea to Labrador Sea. *Elem. Sci. Anthr.* 10: 00053. doi:10.1525/elementa.2022.00053.

- David-Chavez, D.M., et Gavin, M.C. 2018. A global assessment of Indigenous community engagement in climate research. *Environ. Res. Lett.* 13: 123005. doi:10.1088/1748-9326/aaf300.
- Dawson, J., Pizzolato, L., Howell, S.E.L., Copland, L., et Johnston, M.E. 2018. Temporal and spatial patterns of ship traffic in the Canadian Arctic from 1990 to 2015. *Arctic*. 71: 15–26. doi:10.14430/arctic4698.
- Dawson, J., Carter, N., van Luijk, N., Parker, C., Weber, M., Cook, A., et al. 2020. Infusing Inuit and local knowledge into the Low Impact Shipping Corridors: An adaptation to increased shipping activity and climate change in Arctic Canada. *Environ. Sci. Policy* 105: 19–36. doi:10.1016/j.envsci.2019.11.013.
- Deb, J.C., et Bailey, S.A. 2023. Arctic marine ecosystems face increasing climate stress. *Environ. Rev.* 31: 403-451. doi:10.1139/er-2022-0101.
- Devine, B.M., Wheeland, L.J., de Moura Neves, B., et Fisher, J.A.D. 2019. Baited remote underwater video estimates of benthic fish and invertebrate diversity within the eastern Canadian Arctic. *Polar Biol.* 42: 1323–1341. doi:10.1007/s00300-019-02520-5.
- Dewsbury, B.M., Bhat, M., et Fourqurean, J.W. 2016. A review of seagrass economic valuations: Gaps and progress in valuation approaches. *Ecosyst. Serv.* 18: 68–77. doi:10.1016/J.ECOSER.2016.02.010.
- Dezutter, T., Lalande, C., Dufresne, C., Darnis, G., et Fortier, L. 2019. Mismatch between microalgae and herbivorous copepods due to the record sea ice minimum extent of 2012 and the late sea ice break-up of 2013 in the Beaufort Sea. *Prog. Oceanogr.* 173: 66–77. doi:10.1016/j.pocean.2019.02.008.
- Dhifallah, F., Rochon, A., Simard, N., McKindsey, C.W., Gosselin, M., et Howland, K.L. 2022. Dinoflagellate communities in high-risk Canadian Arctic ports. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 266: 107731. doi:10.1016/j.ecss.2021.107731.
- Dinn, C., Zhang, X., Edinger, E., et Leys, S.P. 2020. Sponge communities in the eastern Canadian Arctic: species richness, diversity and density determined using targeted benthic sampling and underwater video analysis. *Polar Biol.* 43: 1287–1305. doi:10.1007/s00300-020-02709-z.
- Dion, J., A. Kanduth, J. Moorhouse, et D. Beugin. 2021. Canada's Net Zero Future: Finding our way in the global transition. CICC. 131. Disponible à partir de https://climatechoices.ca/wp-content/uploads/2021/02/Canadas-Net-Zero-Future_FINAL-2.pdf.
- Dmitrenko, I.A., Petrushevich, V., Darnis, G., Kirillov, S.A., Komarov, A.S., Ehn, J.K., et al. 2020. Sea-ice and water dynamics and moonlight impact the acoustic backscatter diurnal signal over the eastern Beaufort Sea continental slope. *Ocean Sci.* 16: 1261–1283. doi:10.5194/os-16-1261-2020.

- Dmitrenko, I.A., Kirillov, S.A., Babb, D.G., Kuzyk, Z.Z.A., Basu, A., Ehn, J.K., et al. 2021. Storm-driven hydrography of western Hudson Bay. *Cont. Shelf Res.* 227: 104525. doi:10.1016/J.CSR.2021.104525.
- Doniol-Valcroze, T., Gosselin, J.F., Pike, D., Lawson, J., Asselin, N., Hedges, K., et Ferguson, S. 2015a. Abundance estimates of narwhal stocks in the Canadian High Arctic in 2013. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2015/060. v + 36 p.
- Doniol-Valcroze, T., Gosselin, J.-F., Pike, D., Lawson, J., Asselin, N., Hedges, K., et Ferguson, S. 2015b. Abundance estimate of the Eastern Canada – West Greenland bowhead whale population based on the 2013 High Arctic Cetacean Survey. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2015/058. v + 27 p.
- Dosser, H. V., Chanona, M., Waterman, S., Shibley, N.C., et Timmermans, M.L. 2021. Changes in internal wave-driven mixing across the Arctic Ocean: Finescale estimates from an 18-year pan-Arctic record. *Geophys. Res. Lett.* 48: e2020GL09174. doi:10.1029/2020GL091747.
- Drake, A.K., Perkovic, A., Reeve, C., Alexander, S.M., Nguyen, V.M., et Dunmall, K.M. 2022. Community participation in coastal and marine research and monitoring in Inuit Nunangat: a scoping literature review. *FACETS.* 7: 891–911. doi:10.1139/facets-2021-0067.
- Drake A.K., Dunmall, K.M., Nguyen, V.M., Provencher, J.F., Henri, D.A., et Alexander, S.M. 2023. Bridging Indigenous and Western sciences: Decision points guiding aquatic research and monitoring in Inuit Nunangat. *Cons. Sci. Pract.* 5: e12972. doi:10.1111/csp2.12972.
- Drobot, S.D., et Maslanik, J.A. 2003. Interannual variability in summer Beaufort Sea ice conditions: Relationship to winter and summer surface and atmospheric variability, *J. Geophys. Res.* 108: 3233. doi:10.1029/2002JC001537.
- Dubos, V., May, P., Gillis, C.-A., St-Hilaire, A., et Bergeron, N. 2023. Nunavik anadromous Arctic char life histories, behaviour, and habitat use informed by both Inuit knowledge and western science: a year in Ungava Bay. *Arct. Sci.* 9: 526–544. doi:10.1139/as-2022-0019.
- Duke, P. J., Richaud, B., Arruda, R., Länger, J., Schuler, K., Gooya, P., et al. 2023. Canada's marine carbon sink: an early career perspective on the state of research and existing knowledge gaps. *FACETS.* 8: 1–21. doi:10.1139/facets-2022-0214.
- Dumas, J., Carmack, E., et Melling, H. 2005. Climate change impacts on the Beaufort shelf landfast ice. *Cold Reg. Sci. Technol.* 42: 41–51. doi:10.1016/j.coldregions.2004.12.001.
- Dunmall, K.M., Reist, J.D., Carmack, E.C., Babaluk, J.A., Heide-Jorgensen, M.P., et Docker, M.F. 2013. Pacific Salmon in the Arctic: Harbingers of Change. *in Responses of Arctic Marine Ecosystems to Climate Change.* Alaska Sea Grant, University of Alaska Fairbanks. 23p. doi:10.4027/ramecc.2013.07.

- Dunmall, K.M., Mochnacz, N.J., Zimmerman, C.E., Lean, C., et Reist, J.D. 2016. Using thermal limits to assess establishment of fish dispersing to high-latitude and high-elevation watersheds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73: 1750–1758. doi:10.1139/cjfas-2016-0051.
- Dunmall, K., McNicholl, D., Farley, E., et Reist, J. 2021. Reported occurrences of Pacific Salmon in the Canadian Arctic continue to increase whereas reports of Atlantic Salmon sightings remain low. *North Pacific Anadromous Fish Commission Tech. Rep.* 17: 88–91. doi:10.23849/npafctr17/88.91.
- Dunmall, K.M., McNicholl, D.G., Zimmerman, C.E., Gilk-Baumer, S.E., Burrell, S., et von Biela, V.R. 2022. First juvenile chum salmon confirms successful reproduction for Pacific salmon in the North American Arctic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 79: 703–707. doi:10.1139/cjfas-2022-0006.
- Eastwood, R.A., Macdonald, R.W., Ehn, J.K., Heath, J., Arragutainaq, L., Myers, P.G., et al. 2020. Role of river runoff and sea ice brine rejection in controlling stratification throughout winter in southeast Hudson Bay. *Estuar. Coast.* 43: 756–786. doi:10.1007/s12237-020-00698-0.
- Eger, A.M., Marzinelli, E.M., Beas-Luna, R., Blain, C.O., Blamey, L.K., Byrnes, J.E.K., et al. 2023. The value of ecosystem services in global marine kelp forests. *Nat. Commun.* 14: 1894. doi:10.1038/s41467-023-37385-0.
- Egevang, C., Stenhouse, I.J., Phillips, R.A., Petersen, A., Fox, J.W., et Silk, J.R.D. 2010. Tracking of Arctic terns *Sterna paradisaea* reveals longest animal migration. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107: 2078–2081. doi:10.1073/pnas.0909493107.
- Else, B.G.T., Papakyriakou, T.N., Granskog, M.A., et Yackel, J.J. 2008. Observations of sea surface $f\text{CO}_2$ distributions and estimated air-sea CO_2 fluxes in the Hudson Bay region (Canada) during the open water season. *J. Geophys. Res.* 113: C08026. doi:10.1029/2007JC004389.
- Else, B.G.T., Papakyriakou, T.N., Galley, R.J., Drennan, W.M., Miller, L.A., et Thomas, H. 2011. Wintertime CO_2 fluxes in an Arctic polynya using eddy covariance: Evidence for enhanced air-sea gas transfer during ice formation. *J. Geophys. Res.* 116: C00G03. doi:10.1029/2010JC006760.
- Else, B.G.T., Galley, R.J., Lansard, B., Barber, D.G., Brown, K., Miller, L.A., Mucci, A., Papakyriakou, T.N., Tremblay, J.É., et Rysgaard, S. 2013. Further observations of a decreasing atmospheric CO_2 uptake capacity in the Canada Basin (Arctic Ocean) due to sea ice loss. *Geophys. Res. Lett.* 40: 1132–1137. doi:10.1002/grl.50268.
- Environnement et changement climatique Canada. 2023. Rapport d'inventaire national 1990-2021: sources et puits de gaz à effet de serre au Canada. disponible auprès de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/emissions-gaz-effet-serre/sources-puits-sommaire-2023.html>.

- Ershova, E.A., Kosobokova, K.N., Banas, N.S., Ellingsen, I., Niehoff, B., Hildebrandt, N., et al. 2021. Sea ice decline drives biogeographical shifts of key *Calanus* species in the central Arctic Ocean. *Glob. Chang. Biol.* 27: 2128–2143. doi:10.1111/gcb.15562.
- Facciola, N., Pedro, S., Houde, M., Fisk, A.T., Ferguson, S.H., Steer, H., et al. 2021. Measurable levels of short-chain chlorinated paraffins in Western Hudson Bay fishes but limited biomagnification from fish to ringed seals. *Environ. Toxicol. Chem.* 40: 2990–2999. doi:10.1002/etc.5188.
- Facciola, N., Houde, M., Muir, D.C.G., Ferguson, S.H., et McKinney, M.A. 2022. Feeding and contaminant patterns of sub-arctic and arctic ringed seals: Potential insight into climate change-contaminant interactions. *Environ. Pollut.* 313: 120108. doi:10.1016/J.ENVPOL.2022.120108.
- Falardeau, M., Bennett, E.M., Else, B., Fisk, A., Mundy, C.J., Choy, E.S., et al. 2022. Biophysical indicators and Indigenous and Local Knowledge reveal climatic and ecological shifts with implications for Arctic Char fisheries. *Glob. Environ. Chang.* 74: 102469. doi:10.1016/j.gloenvcha.2022.102469.
- Farley, E. V., Murphy, J.M., Cieciel, K., Yasumiishi, E.M., Dunmall, K., Sformo, T., et al. 2020. Response of pink salmon to climate warming in the northern Bering Sea. *Deep Sea Res.* 177: 104830. doi:10.1016/j.dsr2.2020.104830.
- Fay, A.R., et McKinley, G.A. 2013. Global trends in surface ocean pCO₂ from in situ data. *Global Biogeochem. Cycl.* 27: 541–557. doi:10.1002/gbc.20051.
- Fennel, K., Alin, S., Barbero, L., Evans, W., Bourgeois, T., Cooley, S., et al. 2019. Carbon cycling in the North American coastal ocean: a synthesis. *Biogeosci.* 16: 1281–1304. doi:10.5194/bg-16-1281-2019.
- Ferguson, M.C., J. T. Clarke, A. L. Willoughby, A. A. Brower, et A. D. Rotrock. 2021. Geographically stratified abundance estimate for Bering-Chukchi-Beaufort Seas bowhead whales (*Balaena mysticetus*) from an August 2019 aerial line-transect survey in the Beaufort Sea and Amundsen Gulf. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-428, 56 p.
- Filbee-Dexter, K., MacGregor, K.A., Lavoie, C., Garrido, I., Goldsmit, J., Castro de la Guardia, et al. 2022a. Sea ice and substratum shape extensive kelp forests in the Canadian Arctic. *Front. Mar. Sci.* 9: 754074. doi:10.3389/fmars.2022.754074.
- Filbee-Dexter, K., Feehan, C.J., Smale, D.A., Krumhansl, K.A., Augustine, S., de Bettignies, F., et al. 2022b. Kelp carbon sink potential decreases with warming due to accelerating decomposition. *PLOS Biol.* 20: e3001702. doi:10.1371/journal.pbio.3001702.
- Flato, G.M., et Brown, R.D. 1996. Variability and climate sensitivity of landfast Arctic sea ice. *J. Geophys. Res.* 101: 25767–25777. doi:10.1029/96JC02431.

- Ford, J.D., Stephenson, E., Cunsolo Willox, A., Edge, V., Farahbakhsh, K., Furgal, C., et al. 2016. Community-based adaptation research in the Canadian Arctic. *Rev. Clim. Chang.* 7: 175–191. doi:10.1002/wcc.376.
- Forest, A., Galindo, V., Darnis, G., Pineault, S., Lalande, C., Tremblay, J.-E., et Fortier, L. 2010. Carbon biomass, elemental ratios (C:N) and stable isotopic composition (¹³C, ¹⁵N) of dominant calanoid copepods during the winter-to-summer transition in the Amundsen Gulf (Arctic Ocean). *J. Plankton Res.* 33: 161–178. doi: [10.1093/plankt/fbq103](https://doi.org/10.1093/plankt/fbq103).
- Fortier, M., Fortier, L., Michel, C., et Legendre, L. 2002. Climatic and biological forcing of the vertical flux of biogenic particles under seasonal Arctic sea ice. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 225: 1–16. doi:10.3354/meps225001.
- Fortune, S., Ferguson, S., Trites, A., LeBlanc, B., LeMay, V., Hudson, J., et al. 2020a. Seasonal diving and foraging behaviour of Eastern Canada-West Greenland bowhead whales. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 643: 197–217. doi:10.3354/meps13356.
- Fortune, S.M.E., Ferguson, S.H., Trites, A.W., Hudson, J.M., et Baumgartner, M.F. 2020b. Bowhead whales use two foraging strategies in response to fine-scale differences in zooplankton vertical distribution. *Sci. Rep.* 10: 20249. doi:10.1038/s41598-020-76071-9.
- Fortune, S.M.E., Trites, A.W., LeMay, V., Baumgartner, M.F., et Ferguson, S.H. 2023. Year-round foraging across large spatial scales suggest that bowhead whales have the potential to adapt to climate change. *Front. Mar. Sci.* 9: 853525. doi:10.3389/fmars.2022.853525.
- Frainer, A., Primicerio, R., Kortsch, S., Aune, M., Dolgov, A. V., Fossheim, M., et al. 2017. Climate-driven changes in functional biogeography of Arctic marine fish communities. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114: 12202–12207. doi:10.1073/pnas.1706080114.
- Fraker, M.A., Gordon, C.D., McDonald, J.W., Ford, J.K.B., et Cambers, G. 1979. White whale (*Delphinapterus leucas*) distribution and abundance and the relationship to the physical and chemical characteristics of the Mackenzie Estuary. *Can. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* 863: v + 56 p.
- Frey, K.E., Comiso, J.C., Cooper, L.W., Grebmeier, J.M., et Stock, L. V 2021. Arctic Ocean primary productivity: The response of marine algae to climate warming and sea ice decline. *Arct. Rep. Card* 2021. 1–12 p. doi:10.25923/0je1-te61.
- Friedlingstein, P., O’Sullivan, M., Jones, M.W., Andrew, R.M., Hauck, J., Olsen, A., et al. 2020. Global carbon budget 2020. *Earth Syst. Sci. Data.* 12: 3269–3340. doi:10.5194/essd-12-3269-2020.
- Friedlingstein, P., O’Sullivan, M., Jones, M.W., Andrew, R.M., Gregor, L., Hauck, J., et al. 2022. Global carbon budget 2022. *Earth Syst. Sci. Data.* 14: 4811–4900. doi:10.5194/essd-14-4811-2022.

- Fuller, S., Murillo, F., Wareham, V., et Kenchington, E. 2008. Vulnerable Marine Ecosystems Dominated by Deep-Water Corals and Sponges in the NAFO Convention Area. NAFO SCR Doc. 08/22 Serial No.N5524. Northwest Atlantic Fisheries Organization, 24. <https://www.nafo.int/Portals/0/PDFs/sc/2008/scr08-022.pdf>.
- Fulton, S., Walkusz, W., Atchison, S., et Cyr, F. 2024. Information à l'appui de l'évaluation de la crevette nordique, *Pandalus borealis*, et de la crevette ésope, *Pandalus montagui*, dans les zones d'évaluation est et ouest, en février 2023. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. De rech. 2024/016. iv + 53 p.
- Galappaththi, E.K., Falardeau, M., Harris, L.N., Rocha, J.C., Moore, J.S., et Berkes, F. 2022. Resilience-based steps for adaptive co-management of Arctic small-scale fisheries. Environ. Res. Lett. 17: 083004. doi:10.1088/1748-9326/ac7b37.
- Gallagher, C.P., Courtney, M.B., Seitz, A.C., Lea, E. V., et Howland, K.L. 2021a. Ocean-entry timing and marine habitat-use of Canadian Dolly Varden: Dispersal among conservation, hydrocarbon exploration, and shipping areas in the Beaufort Sea. Estuar. Coast. Shelf Sci. 262: 107609. doi:10.1016/J.ECSS.2021.107609.
- Gallagher, C.P., Storrie, L., Courtney, M.B., Howland, K.L., Lea, E. V., MacPhee, S., et al. 2021b. Predation of archival tagged Dolly Varden, *Salvelinus malma*, reveals predator avoidance behaviour and tracks feeding events by presumed beluga whale, *Delphinapterus leucas*, in the Beaufort Sea. Anim. Biotelemetry. 9: 48. doi:10.1186/s40317-021-00271-x.
- Galley, R., Devred, E., Hilborn, A., Michel, C. 2022. Remotely-sensed sea-ice and chlorophyll availability in the Beaufort Sea from 1998 to 2020. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 339: x +90 p.
- Garde, E., Heide-Jørgensen, M.P., Hansen, S.H., Nachman, G., et Forchhammer, M.C. 2007. Age-specific growth and remarkable longevity in narwhals (*Monodon monoceros*) from West Greenland as estimated by aspartic acid racemization. J. Mammal. 88: 49–58. doi:10.1644/06-MAMM-A-056R.1.
- Gaston, A.J., Gilchrist, H.G., et Mallory, M.L. 2005. Variation in ice conditions has strong effects on the breeding of marine birds at Prince Leopold Island, Nunavut. Ecography. 28: 331–344. doi:10.1111/j.0906-7590.2005.04179.x.
- Geoffroy M, Bouchard C, Flores H, Robert D, Gjørseter H, Hoover C., et al. 2023. The circumpolar impacts of climate change and anthropogenic stressors on Arctic cod (*Boreogadus saida*) and its ecosystem. Elem. Sci. Anth. 11: 00097. doi:10.1525/elementa.2022.00097.
- Gianasi, B.L., McKindsey, C.W., Archambault, P., Simard, N., et Howland, K.L. 2022a. Biodiversity of coastal epibenthic macrofauna in Eastern Canadian Arctic: Baseline mapping for management and conservation. Front. Mar. Sci. 9: 873608. doi:10.3389/fmars.2022.873608.

- Gianasi, B.L., Goldsmit, J., Archambault, P., McKindsey, C.W., Holovachov, O., et Howland, K.L. 2022b. Biodiversity of macrobenthic nematodes in the intertidal and shallow subtidal zones in the Eastern Canadian Arctic. *Polar Biol.* 45: 225–242. doi:10.1007/s00300-021-02989-z.
- Giesbrecht, K.E., Varela, D.E., de Souza, G.F., et Maden, C. 2022. Natural variations in dissolved silicon isotopes across the Arctic Ocean from the Pacific to the Atlantic. *Global Biogeochem. Cycl.* 36: e2021GB007107. doi:10.1029/2021GB007107.
- Gilbert, M.J.H., et Tierney, K.B. 2018. Warm northern river temperatures increase post-exercise fatigue in an Arctic migratory salmonid but not in a temperate relative. *Funct. Ecol.* 32: 687–700. doi:10.1111/1365-2435.13006.
- Gilbert, M.J.H., Donadt, C.R., Swanson, H.K., et Tierney, K.B. 2016. Low annual fidelity and early upstream migration of anadromous Arctic char in a variable environment. *Trans. Am. Fish. Soc.* 145: 931–942. doi:10.1080/00028487.2016.1173095.
- Gilbert, M.J.H., Harris, L.N., Malley, B.K., Schimnowski, A., Moore, J.S., et Farrell, A.P. 2020. The thermal limits of cardiorespiratory performance in anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*): A field-based investigation using a remote mobile laboratory. *Conserv. Physiol.* 8: coaa036. doi:10.1093/conphys/coaa036.
- Gilbert, M.J.H., Middleton, E.K., Kanayok, K., Harris, L.N., Moore, J.S., Farrell, A.P., et Speers-Roesch, B. 2022. Rapid cardiac thermal acclimation in wild anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*). *J. Exp. Biol.* 225: jeb244055. doi:10.1242/jeb.244055.
- Goldsmit, J., Archambault, P., Chust, G., Villarino, E., Liu, G., Lukovich, J. V., et al. 2018. Projecting present and future habitat suitability of ship-mediated aquatic invasive species in the Canadian Arctic. *Biol. Invasions.* 20: 501–517. doi:10.1007/s10530-017-1553-7.
- Goldsmit, J., McKindsey, C.W., Schlegel, R.W., Stewart, D.B., Archambault, P., et Howland, K.L. 2020. What and where? Predicting invasion hotspots in the Arctic marine realm. *Glob. Chang. Biol.* 26: 4752–4771. doi:10.1111/gcb.15159.
- Goldsmit, J., McKindsey, C.W., Stewart, D.B., et Howland, K.L. 2021a. Screening for high-risk marine invaders in the Hudson Bay region, Canadian Arctic. *Front. Ecol. Evol.* 9:627497. doi:10.3389/fevo.2021.627497.
- Goldsmit, J., Schlegel, R.W., Filbee-Dexter, K., MacGregor, K.A., Johnson, L.E., Mundy, C.J., et al. 2021b. Kelp in the Eastern Canadian Arctic: Current and future predictions of habitat suitability and cover. *Front. Mar. Sci.* 18:742209. doi:10.3389/fmars.2021.742209.
- Government of Nunavut (GN), Department of Environment, Fisheries and Sealing Division. 2016. Nunavut fisheries strategy. 47 p. Disponible à partir de https://oceantrackingnetwork.org/wp-content/uploads/2017/04/FisheriesStrategy_Text_EN_Web.pdf.

- Gully, K., Iacozza, J., et Dunmall, K.M. 2023. Development of a small-scale approach to assess sea ice change using weekly ice charts, with application to Anguniaqvia Niqiyuam Marine Protected Area. *Arct. Sci.* 9: 198–208. doi:10.1139/as-2021-0045.
- Gutowsky, S.E., Mark Hipfner, J., Maftei, M., Boyd, S., Auger-Méthé, M., Yurkowski, D.J., et al. 2020. First insights into Thayer's gull *larus glaucooides thayeri* migratory and overwinter patterns along the northeast Pacific coast. *Mar. Ornithol.* 48: 9–16. doi:10.1515/ami-2020-0107
- Gutowsky, S.E., Baak, J.E., Gaston, A.J., et Mallory, M.L. 2022. Sea ice extent and phenology influence breeding of high-Arctic seabirds: 4 decades of monitoring in Nunavut, Canada. *Oecologia.* 198: 393–406. doi:10.1007/s00442-022-05117-8.
- Halliday, W.D., Scharffenberg, K., MacPhee, S., Hilliard, R.C., Mouy, X., Whalen, D., et al. 2019. Beluga vocalizations decrease in response to vessel traffic in the Mackenzie River Estuary. *Arctic.* 72: 337–346. doi:10.14430/arctic69294.
- Halliday, W.D., Scharffenberg, K., Whalen, D., MacPhee, S.A., Loseto, L.L., et Insley, S.J. 2020a. The summer soundscape of a shallow-water estuary used by beluga whales in the western Canadian Arctic. *Arct. Sci.* 6: 361–383. doi:10.1139/as-2019-0022.
- Halliday, W.D., Pine, M.K., et Insley, S.J. 2020b. Underwater noise and Arctic marine mammals: review and policy recommendations. *Environ. Rev.* 28: 438–448. doi:10.1139/er-2019-0033.
- Halliday, W.D., Pine, M.K., Citta, J.J., Harwood, L., Hauser, D.D.W., Hilliard, R.C., et al. 2021. Potential exposure of beluga and bowhead whales to underwater noise from ship traffic in the Beaufort and Chukchi Seas. *Ocean Coast. Manag.* 204: 105473. doi:10.1016/J.OCECOAMAN.2020.105473.
- Halliday, W.D., Dawson, J., Yurkowski, D.J., Doniol-Valcroze, T., Ferguson, S.H., Gjerdrum, et al. 2022a. Vessel risks to marine wildlife in the Tallurutiup Imanga National Marine Conservation Area and the eastern entrance to the Northwest Passage. *Environ. Sci. Policy.* 127: 181–195. doi:10.1016/J.ENVSCI.2021.10.026.
- Halliday, W.D., Le Baron, N., Citta, J.J., Dawson, J., Doniol-Valcroze, T., Ferguson, M., et al. 2022b. Overlap between bowhead whales (*Balaena mysticetus*) and vessel traffic in the North American Arctic and implications for conservation and management. *Biol. Conserv.* 276: 109820. doi:10.1016/J.BIOCON.2022.109820.
- Hammill, M.O., et Stenson, G.B. 2006. Abundance of Northwest Atlantic hooded seals (1960–2005). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2006/068. iv + 19 p.
- Hammill, M.O., Stenson, G.B., Mosnier, A. et Doniol-Valcroze, T. 2021. Trends in abundance of harp seals, *Pagophilus groenlandicus*, in the Northwest Atlantic, 1952–2019. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2021/006. iv + 30 p.

- Hamilton, C.D., Lydersen, C., Aars, J., Acquarone, M., Atwood, T., Baylis, A., et al. 2022. Marine mammal hotspots across the circumpolar Arctic. *Divers. Distrib.* 28: 2729–2753. doi:10.1111/ddi.13543.
- Hammer, L.J., Hussey, N.E., Marcoux, M., Pettitt-Wade, H., Hedges, K., Tallman, R., et al. 2022. Arctic char enter the marine environment before annual ice breakup in the high Arctic. *Environ. Biol. Fishes.* 105: 2017–2025. doi:10.1007/s10641-021-01099-3.
- Harris, L.N., Yurkowski, D., Gilbert, M., Else, B., Duke, P., Ahmed, M., et al. 2020. Depth and temperature preference of anadromous Arctic char *Salvelinus alpinus* in the Kitikmeot Sea, a shallow and low-salinity area of the Canadian Arctic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 634: 175–197. doi:10.3354/meps13195.
- Harris, L.N., Cahill, C.L., Jivan, T., Zhu, X., et Tallman, R.F. 2021. Mise à jour de l'état du stock d'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) pêché à des fins commerciales dans les rivières Jayko et Halokvik, au Nunavut : résumé de la récolte, des prises et de l'effort, et de l'information biologique. *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech.* 2019/062. v + 100 p.
- Harris, L.N., Moore, J.-S., Dunmall, K., Evans, M., Falardeau, M., Gallagher, C., Gilbert, M., Kenny, T., McNicholl, D., Norman, M., Lyall, G. et Kringayark, L. 2022a. L'omble chevalier dans un Nord en mutation rapide, *Savoir polaire : Savoir polaire Canada (2022) Rapport Aqhaliat*, volume 4, p. 34–57. doi:10.35298/pkc.2021.
- Harris, L.N., Yurkowski, D.J., Malley, B.K., Jones, S.F., Else, B.G.T., Tallman, R.F., et al. 2022b. Acoustic telemetry reveals the complex nature of mixed-stock fishing in Canada's largest Arctic char commercial fishery. *North Am. J. Fish. Manag.* 42: 1250–1268. doi:10.1002/nafm.10816.
- Harrison, A., Woodard, P.F., Mallory, M.L., et Rausch, J. 2022. Sympatrically breeding congeneric seabirds (*Stercorarius* spp.) from Arctic Canada migrate to four oceans. *Ecol. Evol.* 12: e8451. doi:10.1002/ece3.8451.
- Harwood, L.A., Innes, S., Norton, P., et Kingsley, M.C.S. 1996. Distribution and abundance of beluga whales in the Mackenzie estuary, southeast Beaufort Sea, and west Amundsen Gulf during late July 1992. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 2262–2273. doi:10.1139/f96-180.
- Harwood L.A., Norton P., Day B., et Hall P.A. 2002. The harvest of Beluga Whales in Canada's Western Arctic: Hunter-based monitoring of the size and composition of the catch. *Arctic.* 55: 10–20. doi:10.14430/arctic687.
- Harwood, L.A., Sandstrom, S., et Linn, E. 2009. Status of anadromous Dolly Varden (*Salvelinus malma*) of the Rat River, Northwest Territories, as assessed through sampling of the subsistence fishery (1995-2007). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2891: vii +52 p.

- Harwood, L.A., Sandstrom, S.J., Papst, M.H., et Melling, H. 2013. Kuujjua River Arctic Char: Monitoring stock trends using catches from an under-ice subsistence fishery, Victoria Island, Northwest Territories, Canada, 1991–2009. *Arctic*. 66: 291–300. doi:10.14430/arctic4308.
- Harwood, L.A., Iacozza, J., Auld, J.C., Norton, P., et Loseto, L. 2014. Belugas in the Mackenzie River estuary, NT, Canada: Habitat use and hot spots in the Tarium Niryutait Marine Protected Area. *Ocean Coast. Manag.* 100: 128–138. doi:10.1016/j.ocecoaman.2014.08.004.
- Harwood, L.A., Smith, T.G., George, J.C., Sandstrom, S.J., Walkusz, W., et Divoky, G.J. 2015. Change in the Beaufort Sea ecosystem: Diverging trends in body condition and/or production in five marine vertebrate species. *Prog. Oceanogr.* 136: 263–273. doi:10.1016/j.pocean.2015.05.003.
- Harwood, L.A., Zhu, X., Angasuk, L., Emaghok, L., Ferguson, S., Gruben, C., et al. 2020. Recherche, surveillance et connaissances des chasseurs à l'appui de l'évaluation de 2017 du stock de bélugas de l'est de la mer de Beaufort. *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech.* 2020/075. v + 53 p.
- Hatcher, S. V., Forbes, D.L., et Manson, G.K. 2021. Boulder-strewn flats in a high-latitude macrotidal embayment, Baffin Island: geomorphology, formation, and future stability. *Can. J. Earth Sci.* 59: 866–883. doi:10.1139/cjes-2021-0019.
- Hauser, D.D.W., Laidre, K.L., Stafford, K.M., Stern, H.L., Suydam, R.S., et Richard, P.R. 2017. Decadal shifts in autumn migration timing by Pacific Arctic beluga whales are related to delayed annual sea ice formation. *Glob. Chang. Biol.* 23: 2206–2217. doi:10.1111/gcb.13564.
- Hauser D.D.W., Whiting A.V., Mahoney A.R., Goodwin J., Harris C., Schaeffer R.J., et al. 2021. Co-production of knowledge reveals loss of Indigenous hunting opportunities in the face of accelerating Arctic climate change. *Environ. Res. Lett.* 16: 095003. doi:10.1088/1748-9326/ac1a36.
- Heide-Jørgensen, M.P., Dietz, R., Laidre, K.L., Richard, P., Orr, J., et Schmidt, H.C. 2003. The migratory behaviour of narwhals (*Monodon monoceros*). *Can. J. Zool.* 81: 1298–1305. doi:10.1139/z03-117.
- Heide-Jørgensen, M.P., Laidre, K.L., Simon, M., Burt, M.I., Borchers, D.L., et Rasmussen, M. 2010. Abundance of fin whales in West Greenland in 2007. *J. Cetacean Res. Manage.* 11: 83–88. doi:10.47536/jcrm.v11i2.614.
- Heide-Jørgensen, M.P., Richard, P.R., Dietz, R., et Laidre, K.L. 2013. A metapopulation model for Canadian and West Greenland narwhals. *Anim. Conserv.* 16: 331–343. doi:10.1111/acv.12000.

- Heide-Jørgensen, M.P., Nielsen, N.H., Hansen, R.G., Schmidt, H.C., Blackwell, S.B., et Jørgensen, O.A. 2015. The predictable narwhal: Satellite tracking shows behavioural similarities between isolated subpopulations. *J. Zool.* 297: 54–65. doi:10.1111/jzo.12257.
- Henderson, E.M., et Derocher, A.E. 2022. Polar bear (*Ursus maritimus*) use of the Cape Bathurst polynya and flaw lead. *Arct. Sci.* 8: 395–413. doi:10.1139/as-2021-0023.
- Henri, D.A., Martinez-Levasseur, L.M., Weeltuk, S., Mallory, M.L., Gilchrist, H.G., et Jean-Gagnon, F. 2020. Inuit knowledge of Arctic Terns (*Sterna paradisaea*) and perspectives on declining abundance in southeastern Hudson Bay, Canada. *PLoS One.* 15: e0242193. doi:10.1371/journal.pone.0242193.
- Herbig, J., Fisher, J., Bouchard, C., Niemi, A., LeBlanc, M., Majewski, A., Gauthier, S., et Geoffroy, M. 2023. Climate and juvenile recruitment as drivers of Arctic cod (*Boreogadus saida*) dynamics in two Canadian Arctic seas. *Elem. Sci. Anth.* 11: 00033. doi:10.1525/elementa.2023.00033.
- Hilborn, A., et Devred, E. 2022. Delineation of Eastern Beaufort Sea sub-regions using self-organizing maps applied to 17 years of MODIS-Aqua data. *Front. Mar. Sci.* 9: 912865. doi:10.3389/fmars.2022.912865.
- Hitomi, M.K., et Loring, P.A. 2018. Hidden participants and unheard voices? A systematic review of gender, age, and other influences on local and traditional knowledge research in the North. *FACETS.* 3: 830–848. doi:10.1139/facets-2018-0010.
- Hollins, J., Pettitt-Wade, H., Gallagher, C.P., Lea, E. V., Loseto, L.L., et Hussey, N.E. 2022. Distinct freshwater migratory pathways in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) coincide with separate patterns of marine spatial habitat-use across a large coastal landscape. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 79: 1447–1464. doi:10.1139/cjfas-2021-0291.
- Hoover, C., Walkusz, W., Macphee, S., Niemi, A., Majewski, A., et Loseto, L. 2021a. Canadian Beaufort Sea Shelf food web structure and changes from 1970-2012. *Data Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1313: viii + 97 p.
- Hoover, C., Giraldo, C., Ehrman, A., Suchy, K.D., Macphee, S.A., Brewster, J., et al. 2021b. The Canadian Beaufort Shelf trophic structure: evaluating an ecosystem modelling approach by comparison with observed stable isotopic structure. *Arct. Sci.* 8: 292–312. doi:10.1139/as-2020-0035.
- Hornby, C.A., Hoover, C., Iacozza, J., Barber, D.G., et Loseto, L.L. 2016. Spring conditions and habitat use of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) during arrival to the Mackenzie River Estuary. *Polar Biol.* 39: 2319–2334. doi:10.1007/s00300-016-1899-9.
- Houde, M., Taranu, Z.E., Wang, X., Young, B., Gagnon, P., Ferguson, S.H., Kwan, M. et Muir, D.C.G. 2020. Mercury in Ringed Seals (*Pusa hispida*) from the Canadian Arctic in Relation

- to Time and Climate Parameters. *Environ. Toxicol. Chem.* 39: 2462–2474.
doi:10.1002/etc.4865.
- Howarth, L.M., Lewis-McCrea, L., LaBelle, J., et Reid, G.K. 2021. Managing Aquaculture and Eelgrass Interactions in Nova Scotia. Centre for Marine Applied Research (CMAR), Dartmouth, Nova Scotia, Canada. 53 p. Disponible à partir de <https://cmar.ca/wp-content/uploads/sites/22/2022/12/2021-Howarth-et-al-Managing-Aquaculture-and-Eelgrass-Final-v8.pdf>.
- Howell, S.E.L., Tivy, A., Yackel, J.J., et McCourt, S. 2008. Multi-year sea-ice conditions in the Western Canadian Arctic Archipelago region of the Northwest Passage: 1968–2006. *Atmosphere-Ocean*. 46: 229–242. doi:10.3137/ao.460203.
- Howell, S.E.L., Derksen, C., Pizzolato, L., et Brady, M. 2015. Multiyear ice replenishment in the Canadian Arctic Archipelago: 1997–2013. *J. Geophys. Res.* 120: 1623–1637. doi:10.1002/2015JC010696.
- Howell, S.E.L., Laliberté, F., Kwok, R., Derksen, C., et King, J. 2016. Land fast ice thickness in the Canadian Arctic Archipelago from observations and models. *The Cryosphere*. 10: 1463–1475. doi:10.5194/tc-10-1463-2016.
- Howell, S.E.L., Babb, D.G., Landy, J.C., et Brady, M. 2022. Multi-year sea ice conditions in the Northwest Passage: 1968–2020, *Atmos. Ocean*. 61: 202–216. doi:10.1080/07055900.2022.2136061.
- Hughes, K.G., Klymak, J.M., Williams, W.J., et Melling, H. 2018. Tidally modulated internal hydraulic flow and energetics in the central Canadian Arctic Archipelago. *J. Geophys. Res.* 123: 5210–5229. doi:10.1029/2018JC013770.
- Huntington, H.P. 2000. Traditional knowledge of the ecology of belugas, *Delphinapterus leucas*, in Cook Inlet, Alaska. *Mar. Fish. Rev.* 62: 134–140. Disponible à partir de <https://core.ac.uk/download/pdf/11024293.pdf>.
- Huntington, A., Corcoran, P.L., Jantunen, L., Thaysen, C., Bernstein, S., Stern, G.A., et al. 2020. A first assessment of microplastics and other anthropogenic particles in Hudson Bay and the surrounding eastern Canadian Arctic waters of Nunavut. *FACETS*. 5: 432–454. doi:10.1139/facets-2019-0042.
- ICES. 2022. Distribution and abundance of pink salmon across the North Atlantic. ICES Advice: Recurrent Advice. Report. 16 p. <https://doi.org/10.17895/ices.advice.21020050.v1>.
- Insley, S.J., Halliday, W.D., Mouy, X., et Diogou, N. 2021. Bowhead whales overwinter in the Amundsen Gulf and Eastern Beaufort Sea. *R. Soc. Open Sci.* 8: rsos.202268. doi:10.1098/rsos.202268.

- ICC. Inuit Circumpolar Council. 2021. Ethical and Equitable Engagement Synthesis Report: A collection of Inuit rules, guidelines, protocols, and values for the engagement of Inuit communities and Indigenous Knowledge from across Inuit Nunaat. Synthesis Report. International. 40 p. Disponible à partir de <https://hh30e7.p3cdn1.secureserver.net/wp-content/uploads/ICC-EEE-Synthesis-report-WEB.pdf>.
- ITK. Inuit Tapiriit Kanatami. 2018. National Inuit strategy on research. 46 p. Disponible à partir de <https://www.itk.ca/wpcontent/uploads/2018/03/National-Inuit-Strategy-on-Research.pdf>.
- ITK. Inuit Tapiriit Kanatami. 2019. Inuit Nunangat Map [online]: Disponible à partir de itk.ca/inuit-nunangat-map/.
- Jacobs, K., Marmen, M.B., Rincón, B., Macdonald, B., Lirette, C., Gibb, et al. 2022. Biodiversity monitoring stations for benthic macrofauna and meiofauna in the Disko Fan and Hatton Basin conservation areas. *Can. Tech. Rep. Fish Aquat. Sci.* 3487: vi + 86 p.
- Jayathilake, D.R.M., et Costello, M.J. 2018. A modelled global distribution of the seagrass biome. *Biol. Conserv.* 226: 120–126. doi:10.1016/J.BIOCON.2018.07.009.
- Jeffery, N., Vercaemer, B., Stanley, R., Kess, T., et Wong, M. 2023. Variation in genomic vulnerability to climate change across temperate populations of eelgrass (*Zostera marina*). Authorea. doi:10.22541/au.167291318.80887192/v3.
- Ji, B.Y., Sandwith, Z.O., Williams, W.J., Diaconescu, O., Ji, R., Li, Y., et al. 2019. Variations in rates of biological production in the Beaufort Gyre as the Arctic changes: Rates from 2011 to 2016. *J. Geophys. Res. Ocean.* 124: 3628–3644. doi:10.1029/2018JC014805.
- Joli, N., Gosselin, M., Ardyna, M., Babin, M., Onda, D.F., Tremblay, J.É., et al. 2018. Need for focus on microbial species following ice melt and changing freshwater regimes in a Janus Arctic Gateway. *Sci. Rep.* 8: 9405. doi:10.1038/s41598-018-27705-6.
- Jørgensen, L.L., Logerwell, E.A., Strelkova, N., Zakharov, D., Roy, V., Nozères, C., et al. 2022. International megabenthic long-term monitoring of a changing arctic ecosystem: Baseline results. *Prog. Oceanogr.* 200: 102712. doi:10.1016/j.pocean.2021.102712.
- Juhls, B., Matsuoka, A., Lizotte, M., Bécu, G., Overduin, P.P., El Kassar, J., et al. 2022. Seasonal dynamics of dissolved organic matter in the Mackenzie Delta, Canadian Arctic waters: Implications for ocean colour remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 283: 113327. doi:10.1016/j.rse.2022.113327.
- Karetak, J., Tester, F.J., et Tagalik S. 2017. Inuit Qaujimagatuqangit: what Inuit have always known to be true. Fernwood Publishing.
- Keenan, E., Fanning, L.M., et Milley, C. 2018. Mobilizing Inuit Qaujimagatuqangit in narwhal management through community empowerment: A case study in Naujaat, Nunavut. *Arctic* 71: 27–39. doi:10.14430/arctic4699.

- Kellogg, C.T.E., Carpenter, S.D., Renfro, A.A., Sallon, A., Michel, C., Cochran, J.K., et al. 2011. Evidence for microbial attenuation of particle flux in the Amundsen Gulf and Beaufort Sea: Elevated hydrolytic enzyme activity on sinking aggregates. *Polar Biol.* 34: 2007–2023. doi:10.1007/s00300-011-1015-0.
- Kenchington, E.L., Link, H., Roy, V., Archambault, P., Siferd, T., Treble, M., et al. 2011. Identification of mega- and macrobenthic Ecologically and Biologically Significant Areas (EBSAs) in the Hudson Bay Complex, the western and eastern Canadian Arctic. DFO Can. Sci. Advis. Secr. Res. Doc. 2011/071. vi + 52 p.
- Kenchington, E., Lirette, C., Murillo, F., Beazley, L., Guijarro, J., Wareham, V., et al. 2016. Kernel density analyses of coral and sponge catches from research vessel survey data for use in identification of significant benthic areas. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3167: viii + 207 p.
- Kenchington, E., Lirette, C., Treble, M., and Jacobs, K. 2022. Biodiversity Monitoring Stations for Benthic Megafauna in the Disko Fan Conservation Area. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3499: v + 75 p.
- Kenny, A.J., Campbell, N., Koen-Alonso, M., Pepin, P., et Diz, D. 2018. Delivering sustainable fisheries through adoption of a risk-based framework as part of an ecosystem approach to fisheries management. *Mar. Policy* 93: 232–240. doi:10.1016/j.marpol.2017.05.018.
- Kenyon, K.A., Yurkowski, D.J., Orr, J., Barber, D., et Ferguson, S.H. 2018. Baffin Bay narwhal (*Monodon monoceros*) select bathymetry over sea ice during winter. *Polar Biol.* 41:2053–2063. doi:10.1007/s00300-018-2345-y.
- Kimmerer, R.W. 2013. The fortress, the river and the garden: A new metaphor for cultivating mutualistic relationship between scientific and traditional ecological knowledge. Page in *Contemporary studies in environmental and Indigenous pedagogies: A curricula of stories and place.* 49–76 p. doi:10.1007/978-94-6209-293-8_4.
- Kirillov, S., Dmitrenko, I., Babb, D.G., Ehn, J.K., Koldunov, N., Rysgaard, S., et al. 2022. The role of oceanic heat flux in reducing thermodynamic ice growth in Nares Strait and promoting earlier collapse of the ice bridge. *Ocean Sci.* 18: 1535–1557. doi:10.5194/os-18-1535-2022.
- Klemetsen, A., Amundsen, P.-A., Dempson, J.B., Jonsson, B., Jonsson, N., O’Connell, M.F., et al. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar L.*, brown trout *Salmo trutta L.* and Arctic charr *Salvelinus alpinus (L.)*: a review of aspects of their life histories. *Ecol. Freshw. Fish.* 12: 1–59. doi:10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x.
- Koch, C.W., Brown, T.A., Amiriaux, R., Ruiz-Gonzalez, C., MacCorquodale, M., Yunda-Guarin, et al. 2023. Year-round utilization of sea ice-associated carbon in Arctic ecosystems. *Nat. Commun.* 14: 1964. doi:10.1038/s41467-023-37612-8.

- Kochanowicz, Z., Dawson, J., Halliday, W.D., Sawada, M., Copland, L., Carter, N.A., et al. 2021. Using western science and Inuit knowledge to model ship-source noise exposure for cetaceans (marine mammals) in Tallurutiup Imanga (Lancaster Sound), Nunavut, Canada. *Mar. Policy* 130: 104557. doi:10.1016/j.marpol.2021.104557.
- Koski, W.R., Davis, R.A., et Finley, K.J. 2002. Distribution and abundance of Canadian High Arctic belugas, 1974-1979. *NAMMCO Sci. Pub.* 4: 87–126. doi:10.7557/3.2839.
- Krause-Jensen, D., et Duarte, C.M. 2016. Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nat. Geosci.* 9: 737–742. doi:10.1038/ngeo2790.
- Krause-Jensen, D., Archambault, P., Assis, J., Bartsch, I., Bischof, K., Filbee-Dexter, K., et al. 2020. Imprint of Climate Change on Pan-Arctic Marine Vegetation. *Front. Mar. Sci.* 7: 617324. doi:10.3389/fmars.2020.617324.
- Krishfield, R.A., Proshutinsky, A., Tateyama, K., Williams, W.J., Carmack, E.C., McLaughlin, F.A., et Timmermans, M.-L. 2014. Deterioration of perennial sea ice in the Beaufort Gyre from 2003 to 2012 and its impact on the oceanic freshwater cycle. *J. Geophys. Res.* 119: 1271–1305. doi:10.1002/2013JC008999.
- Krumhansl, K.A., et Scheibling, R.E. 2012. Production and fate of kelp detritus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 467: 281–302. doi:10.3354/meps09940.
- Lacasse, O., Roy, V., Nozères, C., Deslauriers, D., et Walkusz, W. 2020. Invertebrate biodiversity and photo catalogue from the 2018 Northern and Striped Shrimp stock assessment survey in Davis Strait, Hudson Strait, and Northern Labrador Coast. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3351: iv + 163 p.
- Lacoursière-Roussel, A., Howland, K., Normandeau, E., Grey, E.K., Archambault, P., Deiner, K., et al. 2018. eDNA metabarcoding as a new surveillance approach for coastal Arctic biodiversity. *Ecol. Evol.* 8: 7763–7777. doi:10.1002/ece3.4213.
- Lafond, A., Leblanc, K., Quéguiner, B., Moriceau, B., Leynaert, A., Cornet, et al. 2019. Late spring bloom development of pelagic diatoms in Baffin Bay. *Elementa* 7: 44. doi:10.1525/elementa.382.
- Laidre, K.L., et Heide-Jørgensen, M.P. 2005. Arctic sea ice trends and narwhal vulnerability. *Biol. Conserv.* 121: 509–517. doi:10.1016/j.biocon.2004.06.003.
- Laidre, K.L., Stirling, I., Lowry, L.F., Wiig, Ø., Heide-Jørgensen, M.P., et Ferguson, S.H. 2008. Quantifying the sensitivity of Arctic marine mammals to climate-induced habitat change. *Ecol. Appl.* 18: S97–S125. doi:10.1890/06-0546.1.
- Lalumière, R., et Lemieux, C. 2002, Suivi environnemental des projets La Grande-2-A et La Grande-1. La zostère marine de la côte nord-est de la baie James - Rapport synthèse pour la période 1988-2000. 92 p.

- Lalumière, R., Messier, D., Fournier, J.J., et Peter McRoy, C. 1994. Eelgrass meadows in a low arctic environment, the northeast coast of James Bay, Québec. *Aquat. Bot.* 47: 303–315. doi:10.1016/0304-3770(94)90060-4.
- Laruelle, G.G., Cai, W.J., Hu, X., Gruber, N., Mackenzie, F.T., et Regnier, P. 2018. Continental shelves as a variable but increasing global sink for atmospheric carbon dioxide. *Nat. Commun.* 9: 454. doi:10.1038/s41467-017-02738-z.
- Lasserre, F. 2022. Canadian arctic marine transportation issues, opportunities and challenges. *SPPPP*. 15:6. doi:10.11575/sppp.v15i1.72626.
- LeBlanc, M., Gauthier, S., Garbus, S.E., Mosbech, A., et Fortier, L. 2019. The co-distribution of Arctic cod and its seabird predators across the marginal ice zone in Baffin Bay. *Elem. Sci. Anthr.* 7: 1–18. doi:10.1525/elementa.339.
- LeBlanc, M., Geoffroy, M., Bouchard, C., Gauthier, S., Majewski, A., Reist, J.D., et al. 2020. Pelagic production and the recruitment of juvenile polar cod *Boreogadus saida* in Canadian Arctic seas. *Polar Biol.* 43: 1043–1054. doi:10.1007/s00300-019-02565-6.
- Leblanc, M., O'Connor, M.I., Kuzyk, Z.Z.A., Noisette, F., Davis, K.E., Rabbitskin, E., et al. 2022. Limited recovery following a massive seagrass decline in subarctic eastern Canada. *Glob. Chang. Biol.* 29: 432–450. doi:10.1111/gcb.16499.
- Leduc, N., Lacoursière-Roussel, A., Howland, K.L., Archambault, P., Sevellec, M., Normandeau, E., et al. 2019. Comparing eDNA metabarcoding and species collection for documenting Arctic metazoan biodiversity. *Environ. DNA* 1: 342–358. doi:10.1002/edn3.35.
- Lefort, K.J., Matthews, C.J.D., Higdon, J.W., Petersen, S.D., Westdal, K.H., Garroway, C.J., et al. 2020a. A review of Canadian Arctic killer whale (*Orcinus orca*) ecology. *Can. J. Zool.* 98: 245–253. doi:10.1139/cjz-2019-0207.
- Lefort, K.J., Garroway, C.J., et Ferguson, S.H. 2020b. Killer whale abundance and predicted narwhal consumption in the Canadian Arctic. *Glob. Change Biol.* 26: 4276–4283. doi:10.1111/gcb.15152.
- Lefort, K.J., Hussey, N.E., Jones, J.M., Johnson, K.F., et Ferguson, S.H. 2022. Satellite-tracked sperm whale migrates from the Canadian Arctic to the subtropical western North Atlantic. *Mar. Mammal Sci.* 38: 1242–1248. doi:10.1111/mms.12909.
- Lehmann, N., Kienast, M., Granger, J., et Tremblay, J. -É. 2022. Physical and biogeochemical influences on nutrients through the Canadian Arctic Archipelago: Insights from nitrate isotope ratios. *J. Geophys. Res. Ocean.* 127: e2021JC018179. doi:10.1029/2021JC018179.
- Leu, E., Søreide, J.E., Hessen, D.O., Falk-Petersen, S., et Berge, J. 2011. Consequences of changing sea-ice cover for primary and secondary producers in the European Arctic shelf

- seas: Timing, quantity, and quality. *Prog. Oceanogr.* 90: 18–32. Pergamon. doi:10.1016/J.POCEAN.2011.02.004.
- Leu, E., Mundy, C.J., Assmy, P., Campbell, K., Gabrielsen, T.M., Gosselin, M., et al. 2015. Arctic spring awakening – Steering principles behind the phenology of vernal ice algal blooms. *Prog. Oceanogr.* 139: 151–170. Pergamon. doi:10.1016/J.POCEAN.2015.07.012.
- Lewis, A.E., Hammill, M.O., Power, M., Doidge, D.W., et Lesage, V. 2009. Movement and aggregation of eastern Hudson Bay beluga whales (*Delphinapterus leucas*): A comparison of patterns found through satellite telemetry and Nunavik traditional ecological knowledge. *Arctic.* 62: 13–24. doi:10.14430/arctic109.
- Lewis, K.M., van Dijken, G.L., et Arrigo, K.R. 2020. Changes in phytoplankton concentration now drive increased Arctic Ocean primary production. *Science.* 369: 198–202. doi:10.1126/science.aay8380.
- Lim, S.M., Payne, C.M., van Dijken, G.L., et Arrigo, K.R. 2022. Increases in Arctic sea ice algal habitat, 1985–2018. *Elem. Sci. Anthr.* 10: 1–23. doi:10.1525/elementa.2022.00008.
- Lin, P., Pickart, R.S., Heorton, H., Tsamados, M., Itoh, M., et Kikuchi, T. 2023. Recent state transition of the Arctic Ocean’s Beaufort Gyre. *Nat. Geosci.* 16: 485–491. doi:10.1038/s41561-023-01184-5.
- Link, H., Chaillou, G., Forest, A., Piepenburg, D., et Archambault, P. 2013a. Multivariate benthic ecosystem functioning in the Arctic – benthic fluxes explained by environmental parameters in the southeastern Beaufort Sea. *Biogeosci.* 10: 5911–5929. doi:10.5194/bg-10-5911-2013.
- Link, H., Piepenburg, D., et Archambault, P. 2013b. Are hotspots always hotspots? The relationship between diversity, resource and ecosystem functions in the Arctic. *PLoS One* 8: e74077. doi:10.1371/journal.pone.0074077.
- Linkin, M.E., et Nigam, S. 2008. The North Pacific Oscillation–West Pacific teleconnection pattern: Mature-phase structure and winter impacts. *J. Climate.* 21: 1979–1997. doi:10.1175/2007JCLI2048.1.
- Litchman, E., Ohman, M.D., et Kiørboe, T. 2013. Trait-based approaches to zooplankton communities. *J. Plankton Res.* 35: 473–484. doi:10.1093/plankt/fbt019.
- Lizotte, M., Juhls, B., Matsuoka, A., Massicotte, P., Mével, G., Anikina, D.O.J., et al. 2023. Nunataryuk field campaigns: understanding the origin and fate of terrestrial organic matter in the coastal waters of the Mackenzie Delta region. *Earth Syst. Sci. Data* 15: 1617–1653. doi:10.5194/essd-15-1617-2023.

- Loeb, N.G., Johnson, G.C., Thorsen, T.J., Lyman, J.M., Rose, F.G., et Kato, S. 2021. Satellite and ocean data reveal marked increase in Earth's heating rate. *Geophys. Res. Lett.* 48. doi:10.1029/2021GL093047.
- Loewen, T.N., Gillis, D., et Tallman, R.F. 2010. Maturation, growth and fecundity of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), life-history variants co-existing in lake systems of Southern Baffin Island, Nunavut, Canada. *Hydrobiol.* 650: 193–202. doi:10.1007/s10750-010-0242-7.
- Loseto, L.L., Hoover, C., Ostertag, S., Whalen, D., Pearce, T., Paulic, J., et al. 2018. Beluga whales (*Delphinapterus leucas*), environmental change and marine protected areas in the Western Canadian Arctic. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 212: 128–137. doi:10.1016/J.ECSS.2018.05.026.
- Lu, Z., De Silva, A.O., Provencher, J.F., Mallory, M.L., Kirk, J.L., Houde, M., et al. 2019. Occurrence of substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole UV stabilizers in Arctic seabirds and seals. *Sci. Tot. Environ.* 663: 950–957. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2019.01.354.
- Maier, K.W.C., Mochnacz, N.J., Bajno, R., Chapelsky, A.J., Rodger, P., et Reist, J.D. 2021. Range extension of northern form Dolly Varden (*Salvelinus malma malma*) to the upper Arctic Red River watershed, Northwest Territories, Canada. *Arctic.* 74: 42–50. doi:10.14430/arctic72138.
- Majewski, A.R., Lynn, B.R., Lowdon, M.K., Williams, W.J., et Reist, J.D. 2013. Community composition of demersal marine fishes on the Canadian Beaufort Shelf and at Herschel Island, Yukon Territory. *J. Mar. Syst.* 127: 55–64. doi:10.1016/j.jmarsys.2013.05.012.
- Majewski, A.R., Atchison, S., MacPhee, S., Eert, J., Niemi, A., Michel, C., et al. 2017. Marine fish community structure and habitat associations on the Canadian Beaufort shelf and slope. *Deep Sea Res.* 121: 169–182. doi:10.1016/J.DSR.2017.01.009.
- Mäkelä, A., Witte, U., et Archambault, P. 2017a. Benthic macroinfaunal community structure, resource utilisation and trophic relationships in two Canadian Arctic Archipelago polynyas. *PLoS One* 12: e0183034. doi:10.1371/journal.pone.0183034.
- Mäkelä, A., Witte, U., et Archambault, P. 2017b. Ice algae versus phytoplankton: resource utilization by Arctic deep sea macroinfauna revealed through isotope labelling experiments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 572: 1–18. doi:10.3354/meps12157.
- Mallory, M.L., Gaston, A.J., Gilchrist, H.G., Robertson, G.J., et Braune, B.M. 2010. Effects of climate change, altered sea-ice distribution and seasonal phenology on marine birds. *in* A Little Less Arctic: Top Predators in the World's Largest Northern Inland Sea, Hudson Bay [eds. Ferguson, S.H., Loseto, L.L., Mallory, M.L.]. 179–195 p. doi:10.1007/978-90-481-9121-5_9.

- Mallory, M.L., Davis, S.E., Maftai, M., Fife, D.T., et Robertson, G.J. 2018. Adult survival of Arctic terns in the Canadian High Arctic. *Polar Res.* 37: 1537710. doi:10.1080/17518369.2018.1537710.
- Mallory, M.L., Gaston, A.J., Provencher, J.F., Wong, S.N.P., Anderson, C., Elliott, K.H., et al. 2019. Identifying key marine habitat sites for seabirds and sea ducks in the Canadian Arctic. *Environ. Rev.* 27: 215–240. doi:10.1139/er-2018-0067.
- Manizza, M., Menemenlis, D., Zhang, H., et Miller, C.E. 2019. Modeling the recent changes in the Arctic Ocean CO₂ sink (2006–2013). *Global Biogeochem. Cycles.* 33: 420–438. doi:10.1029/2018GB006070.
- Marcoux, M., Montsion, L.M., Dunn, J.B., Ferguson, S.H., et Matthews, C.J.D. 2019. Estimation de l'abondance du stock estival de narvals (*Monodon Monoceros*) dans le détroit d'Éclipse à partir d'un relevé photographique aérien effectué en 2016. *Secr. can. de consult. sci. Du MPO. Doc. de rech.* 2019/028. iv + 17 p.
- Marmen, M.B., Tompkins, G., Harrington, N., Savard-Drouin, A., Wells, M., Baker, E., et al. 2019. Sponges from the 2010-2014 Paamiut multispecies trawl surveys, eastern Arctic and subarctic: Class Demospongiae, Subclass Heteroscleromorpha, Order Poecilosclerida, Families Microcionidae, Acarnidae and Esperiopsidae. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3349: v + 76 p.
- Marmen, M.B., Odenthal, B., Murillo, F.J., Tompkins, G., Baker, E., Savard-Drouin, A., et al. 2021. Sponges from the 2010-2014 Paamiut Multispecies Trawl Surveys, Eastern Arctic and Subarctic: Class Demospongiae, Subclass Heteroscleromorpha, Order Poecilosclerida, Families Mycalidae and Isodictyidae. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3452 v + 60 p.
- Martin, M.J., Halliday, W.D., Storrie, L., Citta, J.J., Dawson, J., Hussey, N.E., et al. 2022. Exposure and behavioral responses of tagged beluga whales (*Delphinapterus leucas*) to ships in the Pacific Arctic. *Mar. Mammal Sci.* 39: 387–421. doi:10.1111/mms.12978.
- Martin, M.J., Halliday, W.D., Citta, J.J., Quakenbush, L., Harwood, L., Lea, E. V., et al. 2023. Exposure and behavioural responses of tagged bowhead whales (*Balaena mysticetus*) to vessels in the Pacific Arctic. *Arct. Sci.* 1–16 p. doi:10.1139/as-2022-0052.
- Martinez-Levasseur, L.M., Furgal, C.M., Hammill, M.O., Henri, D.A., et Burness, G. 2021. New migration and distribution patterns of Atlantic walrus (*Odobenus rosmarus rosmarus*) around Nunavik (Québec, Canada) identified using Inuit Knowledge. *Polar Biol.* 44: 1833–1845. doi:10.1007/s00300-021-02920-6.
- Massicotte, P., Amiraux, R., Amyot, M.-P., Archambault, P., Ardyna, M., Arnaud, L., et al. 2020. Green Edge ice camp campaigns: understanding the processes controlling the under-ice Arctic phytoplankton spring bloom. *Earth Syst. Sci. Data.* 12: 151–176. doi:10.5194/essd-12-151-2020.

- Matsuoka, A., Babin, M., et Vonk, J.E. 2022. Decadal trends in the release of terrigenous organic carbon to the Mackenzie Delta (Canadian Arctic) using satellite ocean color data (1998–2019). *Remote Sens. Environ.* 283: 113322. doi:10.1016/j.rse.2022.113322.
- Matthes, L.C., Ehn, J.K., Dalman, L.A., Babb, D.G., Peeken, I., Harasyn, M., et al. 2021. Environmental drivers of spring primary production in Hudson Bay. *Elem. Sci. Anthr.* 9: 00160. doi:10.1525/elementa.2020.00160.
- Matthews, C.J.D., Breed, G.A., LeBlanc, B., et Ferguson, S.H. 2020. Killer whale presence drives bowhead whale selection for sea ice in Arctic seascapes of fear. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 117: 6590–6598. doi:10.1073/pnas.1911761117.
- Matthews, C.J.D., Watt, C.A., Asselin, N.C., Dunn, J.B., Young, B.G., Montsion, L.M., et al. 2017. Estimated abundance of the Western Hudson Bay beluga stock from the 2015 visual and photographic aerial survey. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/061. v + 20 p.
- Mayette, A., Loseto, L., Pearce, T., Hornby, C.A., et Marcoux, M. 2022. Group characteristics and spatial organization of the Eastern Beaufort Sea beluga whale (*Delphinapterus leucas*) population using aerial photographs. *Can. J. Zool.* 100: 363–375. doi:10.1139/cjz-2021-0232.
- Mayette, A., Marcoux, M., Iacozza, J., Ferguson, M., Brower, A., et Loseto, L. 2023. Summer distribution and habitat preference of beluga whale social groups in the Eastern Beaufort Sea. *Arct. Sci.* 9: 564-580. doi:10.1139/as-2022-0035.
- McClelland, J.W., Holmes, R.M., Dunton, K.H., et Macdonald, R.W. 2012. The Arctic Ocean Estuary. *Estuaries and Coasts* 35: 353–368. doi:10.1007/s12237-010-9357-3.
- McLennan, D., Brown, K., Scharien, R., Else, B., Wilson, K., Humphreys, E., et al. 2022, Environmental change in the Kitikmeot Region of western Nunavut and Ulukhaktok region of eastern Northwest Territories. *Polar Knowledge: Aqhaliat Report, Volume 4, Polar Knowledge Canada*, p. 8–33. doi:10.35298/pkc.2021.01.eng.
- McNicholl, D.G., Dunmall, K.M., Majewski, A.R., Niemi A., Gallagher, C.P., Sawatzky, C., et al. 2020. Distribution of marine and anadromous fishes of Darnley Bay and the Anguniaqvia Niqiqiyuam Marine Protected Area, NT. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3394: x + 90 p.
- McNicholl, D.G., Harris, L.N., Loewen, T., May, P., Tran, L., Akeeagok, R., et al. 2021. Noteworthy occurrences among six marine species documented with community engagement in the Canadian Arctic. *Anim. Migr.* 8: 74–83. doi:10.1515/ami-2020-0113.
- Meier, W.N., et Stroeve, J. 2022. An updated assessment of the changing Arctic sea ice cover. *Oceanog.* 35 :10–19. doi:10.5670/oceanog.2022.114.

- Melling, H., et Riedel, D.A. 1995. The underside topography of sea ice over the continental shelf of the Beaufort Sea in the winter of 1990. *J. Geophys. Res.: Oceans* 100: 13641–13653. doi:10.1029/95JC00309.
- Melling, H., et Riedel, D.A. 1996. Development of seasonal pack ice in the Beaufort Sea during the winter of 1991–1992: A view from below. *J. Geophys. Res.* 101: 11975–11991. doi:10.1029/96JC00284.
- Melling, H., Gratton, Y., et Ingram, G. 2001. Ocean circulation within the North Water polynya of Baffin Bay. *Atmos. Ocean.* 39: 301–325. doi:10.1080/07055900.2001.9649683.
- Melling, H., Riedel, D.A., et Gedalof, Z. 2005. Trends in the draft and extent of seasonal pack ice, Canadian Beaufort Sea. *Geophys. Res. Lett.* 32: L24501. doi:10.1029/2005GL024483.
- Melling, H. 2022. Thickness of multi-year sea ice on the northern Canadian polar shelf: a second look after 40 years. *Cryosphere* 16: 3181–3197. doi:10.5194/tc-16-3181-2022.
- Miatta, M., et Snelgrove, P.V. 2021a. Benthic nutrient fluxes in deep-sea sediments within the Laurentian Channel MPA (eastern Canada): The relative roles of macrofauna, environment, and sea pen octocorals. *Deep Sea Res.* 178: 103655. doi:10.1016/J.DSR.2021.103655.
- Miatta, M., et Snelgrove, P.V.R. 2021b. Sedimentary organic matter shapes macrofaunal communities but not benthic nutrient fluxes in contrasting habitats along the northwest Atlantic continental margin. *Front. Mar. Sci.* 8 : 756054. doi :10.3389/fmars.2021.756054.
- Miatta, M., et Snelgrove, P.V.R. 2022. Sea pens as indicators of macrofaunal communities in deep-sea sediments: Evidence from the Laurentian Channel Marine Protected Area. *Deep Sea Res.* 182 : 103702. doi :10.1016/J.DSR.2022.103702.
- Møller, E.F., et Nielsen, T.G. 2020. Borealization of Arctic zooplankton—smaller and less fat zooplankton species in Disko Bay, Western Greenland. *Limnol. Oceanogr.* 65: 1175–1188. Doi:10.1002/lno.11380.
- Moore, J.W. 1975. Reproductive biology of anadromous arctic char, *Salvelinus alpinus* (L.) in the Cumberland Sound area of Baffin Island. *J. Fish Biol.* 7: 143–151. Doi:10.1111/j.1095-8649.1975.tb04584.x.
- Moore, J.-S., Harris, L.N., Kessel, S.T., Bernatchez, L., Tallman, R.F., et Fisk, A.T. 2016. Preference for nearshore and estuarine habitats in anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from the Canadian high Arctic (Victoria Island, Nunavut) revealed by acoustic telemetry. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73: 1434–1445. Doi:10.1139/cjfas-2015-0436.
- Moore, G.W.K., et McNeil, K. 2018. The early collapse of the 2017 Lincoln Sea ice arch in response to anomalous sea ice and wind forcing. *Geophys. Res. Lett.* 45: 8343–8351. Doi:10.1029/2018GL078428.

- Moore, G.W.K., Howell, S.E.L., et Brady, M. 2021a. First observations of a transient polynya in the last ice area North of Ellesmere Island. *Geophys. Res. Lett.* 48: e2021GL095099. Doi:10.1029/2021GL095099.
- Moore, G.W.K., Howell, S.E.L., Brady, M., Xu, X., et McNeil, K. 2021b. Anomalous collapses of Nares Strait ice arches leads to enhanced export of Arctic sea ice. *Nat. Commun.* 12: 1. Doi:10.1038/s41467-020-20314-w.
- Moore, G.W.K., Steele, M., Schweiger, A.J., Zhang, J., et Laidre, K.L. 2022. Thick and old sea ice in the Beaufort Sea during summer 2020/21 was associated with enhanced transport. *Commun. Earth Environ.* 3: 198. Doi:10.1038/s43247-022-00530-6.
- Moore, R.C., Loseto, L., Noël, M., Etemadifar, A., Brewster, J.D., MacPhee, S., et al. 2020. Microplastics in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the Eastern Beaufort Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 150: 110723. Doi:10.1016/J.MARPOLBUL.2019.110723.
- Morato, T., González-Irusta, J., Dominguez-Carrió, C., Wei, C., Davies, A., Sweetman, A.K., et al. 2020. Climate-induced changes in the suitable habitat of cold-water corals and commercially important deep-sea fishes in the North Atlantic. *Glob. Chang. Biol.* 26: 2181–2202. Doi:10.1111/gcb.14996.
- Morency, C., Jacquemot, L., Potvin, M., et Lovejoy, C. 2022. A microbial perspective on the local influence of Arctic rivers and estuaries on Hudson Bay (Canada). *Elem. Sci. Anthr.* 10: 00009. Doi:10.1525/elementa.2021.00009.
- Morris, A.D., Wilson, S.J., Fryer, R.J., Thomas, P.J., Hudelson, K., Andreasen, B., et al. 2022. Temporal trends of mercury in Arctic biota: 10 more years of progress in Arctic monitoring. *Sci. Total Environ.* 839 : 155803. Doi :10.1016/j.scitotenv.2022.155803.
- Mosurska, A., et Ford, J.D. 2020. Unpacking community participation in research: A systematic literature review of community-based and participatory research in Alaska. *Arctic* 73: 347–367. Doi:10.14430/arctic71080.
- MPO. 2013. Estimations de l'abondance et du total autorisé de prélèvements de morse de l'Atlantique (*Odobenus rosmarus rosmarus*) dans l'Arctique canadien. *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci.* 2013/034.
- MPO. 2016a. Estimations de l'abondance et totaux autorisées des prélèvements de morse de l'Atlantique (*Odobenus rosmarus rosmarus*) dans le bassin de Foxe. *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci.* 2016/007.
- MPO. 2016b. Estimations de l'abondance et prélèvements totaux autorisés pour les stocks de morses de l'Atlantique (*Odobenus rosmarus rosmarus*) de la baie d'Hudson et du détroit de Davis et de la partie sud et est de la Baie d'Hudson. *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci.* 2015/063.

- MPO. 2018. Avis sur le prélèvement de bélugas (*Delphinapterus leucas*) dans l'est et l'ouest de la baie d'Hudson. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2018/008. (Erratum : September 2020).
- MPO. 2022. Avis sur le prélèvement de béluga (*Delphinapterus leucas*) dans l'est de la baie d'Hudson et dans la baie James. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2022/024.
- MPO. 2023a. État des stocks de sébaste dans la sous-zone 0 et dans la sous-zone 2 et la division 3K de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2023/004.
- MPO. 2023b. Estimation de l'abondance de la population de bélugas (*Delphinapterus leucas*) de l'est de la mer de Beaufort en 2019. Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/047.
- Muir, D., Bossi, R., Carlsson, P., Evans, M., De Silva, A., Halsall, C., et al. 2019. Levels and trends of poly- and perfluoroalkyl substances in the Arctic environment – An update. *Emerg. Contam.* 5: 240–271. Doi:10.1016/J.EMCON.2019.06.002.
- Munaweera, I., Harris, L.N., Moore, J.S., Tallman, R.F., Fisk, A.T., Gillis, D.M., et Muthukumarana, S. 2022. Estimating survival probabilities of Cambridge Bay Arctic char using acoustic telemetry data and Bayesian multistate capture–recapture models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 79: 2191–2203. doi:10.1139/cjfas-2021-0262.
- Münchow, A. 2016. Volume and freshwater flux observations from Nares Strait to the west of Greenland at daily time scales from 2003 to 2009. *J. Phys. Oceanogr.* 46 : 141–157. Doi : 10.1175/JPO-D-15-0093.1.
- Mundy, C.J., et Meiners, K.M. 2021. Ecology of Arctic Sea Ice. *In Arctic Ecology*, D.N. Thomas (Ed.). doi:10.1002/9781118846582.ch10.
- Mundy, C.J., Gosselin, M., Ehn, J., Gratton, Y., Rossnagel, A., Barber, D.G., et al. 2009. Contribution of under-ice primary production to an ice-edge upwelling phytoplankton bloom in the Canadian Beaufort Sea. *Geophys. Res. Lett.* 36: L17601. Doi:10.1029/2009GL038837.
- Murillo, F., Kenchington, E., Tompkins, G., Beazley, L., Baker, E., Knudby, A., et al. 2018. Sponge assemblages and predicted archetypes in the eastern Canadian Arctic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 597: 115–135. Doi:10.3354/meps12589.
- Murphy, G.E.P., Dunic, J.C., Adamczyk, E.M., Bittick, S.J., Côté, I.M., Cristiani, J., et al. 2021. From coast to coast to coast: ecology and management of seagrass ecosystems across Canada. *FACETS* 6: 139–179. Doi:10.1139/facets-2020-0020.
- Murray, L., MacPhee, S., Ostertag, S., Hoover, C., Hynes, K., Matari, K., Lam, J., Loseto, L. 2023. The 2016 Beluga Summit: Planning and Proceedings. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3257: xvi + 200 p.

- NAFO 2022. Greenland halibut in Subarea 0+1 (offshore), Advice June 2022 for 2023-2024. Disponible à partir de https://www.nafo.int/Portals/0/PDFs/Advice/2022/ghl_offshore.pdf (accessed November 2023).
- Neves, B. de M., Edinger, E., Hillaire-Marcel, C., Saucier, E.H., France, S.C., Treble, M.A., et al. 2015. Deep-water bamboo coral forests in a muddy Arctic environment. *Mar. Biodivers.* 45: 867–871. doi:10.1007/s12526-014-0291-7.
- Niemi, A., Ferguson, S., Hedges, K., Melling, H., Michel, C., Ayles, B., et al. 2019. State of Canada’s Arctic Seas. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3344: xv + 189 p.
- Noel, A., Iacozza, J., Devred, E., Marcoux, M., Hornby, C., et Loseto, L.L. 2022. Environmental drivers of beluga whale distribution in a changing climate: a case study of summering aggregations in the Mackenzie Estuary and Tarium Nirvutait Marine Protected Area. *Arct. Sci.* 8: 1305–1319. doi:10.1139/as-2022-0003.
- Noël, M., Loseto, L.L., et Stern, G. 2018. Legacy contaminants in the Eastern Beaufort Sea beluga whales (*Delphinapterus leucas*): Are temporal trends reflecting regulations? *Arct. Sci.* 4: 373-387. doi:10.1139/as-2017-0049.
- Norton, P., et Harwood, L.A. 1986. Distribution, abundance and behaviour of white whales in the Mackenzie Estuary. *ES RF.* 36: 73 p. doi:10.13140/RG.2.1.3476.9521
- Nozères, C., Roy, V., Treau De Coeli, L., Treble, M., Hedges, K., Fisheries, W.W., et al. 2019. A photo catalogue of fishes and invertebrates from the 2017 Central and Arctic Region trawl survey in Baffin Bay. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3324: iv + 94 p.
- O’Corry-Crowe, G., Suydam, R., Quakenbush, L., Potgieter, B., Harwood, L., Litovka, D., et al. 2018. Migratory culture, population structure and stock identity in North Pacific beluga whales (*Delphinapterus leucas*). *PLoS One* 13: e0194201. doi:10.1371/journal.pone.0194201.
- Ostertag, S., Loseto, L., Snow, K., Lam, J., Hynes, K., et Gillman, V. 2018. “That’s how we know they’re healthy”: The inclusion of Indigenous Knowledge in beluga health monitoring in the Inuvialuit Settlement Region. *Arct. Sci.* 4: 292–320. doi:10.1139/as-2017-0050.
- Ostertag, S., Green, B., Ruben, D., Hynes, K., Swainson, D., et Loseto, L. 2019. Recorded observations of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) made by Inuvialuit harvesters in the Inuvialuit Settlement Region, NT, in 2014 and 2015. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3338: vi + 18 p.
- Ovitz, K.L., Matari, K.G.A., O’Hara, S., Esagok, D., Inuvik Hunters and Trappers Committee, et Loseto, L. 2023. Observations of social and environmental change on Kendall Island (Ukiivik), a traditional whaling camp in the Inuvialuit Settlement Region. *Arct. Sci.* 10: 140–168. doi:10.1139/AS-2022-0016.

- Oziel, L., Massicotte, P., Randelhoff, A., Ferland, J., Vladoiu, A., Lacour, L., et al. 2019. Environmental factors influencing the seasonal dynamics of spring algal blooms in and beneath sea ice in western Baffin Bay. *Elem. Sci. Anthr.* 7: 34. doi:10.1525/elementa.372.
- Oziel, L., Baudena, A., Ardyna, M., Massicotte, P., Randelhoff, A., Sallée, J.-B., et al. 2020. Faster Atlantic currents drive poleward expansion of temperate phytoplankton in the Arctic Ocean. *Nat. Commun.* 11: 1705. doi:10.1038/s41467-020-15485-5.
- PAME. Protection of the Arctic Marine Environment. 2021. Underwater noise pollution from shipping in the Arctic. Protection of the Arctic Marine Environment. PAME Secretariat, Akureyri. 68 p. Disponible à partir de <https://pame.is/document-library/pame-reports-new/pame-ministerial-deliverables/2021-12th-arctic-council-ministerial-meeting-reykjavik-iceland/787-underwater-noise-pollution-from-shipping-in-the-arctic/file>.
- Park, H., Yoshikawa, Y., Yang, D., et Oshima, K. 2017. Warming water in Arctic terrestrial rivers under climate change. *J. Hydrometeor.* 18: 1983–1995. doi:10.1175/JHM-D-16-0260.1.
- Park, H., Watanabe, E., Kim, Y., Polyakov, I., Oshima, K., Zhang, X., et al. 2020. Increasing riverine heat influx triggers Arctic sea ice decline and oceanic and atmospheric warming. *Sci. Adv.* 6: eabc4699. doi:10.1126/sciadv.abc4699.
- Parsons, M., Mitchell, I., Butler, A., Ratcliffe, N., Frederiksen, M., Foster, S., Reid, J.B. 2008. Seabirds as indicators of the marine environment. *ICES J. Mar. Sci.* 65: 520–526. doi:10.1093/icesjms/fsn155.
- Patterson, A., Gilchrist, H., Gaston, A., et Elliott, K. 2021. Northwest range shifts and shorter wintering period of an Arctic seabird in response to four decades of changing ocean climate. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 679: 163–179. doi:10.3354/meps13890.
- Pedersen, S., et Riget, F. 1993. Feeding habits of redfish (*Sebastes spp.*) and Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in West Greenland waters. *ICES J. Mar. Sci.* 50: 445–459. doi:10.1006/jmsc.1993.1048.
- Pedro, S., Lemire, M., Hoover, C., Saint-Béat, B., Janjua, M.Y., Herbig, J., et al. 2023. Structure and function of the western Baffin Bay coastal and shelf ecosystem. *Elem. Sci. Anthr.* 11: 00015. doi:10.1525/elementa.2022.00015.
- Peterson, I., Hamilton, J., Prinsenber, S., et Pettipas, R. 2012. Wind-forcing of volume transport through Lancaster Sound. *J. Geophys. Res. Ocean.* 117: C11018. doi:10.1029/2012JC008140.
- Pettitt-Wade, H., Pearce, T., Kuptana, D., Gallagher, C.P., Scharffenberg, K., Lea, E. V., et al. 2020. Inuit observations of a Tunicata bloom unusual for the Amundsen Gulf, western Canadian Arctic. *Arct. Sci.* 6: 340–351. doi:10.1139/as-2020-0018.

- Piepenburg, D., Archambault, P., Ambrose, W.G., Blanchard, A.L., Bluhm, B.A., Carroll, M.L., et al. 2011. Towards a pan-Arctic inventory of the species diversity of the macro- and megabenthic fauna of the Arctic shelf seas. *Mar. Biodivers.* 41: 51–70. doi:10.1007/s12526-010-0059-7.
- Pierrejean, M., Babb, D.G., Maps, F., Nozais, C., et Archambault, P. 2020a. Spatial distribution of epifaunal communities in the Hudson Bay system. *Elem. Sci. Anthr.* 8: 00044. doi:10.1525/elementa.00044.
- Pierrejean, M., Grant, C., Neves, B. de M., Chaillou, G., Edinger, E., Blanchet, F.G., et al. 2020b. Influence of deep-water corals and sponge gardens on infaunal community composition and ecosystem functioning in the Eastern Canadian Arctic. *Front. Mar. Sci.* 7: 495. doi:10.3389/fmars.2020.00495.
- Pirotta, E., New, L., et Marcoux, M. 2018. Modelling beluga habitat use and baseline exposure to shipping traffic to design effective protection against prospective industrialization in the Canadian Arctic. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 28: 713–722. doi:10.1002/aqc.2892.
- Polimene, L., Torres, R., Powley, H.R., Bedington, M., Juhls, B., Palmtag, J., et al. 2022. Biological lability of terrestrial DOM increases CO₂ outgassing across Arctic shelves. *Biogeochemistry.* 160: 289–300. doi:10.1007/s10533-022-00961-5.
- Pontbriand, T., Davoren, G., Fortune, S., Pomerleau, C., Young, B., et Ferguson, S. 2023. Differences in individual bowhead whale *Balaena mysticetus* habitat use, foraging dive depth and diet during the peak feeding season. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 706: 109–123. doi:10.3354/meps14238.
- Posdaljian, N., Soderstjerna, C., Jones, J.M., Solsona-Berga, A., Hildebrand, J.A., Westdal, K., Ootoowak, A., et Baumann-Pickering, S. 2022. Changes in sea ice and range expansion of sperm whales in the eclipse sound region of Baffin Bay, Canada. *Glob. Chang. Biol.* 28: 3860–3870. doi:10.1111/gcb.16166.
- Poulin, M., Daugbjerg, N., Gradinger, R., Ilyash, L., Ratkova, T., et von Quillfeldt, C. 2011. The pan-Arctic biodiversity of marine pelagic and sea-ice unicellular eukaryotes: a first-attempt assessment. *Mar. Biodivers.* 41: 13–28. doi:10.1007/s12526-010-0058-8.
- Priest, H., et Usher, P.J. 2004. The Nunavut wildlife harvest study: Final report. Iqaluit: Nunavut Wildlife Management Board. 816 p. Disponible à partir de <https://www.nwmb.com/inu/publications/harvest-study/1824-156-nwhs-report-2004-156-0003/file>.
- Proshutinsky, A.Y., et Johnson, M.A. 1997. Two circulation regimes of the wind-driven Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.: Oceans* 102: 12493–12514. doi:10.1029/97JC00738.

- Proshutinsky, A., Dukhovskoy, D., Timmermans, M.L., Krishfield, R., et Bamber, J.L. 2015. Arctic circulation regimes. *Phil. Trans. R. Soc. A.* 373: 20140160. doi:10.1098/rsta.2014.0160.
- Proshutinsky, A., Krishfield, R., et Timmermans, M.-L. 2019. Preface to special issue Forum for Arctic Ocean Modeling and Observational Synthesis (FAMOS) 2: Beaufort Gyre phenomenon. *J. Geophys. Res.: Oceans* 124: e2019JC015400. doi:10.1029/2019JC015400.
- Provencher, J.F., Ammendolia, J., Rochman, C.M., et Mallory, M.L. 2018. Assessing plastic debris in aquatic food webs: what we know and don't know about uptake and trophic transfer. *Environ. Rev.* 27: 304–317. doi:10.1139/er-2018-0079.
- Provencher, J.F., Malaisé, F., Mallory, M.L., Braune, B.M., Pirie-Dominix, L., et Lu, Z. 2022a. 44-Year retrospective analysis of ultraviolet absorbents and industrial antioxidants in seabird eggs from the Canadian Arctic (1975 to 2019). *Environ. Sci. Technol.* 56: 14562–14573. doi:10.1021/acs.est.2c05940.
- Provencher, J.F., Thomas, P.J., Braune, B.M., Pauli, B., Tomy, G., Idowu, I., et al. 2022b. Decadal differences in polycyclic aromatic compound (PAC) concentrations in two seabird species in Arctic Canada. *Sci. Total Environ.* 826: 154088. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2022.154088.
- Pučko, M., Dionne, K., et Michel, C. 2019. Occurrence of toxin-producing marine algae in the Canadian Arctic and adjacent waters. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3180: vii + 27 p.
- Pučko, M., Rourke, W., Hussherr, R., Archambault, P., Eert, J., Majewski, et al. 2023. Phycotoxins in bivalves from the western Canadian Arctic: The first evidence of toxicogenicity. *Harmful Algae.* 127: 102474. doi:10.1016/j.hal.2023.102474.
- Quakenbush, L.T., Suydam, R.S., Bryan, A.L., Lowry, L.F., Frost, K.J., et Mahoney, B.A. 2015. Diet of beluga whales, *Delphinapterus leucas*, in Alaska from stomach contents, March–November. *Mar. Fish. Rev.* 77: 70–84. doi:10.7755/MFR.77.1.7.
- Randelhoff, A., Oziel, L., Massicotte, P., Bécu, G., Galí, M., Lacour, L., et al. 2019. The evolution of light and vertical mixing across a phytoplankton ice-edge bloom. *Elem. Sci. Anthr.* 7: 20. doi:10.1525/elementa.357.
- Randelhoff, A., Holding, J., Janout, M., Sejr, M.K., Babin, M., Tremblay, J.-É., et al. 2020a. Pan-Arctic Ocean Primary Production Constrained by Turbulent Nitrate Fluxes. *Front. Mar. Sci.* 7: 00150. doi:10.3389/fmars.2020.00150.
- Randelhoff, A., Lacour, L., Marec, C., Leymarie, E., Lagunas, J., Xing, X., et al. 2020b. Arctic mid-winter phytoplankton growth revealed by autonomous profilers. *Sci. Adv.* 6: eabc2678. doi:10.1126/sciadv.abc2678.

- Rantanen, M., Karpechko, A.Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., et al. 2022. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun. Earth Environ.* 3: 168. doi:10.1038/s43247-022-00498-3.
- Ratajczak, Z., Carpenter, S.R., Ives, A.R., Kucharik, C.J., Ramiadantsoa, T., Stegner, M.A., Williams, W.J., Zhang, J., et Turner, M.G. 2018. Abrupt change in ecological systems: Inference and diagnosis. *Trends Ecol. Evol.* 33: 513–526. doi:10.1016/j.tree.2018.04.013.
- Reeves, R.R. 1998. Distribution, abundance and biology of ringed seals (*Phoca hispida*): An overview. *NAMMCO Sci. Pub.* 1: 9–45. doi:10.7557/3.2979.
- Reid, A.J., Eckert, L.E., Lane, J.F., Young, N., Hinch, S.G., Darimont, C.T., et al. 2021. “Two-Eyed Seeing”: An Indigenous framework to transform fisheries research and management. *Fish Fish.* 22: 243–261. doi:10.1111/faf.12516.
- Reinhart, N., Fortune, S., Richard, P., et Matthews, C. 2014. Rare sightings of white-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*) off south-eastern Baffin Island, Canada. *Mar. Biodivers. Rec.* 7: E121. doi:10.1017/S1755267214001031.
- Reist, J.D., Power, M., et Dempson, J.B. 2013. Arctic charr (*Salvelinus alpinus*): a case study of the importance of understanding biodiversity and taxonomic issues in northern fishes. *Biodiversity* 14: 45–56. doi:10.1080/14888386.2012.725338.
- Remnant, R.A. et T.M.L. 1992. Inuit Traditional Knowledge of the distribution and biology of high Arctic narwhal and beluga. Winnipeg, Manitoba: North/South Consultants Inc., Winnipeg; for the Canada/Greenland Joint Commission on the Conservation and Management of Narwhal and Beluga. vii + 96 p.
- Renaud, P.E., Riedel, A., Michel, C., Morata, N., Gosselin, M., Juul-Pedersen, T., et al. 2007. Seasonal variation in benthic community oxygen demand: A response to an ice algal bloom in the Beaufort Sea, Canadian Arctic? *J. Mar. Syst.* 67: 1–12. doi:10.1016/J.JMARSYS.2006.07.006.
- Ribeiro, S., Limoges, A., Massé, G., Johansen, K.L., Colgan, W., Weckström, K., et al. 2021. Vulnerability of the North Water ecosystem to climate change. *Nat. Commun.* 12: 4475. doi:10.1038/s41467-021-24742-0.
- Richard, P.R., Martin, A.R., et Orr, J.R. 2001. Summer and autumn movements of belugas of the eastern Beaufort Sea stock. *Arctic* 54: 223–236. doi:10.14430/arctic783.
- Rogalla, B., Allen, S.E., Colombo, M., Myers, P.G., et Orians, K.J. 2023. Continental and glacial runoff fingerprints in the Canadian Arctic Archipelago, the Inuit Nunangat Ocean. *J. Geophys. Res. Biogeosciences* 128: e2022JG007072. doi:10.1029/2022JG007072.

- Röhring, A., et Gailing, L. 2010. Path dependency and resilience – The example of landscape regions. *in* Müller, B. (ed) German annual of spatial research and policy 2010. Springer, Berlin, Heidelberg. 79–88 p. doi:10.1007/978-3-642-12785-4_8.
- Rontani, J.-F., Belt, S.T., Brown, T.A., Amiroux, R., Gosselin, M., Vaultier, F., et al. 2016. Monitoring abiotic degradation in sinking versus suspended Arctic sea ice algae during a spring ice melt using specific lipid oxidation tracers. *Org. Geochem.* 98: 82–97. doi:10.1016/j.orggeochem.2016.05.016.
- Rontani, J.-F., Lalande, C., Vilgrain, L., Vaultier, F., et Amiroux, R. 2022. Control of the preservation of sympagic algal material in surficial sediments of central and eastern Baffin Bay by bactericidal hydroperoxides and free fatty acids. *Mar. Chem.* 247: 104177. doi:10.1016/j.marchem.2022.104177.
- Rosenblum, E., Stroeve, J., Gille, S.T., Lique, C., Fajber, R., Tremblay, L.B., et al. 2022. Freshwater input and vertical mixing in the Canada Basin’s seasonal halocline: 1975 versus 2006–12. *J. Phys. Oceanogr.* 52: 1383–1396. doi:10.1175/JPO-D-21-0116.1.
- Roy, V., Iken, K., et Archambault, P. 2014. Environmental drivers of the Canadian Arctic megabenthic communities. *PLoS One.* 9: e100900. doi:10.1371/journal.pone.0100900.
- Roy, V., Iken, K., Gosselin, M., Tremblay, J.É., Bélanger, S., et Archambault, P. 2015a. Benthic faunal assimilation pathways and depth-related changes in food-web structure across the Canadian Arctic. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 102: 55–71. Pergamon. doi:10.1016/J.DSR.2015.04.009.
- Roy, V., Iken, K., et Archambault, P. 2015b. Regional variability of megabenthic community structure across the Canadian Arctic. *Arctic.* 68: 180. doi:10.14430/arctic4486.
- Saint-Béat, B., Fath, B.D., Aubry, C., Colombet, J., Dinasquet, J., Fortier, L., et al. 2020. Contrasting pelagic ecosystem functioning in eastern and western Baffin Bay revealed by trophic network modeling. *Elem. Sci. Anthr.* 8: 1. doi:10.1525/elementa.397.
- Saint-Béat, B., Darnis, G., Leclerc, M., Babin, M., et Maps, F. 2022. Same mesozooplankton functional groups, different functions in three Arctic marine ecosystems. *Funct. Ecol.* 36: 3161–3174. doi:10.1111/1365-2435.14179.
- Sallon, A., Michel, C., et Gosselin, M. 2011. Summertime primary production and carbon export in the southeastern Beaufort Sea during the low ice year of 2008. *Polar Biol.* 34: 1989–2005. doi:10.1007/s00300-011-1055-5.
- Samelson, R.M., Agnew, T., Melling, H., et Münchow, A. 2006. Evidence for atmospheric control of sea-ice motion through Nares Strait. *Geophys. Res. Lett.* 33: L02506. doi:10.1029/2005GL025016.

- Sampei, M., Fortier, L., Raimbault, P., Matsuno, K., Abe, Y., Quéguiner, B., et al. 2021. An estimation of the quantitative impacts of copepod grazing on an under sea-ice spring phytoplankton bloom in western Baffin Bay, Canadian arctic. *Elementa* 9: 00092. doi:10.1525/elementa.2019.00092.
- Schaefer, C.M., Deslauriers, D., et Jeffries, K.M. 2021. The truncate soft-shell clam, *Mya truncata*, as a biomonitor of municipal wastewater exposure and historical anthropogenic impacts in the Canadian Arctic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 79: 367–379. doi:10.1139/cjfas-2021-0078.
- Scharffenberg, K., Whalen, D., Marcoux, M., Iacozza, J., Davoren, G., et Loseto, L.L. 2019. Environmental drivers of beluga whale (*Delphinapterus leucas*) habitat use in the Mackenzie Estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 626: 209–226. doi: [10.3354/meps13011](https://doi.org/10.3354/meps13011).
- Scharffenberg K., Whalen, D., MacPhee, S., Marcoux, M., Iacozza, J., Davoren, G., et Loseto, L.L. 2020. Oceanographic, ecological, and socio-economic impacts of an unusual summer storm in the Mackenzie Estuary. *Arct. Sci.* 6: 62–76. doi: [10.1139/as-2018-0029](https://doi.org/10.1139/as-2018-0029).
- Scharffenberg, K.C., MacPhee, S.A., et Loseto, L.L. 2021. Upriver sightings of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) follow storm surges and high water in the Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada. *Arct. Sci.* 7: 679–689. doi:10.1139/as-2020-0010.
- Scharffenberg, K., MacPhee, S., Mouy, X., Whalen, D., et Loseto, L. 2023. Automated detection of beluga vocalizations in Kugmallit Bay in 2019. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, in press.
- Scheifele, B., Waterman, S., et Carpenter, J.R. 2021. Turbulence and Mixing in the Arctic Ocean's Amundsen Gulf. *J. Phys. Oceanogr.* 51: 169–186. doi:10.1175/JPO-D-20-0057.1.
- Schmid, M.S., et Fortier, L. 2019. The intriguing co-distribution of the copepods *Calanus hyperboreus* and *Calanus glacialis* in the subsurface chlorophyll maximum of Arctic seas. *Elem. Sci. Anthr.* 7: 50. doi:10.1525/elementa.388.
- Schott, S., Qitsualik, J., Van Coeverden de Groot, P., Okpakok, S., Chapman, J.M., Lougheed, S., et al. 2020. Operationalizing knowledge coevolution: Towards a sustainable fishery for Nunavummiut. *Arct. Sci.* 6: 208–228. doi:10.1139/as-2019-0011.
- Semiletov, I., Makshtas, A., Akasofu, S.-I., et L Andreas, E. 2004. Atmospheric CO₂ balance: The role of Arctic sea ice. *Geophys. Res. Lett.* 31: L05121. doi:10.1029/2003GL017996.
- Senay, C., Ouellette-Plante, J., Bourdages, H., Bermingham, T., Gauthier, J., Parent, G., Chabot, D., et Duplisea, D. 2021. État des stocks de sébaste (*Sebastes mentella* et *S. fasciatus*) de l'unité 1 en 2019 et mise à jour des informations sur la structure de la population, la biologie, l'écologie et les fermetures de pêche actuelles. *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech.* 2021/015. xii + 127 p.

- Serreze, M.C., et Barry, R.G. 2011. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. *Glob. Planet. Change* 77: 85–96. doi:10.1016/j.gloplacha.2011.03.004.
- Seyer, Y., Gauthier, G., Bêty, J., Therrien, J., et Lecomte, N. 2021. Seasonal variations in migration strategy of a long distance Arctic-breeding seabird. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 677: 1–16. doi:10.3354/meps13905.
- Sharma, R., Loseto, L., Ostertag, S., Tomaselli, M., Bredtmann, M., Crill, C., et al. 2018. Qualitative risk assessment of impact of *Toxoplasma gondii* on health of beluga whales, *Delphinapterus leucas* from the Eastern Beaufort Sea, Northwest Territories. *Arct. Sci.* 4: 321–337. doi: [10.1139/as-2017-0037](https://doi.org/10.1139/as-2017-0037).
- Shrestha, R., Pesklevits, J., Yang, D., Peters, D., et Dibike, Y. 2021. Climatic controls on mean and extreme streamflow changes across the permafrost region of Canada. *Water*. 13: 626. doi:10.3390/w13050626.
- Shuert, C.R., Marcoux, M., Hussey, N.E., Heide-Jørgensen, M.P., Dietz, R., et Auger-Méthé, M. 2022. Decadal migration phenology of a long-lived Arctic icon keeps pace with climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 119. doi:10.1073/pnas.2121092119.
- Shuert, C.R., Hussey, N.E., Marcoux, M., Heide-Jørgensen, M.P., Dietz, R., et Auger-Méthé, M. 2023. Divergent migration routes reveal contrasting energy-minimization strategies to deal with differing resource predictability. *Mov. Ecol.* 11: 31. doi:10.1186/s40462-023-00397-y.
- Siferd, T. 2010. By-catch in the shrimp fishery from Shrimp Fishing Areas 0-3, 1979 to 2009. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2010/037. vi + 77 p.
- Simon, M., Johnson, M., Tyack, P., et Madsen, P. 2009. Behaviour and kinematics of continuous ram filtration in bowhead whales (*Balaena mysticetus*). *Proc. R. Soc. B.* 276: 3819–3828. doi: [10.1098/rspb.2009.1135](https://doi.org/10.1098/rspb.2009.1135).
- Smith, T.G., St. Aubin, D.J., et Hammill, M.O. 1992. Rubbing behaviour of belugas, *Delphinapterus leucas*, in a high Arctic estuary. *Can. J. Zool.* 70: 2405–2409. doi:10.1139/z92-322.
- Smith, R., Hitkolok, E., Loewen, T., Dumond, A., Kristensen, K., et Swanson, H. 2022. Overwintering ecology and movement of anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*) in a large, ice-covered river in the Canadian Arctic. *J. Fish Biol.* 100: 1432–1446. doi:10.1111/jfb.15054.
- Solomon, A., Heuzé, C., Rabe, B., Bacon, S., Bertino, L., Heimbach, P., et al. 2021. Freshwater in the Arctic Ocean 2010–2019. *Ocean Sci.* 17: 1081–1102. doi:10.5194/os-17-1081-2021.
- Sora, K.J., Wabnitz, C.C.C., Steiner, N.S., Sumaila, U.R., Cheung, W.W.L., Niemi, A., et al. 2022. Evaluation of the Beaufort Sea shelf structure and function in support of the Tarium Niryutait Marine Protected Area. *Arct. Sci.* 8: 1252–1275. doi:10.1139/as-2020-0040.

- Spares, A.D., Stokesbury, M.J.W., O'Dor, R.K., et Dick, T.A. 2012. Temperature, salinity and prey availability shape the marine migration of Arctic char, *Salvelinus alpinus*, in a macrotidal estuary. *Mar. Biol.* 159: 1633–1646. doi:10.1007/s00227-012-1949-y.
- Sprules, W.M. 1952. The Arctic char of the West Coast of Hudson Bay. *J. Fish. Res. Board Canada* 9: 1–15. doi:10.1139/f52-001
- St. Aubin, D.J., Smith T.G., et Geraci J.R. 1990. Seasonal epidermal moult in beluga whales, *Delphinapterus leucas*. *Can. J. Zool.* 68: 359–364. doi:10.1139/z90-05.
- Stafford, K.M., Ferguson, M.C., Hauser, D.D.W., Okkonen, S.R., Berchok, C.L., Citta, et al. 2018. Beluga whales in the western Beaufort Sea: current state of knowledge on timing, distribution, habitat use and environmental drivers. *Deep Sea Res.* 152: 182–194. doi:10.1016/j.dsr2.2016.11.017.
- Stanley, R.H.R., Sandwith, Z.O., et Williams, W.J. 2015. Rates of summertime biological productivity in the Beaufort Gyre: A comparison between the low and record-low ice conditions of August 2011 and 2012. *J. Mar. Sys.* 147: 29–44. doi:10.1016/j.jmarsys.2014.04.006.
- Starko, S., Wilkinson, D.P., et Bringloe, T.T. 2021. Recent global model underestimates the true extent of Arctic kelp habitat. *Biol. Cons.* 257: 109082. doi:10.1016/j.biocon.2021.109082.
- Stasko, A., Bluhm, B., Michel, C., Archambault, P., Majewski, A., Reist, J., et al. 2018. Benthic-pelagic trophic coupling in an Arctic marine food web along vertical water mass and organic matter gradients. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 594: 1–19. doi:10.3354/meps12582.
- Steele, M., Ermold, W., et Zhang, J. 2008. Arctic Ocean surface warming trends over the past 100 years. *Geophys. Res. Lett.*, 35: L02614. doi:10.1029/2007GL031651.
- Stewart, R.E.A., et Hamilton, J.W. 2013. Estimating total allowable removals for walrus (*Odobenus rosmarus rosmarus*) in Nunavut using the potential biological removal approach. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2013/031: iv + 13 p.
- Stocki, T. J., Gamberg, M., Loseto, L., Pellerin, E., Bergman, L., Mercier, J. F., et al. 2016. Measurements of cesium in Arctic beluga and caribou before and after the Fukushima accident of 2011. *J. Envi. Rad.* 162-163: 379–387. doi:10.1016/j.jenvrad.2016.05.023.
- Storrie, L., Hussey, N.E., MacPhee, S.A., O’Corry-Crowe, G., Iacozza, J., Barber, D.G., et al. 2022a. Year-round dive characteristics of male beluga whales from the Eastern Beaufort Sea population indicate seasonal shifts in foraging strategies. *Front. Mar. Sci.* 8: 715412. doi:10.3389/fmars.2021.715412.
- Storrie, L., Hussey, N.E., MacPhee, S.A., O’Corry-Crowe, G., Iacozza, J., Barber, D.G., et al. 2022b. Empirically testing the influence of light regime on diel activity patterns in a marine

- predator reveals complex interacting factors shaping behaviour. *Funct. Ecol.* 36: 2727–2741. doi:10.1111/1365-2435.14172.
- Stroski, K.M., Luong, K.H., Challis, J.K., Chaves-Barquero, L.G., Hanson, M.L., et Wong, C.S. 2020. Wastewater sources of per- and polyfluorinated alkyl substances (PFAS) and pharmaceuticals in four Canadian Arctic communities. *Sci. Total Environ.* 708: 134494. Elsevier. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2019.134494.
- Sumata, H., de Steur, L., Divine, D.V., Granskog, M.A., et Gerland, S. 2023. Regime shift in Arctic Ocean sea ice thickness. *Nature.* 615: 443–449. doi:10.1038/s41586-022-05686-x.
- Tallman, R.F., et Marcoux, M. 2021. Review of the ecosystem approach in Cumberland Sound, Nunavut, Canada. *Arct. Sci.* 7: 376–393. doi:10.1139/as-2019-0035.
- Tallman, R.F., Zhu, X., Janjua, Y., Toyne, M., Roux, M.-J., Harris, L., et al. 2013. Data limited assessment of selected North American anadromous charr stocks. *J. Ichthyol.* 53: 867–874. doi:10.1134/S0032945213100123.
- Tallman, R.F., Roux, M.-J., et Martin, Z.A. 2019. Governance and assessment of small-scale data-limited Arctic Charr fisheries using productivity-susceptibility analysis coupled with life history invariant models. *Mar. Policy* 101: 187–197. doi:10.1016/j.marpol.2017.11.032.
- Tanski, G., Bröder, L., Wagner, D., Knoblauch, C., Lantuit, H., Beer, C., et al. 2021. Permafrost carbon and CO₂ pathways differ at contrasting coastal erosion sites in the Canadian Arctic. *Front. Earth Sci.* 9: 630493. doi:10.3389/feart.2021.630493.
- Teagle, H., Hawkins, S.J., Moore, P.J., et Smale, D.A. 2017. The role of kelp species as biogenic habitat formers in coastal marine ecosystems. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 492: 81–98. doi:10.1016/j.jembe.2017.01.017.
- Terhaar, J., Orr, J.C., Ethé, C., Regnier, P., et Bopp, L. 2019. Simulated Arctic Ocean response to doubling of riverine carbon and nutrient delivery. *Global Biogeochem. Cycl.* 33: 1048–1070. doi:10.1029/2019GB006200.
- Terhaar, J., Lauerwald, R., Regnier, P., Gruber, N., et Bopp, L. 2021. Around one third of current Arctic Ocean primary production sustained by rivers and coastal erosion. *Nat. Commun.* 12: 169. doi:10.1038/s41467-020-20470-z.
- Tervo, O.M., Blackwell, S.B., Ditlevsen, S., Conrad, A.S., Samson, A.L., Garde, E., et al. 2021. Narwhals react to ship noise and airgun pulses embedded in background noise. *Biol. Lett.* 17: 20210220. doi:10.1098/rsbl.2021.0220.
- Thompson, D.W.J., Wallace, J.M., et Hegerl, G.C. 2000: Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part II: Trends. *J. Climate.* 13: 1018–1036. doi:10.1175/1520-0442(2000)013<1018:AMITEC>2.0.CO;2.

- Timmermans, M.-L., et Toole, J.M. 2023. The Arctic Ocean's Beaufort Gyre. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 15: 223–248. doi:10.1146/annurev-marine-032122-012034.
- Timmermans, M.-L., Marshall, J., Proshutinsky, A., et Scott, J. 2017. Seasonally derived components of the Canada Basin halocline. *Geophys. Res. Lett.* 44: 5008–5015. doi:10.1002/2017GL073042.
- Timmermans, M.-L., Toole, J., et Krishfield, R. 2018. Warming of the interior Arctic Ocean linked to sea ice losses at the basin margins. *Sci. Adv.* 4: eaat677. doi:10.1126/sciadv.aat6773.
- Tomaselli, M., Henri, D., Hto, P., Hto, M., Akavak, N., Kanayuk, Det al. 2022. Nunavut Inuit Qaujimajatuqangit on the health of the Davis Strait polar bear population. Final project report-2022. 117 p. Disponible à partir de <https://www.nwmb.com/en/conservation-education/list-all-documents/docs-for-articles/inuit-qaujimajatuqangit-documents/9383-nunavut-iq-polar-bear-report-davis-strait-june-2022-eng/file>
- Tompkins, G., Baker, E., Anstey, L., Walkusz, W., Siferd, T., et Kenchington, E. 2017. Sponges from the 2010-2014 Paamiut Multispecies Trawl Surveys, Eastern Arctic and Subarctic: Class Demospongiae, Subclass Heteroscleromorpha, Order Poecilosclerida, Family Coelosphaeridae, Genera Forcepia and Lissodendoryx. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3224: v + 129 p.
- Toullec, J., Moriceau, B., Vincent, D., Guidi, L., Lafond, A., et Babin, M. 2021. Processes controlling aggregate formation and distribution during the Arctic phytoplankton spring bloom in Baffin Bay. *Elem. Sci. Anthr.* 9: 1. doi:10.1525/elementa.2021.00001.
- Transport Canada. 2019. Development of measures to reduce risks of use and carriage of heavy fuel oil as fuel by ships in Arctic waters. Sub-Committee on Pollution Prevention and Response, PPR 7/INF.X, 21 p. Disponible à partir de https://tc.canada.ca/sites/default/files/migrated/imo_hfo_submission_december_2019_accessible.pdf
- Treble, M.A., Nogueira, A. et Hedges, K.J. 2022. Assessment of the Greenland Halibut Stock Component in NAFO Subarea 0 + 1 (offshore). NAFO SCR Doc. 22/022, Serial No. N7295: 33 p. Disponible à partir de <https://www.nafo.int/Portals/0/PDFs/sc/2020/scr20-038REV2.pdf>
- Trenberth, K.E., et Hurrell, J.W. 1994. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Clim. Dynam.* 9: 303–319. doi:10.1007/BF00204745.
- Trudnowska, E., Lacour, L., Ardyna, M., Rogge, A., Irisson, J.O., Waite, A.M., et al. 2021. Marine snow morphology illuminates the evolution of phytoplankton blooms and determines their subsequent vertical export. *Nat. Commun.* 12: 2816. doi:10.1038/s41467-021-22994-4.

- Turner, J.T. 2015. Zooplankton fecal pellets, marine snow, phytodetritus and the ocean's biological pump. *Prog. Oceanogr.* 130: 205–248. doi:10.1016/J.POCEAN.2014.08.005.
- Ulrich, K.L., et Tallman, R.F. 2021. The capelin invasion: Evidence for a trophic shift in Arctic char populations from the Cumberland Sound region, Nunavut, Canada. *Arct. Sci.* 7: 413–435. doi:10.1139/as-2020-0001.
- Van Buskirk, J., Mulvihill, R.S., et Leberman, R.C. 2009. Variable shifts in spring and autumn migration phenology in North American songbirds associated with climate change. *Glob. Chang. Biol.* 15: 760–771. doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01751.x.
- van Luijk, N., Dawson, J., et Cook, A. 2020. Analysis of heavy fuel oil use by ships operating in Canadian Arctic waters from 2010 to 2018. *FACETS* 5: 304–327. doi:10.1139/facets-2019-0067.
- Ver Hoef, J.M., Cameron, M.F., Boveng, P.L., London, J.M., et Moreland, E.E. 2014. A spatial hierarchical model for abundance of three ice-associated seal species in the Eastern Bering Sea. *Stat. Method.* 17: 46–66. doi:0.1016/j.stamet.2013.03.001.
- Vérin, G., Domine, F., Babin, M., Picard, G., et Arnaud, L. 2022. Metamorphism of snow on Arctic sea ice during the melt season: impact on spectral albedo and radiative fluxes through snow. *Cryosphere* 16: 3431–3449. doi:10.5194/tc-16-3431-2022.
- Vilgrain, L., Maps, F., Picheral, M., Babin, M., Aubry, C., Irisson, J., et al. 2021. Trait-based approach using in situ copepod images reveals contrasting ecological patterns across an Arctic ice melt zone. *Limnol. Oceanogr.* 66: 1155–1167. doi:10.1002/lno.11672.
- Vincent, R.F. 2019. A study of the North Water Polynya Ice Arch using four decades of satellite data. *Sci. Rep.* 9: 20278. doi:10.1038/s41598-019-56780-6.
- Vincent, R.F. 2020. An examination of the non-formation of the North Water polynya ice arch. *Remote Sens.* 12: 2712. doi:10.3390/rs12172712.
- Vincent, R.F. 2023. An assessment of the Lancaster Sound Polynya using satellite data 1979 to 2022. *Remote Sens.* 15: 954. doi:10.3390/rs15040954.
- Von Friesen, L.W., et Riemann, L. 2020. Nitrogen fixation in a changing Arctic Ocean: An overlooked source of nitrogen? *Front. Microbiol.* 11: 596426. doi:10.3389/fmicb.2020.596426.
- Von Schuckmann, K., Cheng, L., Palmer, M.D., Hansen, J., Tassone, C., Aich, V., et al. 2020. Heat stored in the Earth system: Where does the energy go? *Earth Syst. Sci. Data.* 12: 2013–2041. doi:10.5194/essd-12-2013-2020.

- Wang, J., Zhang, J., Watanabe, E., Ikeda, M., Mizobata, K., Walsh, J. E., Bai, X., et Wu, B. 2009. Is the Dipole Anomaly a major driver to record lows in Arctic summer sea ice extent? *Geophys. Res. Lett.* 36: L05706. doi:10.1029/2008GL036706.
- Wanninkhof, R., Park, G.H., Takahashi, T., Sweeney, C., Feely, R., Nojiri, Y., et al. 2013. Global ocean carbon uptake: magnitude, variability and trends. *Biogeosci.* 10: 1983–2000. doi:10.5194/bg-10-1983-2013.
- Wassmann, P., et Reigstad, M. 2011. Future Arctic Ocean Seasonal Ice Zones and Implications for Pelagic-Benthic Coupling. *Oceanography* 24: 220–231. doi:10.5670/oceanog.2011.74.
- Wassmann, P., Krause-Jensen, D., Bluhm, B.A., et Janout, M. 2021. Editorial: Towards a unifying pan-arctic perspective of the contemporary and future Arctic Ocean. *Front. Mar. Sci.* 8: 678420. doi:10.3389/fmars.2021.678420.
- Watt, C.A., Orr, J., LeBlanc, B., Richard, P., et Ferguson, S.H. 2012. Satellite tracking of narwhals (*Monodon monoceros*) from Admiralty Inlet (2009) and Eclipse Sound (2010-2011). *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2012/046. iii + 17 p.
- Watt, C.A., Orr, J.R., et Ferguson, S.H. 2016. A shift in foraging behaviour of beluga whales *Delphinapterus leucas* from the threatened Cumberland Sound population may reflect a changing Arctic food web. *Endang. Species Res.* 31: 259–270. doi:10.3354/esr00768.
- Watt, C.A., Orr, J.R., et Ferguson, S.H. 2017. Spatial distribution of narwhal (*Monodon monoceros*) diving for Canadian populations helps identify important seasonal foraging areas. *Can. J. Zool.* 85: 41–50. doi:10.1139/cjz-2016-0178.
- Watt, C.A., Stewart, B.E., Loseto, L., Halldorson, T., et Ferguson, S.H. 2020. Estimating narwhal (*Monodon monoceros*) age using tooth layers and aspartic acid racemization of eye lens nuclei. *Mar. Mammal Sci.* 36: 103–115. doi:10.1111/mms.12623.
- Watt, C.A., Simonee, J., L’Herault, V., Zhou, R., Ferguson, S.H., Marcoux, M., et al. 2021a. Cortisol levels in narwhal (*Monodon monoceros*) blubber from 2000 to 2019. *Arct. Sci.* 7: 690–698. doi:10.1139/as-2020-0034.
- Watt C. A., Marcoux M. M., Ferguson S. H., Hammill M. O., et Matthews C. J. D. 2021b. Population dynamics of the threatened Cumberland sound beluga (*Delphinapterus leucas*) population. *Arctic Sci.* 7: 545–566. doi:10.1139/as-2019-0030
- Waugh, D., Pearce, T., Ostertag, S. K., Pokiak, V., Collings, P., et Loseto, L.L. 2018. Inuvialuit traditional ecological knowledge of beluga whale (*Delphinapterus leucas*) under changing climatic conditions in Tuktoyaktuk, NT. *Arct. Sci.* 4: 242–258. doi:10.1139/as-2017-0034.
- Wei, C., Cusson, M., Archambault, P., Belley, R., Brown, T., Burd, B.J., et al. 2020. Seafloor biodiversity of Canada’s three oceans: Patterns, hotspots and potential drivers. *Divers. Distrib.* 26: 226–241. doi:10.1111/ddi.13013.

- Westdal, K.H., Davies, J., et Ferguson, S.H. 2022. Assessing seasonal spatial segregation by age class of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in Western Hudson Bay estuaries. PLoS One 17: e0255756. doi:10.1371/journal.pone.0255756.
- Westdal, K.H., Richard, P.R., Sportelli, J., Gillis, E., et Ferguson, S.H. 2023. Beluga whale (*Delphinapterus leucas*) behaviour in the presence of whale-watching vessels. Front. Mar. Sci. 9: 891003. doi:10.3389/fmars.2022.891003.
- Whalen, D., Loseto, L.L, Hornby, C.A., Harwood, L., et Hansen-Craik, K. 2019. Mapping and understanding the role of seabed morphology with respect to beluga whale hotspots in the Mackenzie Estuary, NT. Estuaries and Coasts. 43: 161–173. doi:10.1007/s12237-019-00653-8.
- Wheeler, H.C., et Root-Bernstein, M. 2020. Informing decision-making with Indigenous and local knowledge and science. 57: 1634–1643. doi:10.1111/1365-2664.13734.
- Wheeler, H.C., Danielsen, F., Fidel, M., Hausner, V., Horstkotte, T., Johnson, N., et al. 2020. The need for transformative changes in the use of Indigenous knowledge along with science for environmental decision-making in the Arctic. People Nat. 2: 544–556. doi:10.1002/pan3.10131.
- Wilson, K.L., Skinner, M.A., et Lotze, H.K. 2019. Projected 21st-century distribution of canopy-forming seaweeds in the Northwest Atlantic with climate change. Divers. Distrib. 25: 582–602. doi:10.1111/ddi.12897.
- Wong, J., Lisovski, S., Alisauskas, R., English, W., Giroux, M., Harrison, A., et al. 2021. Arctic terns from circumpolar breeding colonies share common migratory routes. Mar. Ecol. Prog. Ser. 671: 191–206. doi:10.3354/meps13779.
- Woodgate, R.A. 2018. Increases in the Pacific inflow to the Arctic from 1990 to 2015, and insights into seasonal trends and driving mechanisms from year-round Bering Strait mooring data. Prog. Oceanogr. 160: 124–154. doi:10.1016/j.pocean.2017.12.007.
- Woosley, R.J., et Millero, F.J. 2020. Freshening of the western Arctic negates anthropogenic carbon uptake potential. Limnol. Oceanogr. 65: 1834–1846. doi:10.1002/lno.11421.
- Worden, E. 2018. “Everything is changing so much”: Community perspectives on the declining beluga whale harvest in Aklavik, NT. Thesis (M.Sc.) University of Manitoba, Winnipeg, MB. viii + 188 p.
- Worden, E., Pearce, T., Gruben, M., Ross, D., Kowana, C., et Loseto, L. 2020. Social-ecological changes and implications for understanding the declining beluga whale (*Delphinapterus leucas*) harvest in Aklavik, Northwest Territories. Arct. Sci. 6: 229–246. doi:10.1139/as-2019-0027.

- Yasunaka, S., Murata, A., Watanabe, E., Chierici, M., Fransson, A., van Heuven, S., et al. 2016. Mapping of the air–sea CO₂ flux in the Arctic Ocean and its adjacent seas: Basin-wide distribution and seasonal to interannual variability. *Polar Sci.* 10: 323–334. doi:10.1016/j.polar.2016.03.006.
- Yasunaka, S., Siswanto, E., Olsen, A., Hoppema, M., Watanabe, E., Fransson, A., et al. 2018. Arctic Ocean CO₂ uptake: An improved multiyear estimate of the air-sea CO₂ flux incorporating chlorophyll a concentrations. *Biogeosci.* 15: 1643–1661. doi:10.5194/bg-15-1643-2018.
- Yau, S., Lopes dos Santos, A., Eikrem, W., G erikas Ribeiro, C., Gourvil, P., Balzano, S., et al. 2020. *Mantiella beaufortii* and *Mantiella baffinensis* sp. nov. (*Mamiellales*, *Mamiellophyceae*), two new green algal species from the high arctic. *J. Phycol.* 56: 37–51. doi:10.1111/jpy.12932.
- York, J., Dowsley, M., Cornwell, A., Kuc, M., et Taylor, M. 2016. Demographic and traditional knowledge perspectives on the current status of Canadian polar bear subpopulations. *Ecol. Evol.* 6: 2897–2924. doi:10.1002/ece3.2030.
- Yunda-Guarin, G., Brown, T.A., Michel, L.N., Saint-B eat, B., Amiraux, R., Nozais, C., et al. 2020. Reliance of deep-sea benthic macrofauna on ice-derived organic matter highlighted by multiple trophic markers during spring in Baffin Bay, Canadian Arctic. *Elem. Sci. Anthr.* 8: 047. doi:10.1525/elementa.2020.047.
- Yurkowski, D.J., Hussey, N.E., Ferguson, S.H., et Fisk, A.T. 2018. A temporal shift in trophic diversity among a predator assemblage in a warming Arctic. *R. Soc. Open Sci.* 5: 180259. doi:10.1098/rsos.180259.
- Yurkowski, D.J., Brown, T.A., Blanchfield, P.J., et Ferguson, S.H. 2020. Atlantic walrus signal latitudinal differences in the long-term decline of sea ice-derived carbon to benthic fauna in the Canadian Arctic. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 287: 20202126. doi:10.1098/rspb.2020.2126.
- Zahn, M., Akperov, M., Rinke, A., Feser, F., et Mokhov, I.I. 2018. Trends of cyclone characteristics in the Arctic and their patterns from different reanalysis data. *J. Geophys. Res. Atmos.* 123: 2737–2751. doi:10.1002/2017JD027439.
- Zeidan, S., Walker, J., Else, B.G.T., Miller, L.A., Azetsu-Scott, K., et Walker, B.D. 2022. Using radiocarbon measurements of dissolved inorganic carbon to determine a revised residence time for deep Baffin Bay. *Front. Mar. Sci.* 9: 845536. doi:10.3389/fmars.2022.845536.
- Zhang, M., Perrie, W., et Long, Z. 2019. Springtime North Pacific Oscillation and summer sea ice in the Beaufort sea. *Clim. Dyn.* 53: 671–686. doi:10.1007/s00382-019-04627-1.
- Zhang, Y., Yamamoto-Kawai, M., et Williams, W.J. 2020. Two decades of ocean acidification in

the surface waters of the Beaufort Gyre, Arctic Ocean: effects of sea ice melt and retreat from 1997–2016. *Geophys. Res. Lett.* 47: e60119. doi:10.1029/2019gl086421.