



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2022/036

Région du Centre et de l'Arctique

Indicateurs et stratégies possibles de surveillance écologique pour la zone de protection marine d'Anguniaqvia niqiqyuam et résumé des renseignements disponibles

Ashley Ehrman, Lisa Loseto, Monika Pućko, Humfrey Melling, Christine Michel, Jim Reist, Darcy McNicholl et Karen Dunmall

Institut des eaux douces
Pêches et Océans Canada
501 University Crescent
Winnipeg (Manitoba) R3T 2N6

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

[http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2022
ISSN 2292-4272
ISBN 978--0-660-43621-0 N° cat. Fs70-5/2022-036F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Ehrman, A., Loseto, L., Pućko, M., Melling, H., Michel, C., Reist, J., McNicholl, D. et Dunmall, K. 2022. Indicateurs et stratégies possibles de surveillance écologique pour la zone de protection marine d'Anguniaqvia niqiqyuam et résumé des renseignements disponibles. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/036. vii + 175 p.

Also available in English:

Ehrman, A., Loseto, L., Pućko, M., Melling, H., Michel, C., Reist, J., McNicholl, D., and Dunmall, K. 2022. Potential ecological monitoring indicators and strategies for the Anguniaqvia niqiqyuam Marine Protected Area and a synopsis of available information. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/036. vii + 148 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	vi
SIGLES	vii
1. INTRODUCTION	1
2. DESCRIPTION DE LA ZPMAN	6
3. PRINCIPAUX FACTEURS À CONSIDÉRER POUR UNE MISE EN ŒUVRE RÉUSSIE	7
3.1. INCLUSION DU SAVOIR AUTOCHTONE.....	7
3.2. CONSIDÉRATIONS SCIENTIFIQUES	7
4. SÉLECTION DES INDICATEURS.....	9
4.1. CRITÈRES LIÉS AUX INDICATEURS.....	9
4.2. PROCESSUS DE SÉLECTION	9
4.3. CONCEPT DES TROIS NIVEAUX D'INDICATEURS.....	10
4.4. INTÉGRATION AVEC LE RÉSEAU D'AIRES MARINES PROTÉGÉES.....	13
5. INDICATEURS LIÉS AU CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	13
5.1. PARAMÈTRES OCÉANOGRAPHIQUES FONDAMENTAUX ET CONCENTRATIONS DE NUTRIMENTS.....	13
5.1.1. Renseignements disponibles	15
5.1.2. Stratégies et application.....	21
5.2. STRUCTURE DE LA GLACE, ÉPAISSEUR DE LA NEIGE ET DE LA GLACE ET MOMENT DE LA DÉBÂCLE ET DE L'ENGLACEMENT	24
5.2.1. Renseignements disponibles	25
5.2.2. Stratégies et application.....	29
5.3. RÉPARTITION DE L'HABITAT BENTHIQUE	31
5.3.1. Renseignements disponibles	32
5.3.2. Stratégies et application.....	34
5.4. CHANGEMENTS CÔTIERS	36
5.4.1. Renseignements disponibles	37
5.4.2. Stratégies et application.....	38
5.5. APPORTS D'EAU DOUCE ET LIENS TERRESTRES	39
5.5.1. Renseignements disponibles	40
5.5.2. Stratégies et application.....	40
6. INDICATEURS LIÉS À L'INTÉGRITÉ BIOLOGIQUE ET DU RÉSEAU TROPHIQUE.....	41
6.1. LIENS TROPHIQUES ET TRANSFERT D'ÉNERGIE	41
6.1.1. Renseignements disponibles	43
6.1.2. Stratégies et application.....	48
6.2. PRODUCTEURS PRIMAIRES ASSOCIÉS À LA GLACE, VIVANT SOUS LA GLACE ET VIVANT EN EAU LIBRE.....	51
6.2.1. Renseignements disponibles	53
6.2.2. Stratégies et application.....	54
6.3. COMPOSITION, STRUCTURE ET FONCTION DE LA COMMUNAUTÉ DE ZOOPLANCTON.....	56

6.3.1. Renseignements disponibles	57
6.3.2. Stratégies et application	59
6.4. COMPOSITION, STRUCTURE ET FONCTION DE LA COMMUNAUTÉ D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES	61
6.4.1. Renseignements disponibles	62
6.4.2. Stratégies et application	66
6.5. COMPOSITION, STRUCTURE ET FONCTION DE LA COMMUNAUTÉ DE POISSONS HAUTURIERS	68
6.5.1. Renseignements disponibles	69
6.5.2. Stratégies et application	70
6.6. COMPOSITION, STRUCTURE ET FONCTION DE LA COMMUNAUTÉ DE POISSONS CÔTIERS	72
6.6.1. Renseignements disponibles	73
6.6.2. Stratégies et application	76
6.7. ABONDANCE ET BIOMASSE RELATIVES DES PRINCIPAUX POISSONS-PROIES .	78
6.7.1. Renseignements disponibles	79
6.7.2. Stratégies et application	80
6.8. ABONDANCE RELATIVE, UTILISATION DE L'HABITAT ET STRUCTURE DES POPULATIONS DE POISSONS ANADROMES	81
6.8.1. Renseignements disponibles	83
6.8.2. Stratégies et application	84
6.9. PRÉSENCE ET MOMENT DE L'ARRIVÉE D'ESPÈCES POTENTIELLEMENT COLONISATRICES.....	85
6.9.1. Renseignements disponibles	86
6.9.2. Stratégies et application	87
6.10. PRÉSENCE ET ABSENCE D'OISEAUX DE MER ET DE LEURS PROIES	88
6.10.1. Renseignements disponibles	89
6.10.2. Stratégies et application	89
6.11. PRÉSENCE/ABSENCE, MOMENT DE L'ARRIVÉE/DU DÉPART, UTILISATION DE L'HABITAT ET COMPOSITION DES GROUPES DE MAMMIFÈRES MARINS	90
6.11.1. Renseignements disponibles	92
6.11.2. Stratégies et application	96
7. INDICATEURS LIÉS AUX AGENTS DE STRESS ET AUX MENACES.....	97
7.1. BRUIT SOUS-MARIN D'ORIGINE ANTHROPIQUE.....	97
7.1.1. Renseignements disponibles	98
7.1.2. Stratégies et application	98
7.2. CONCENTRATIONS DE CONTAMINANTS DANS L'ENVIRONNEMENT ET CHEZ LES MAMMIFÈRES MARINS	99
7.2.1. Renseignements disponibles	101
7.2.2. Stratégies et application	103
7.3. AUTRES CONSIDÉRATIONS RELATIVES AUX MENACES	104
8. ÉVÉNEMENTS ÉCOLOGIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX INHABITUELS.....	105
9. CONNECTIVITÉ ENTRE LES INDICATEURS ET LES PROGRAMMES	105

10. PRINCIPALES SYNERGIES ET ÉCONOMIES POUR LES PROGRAMMES D'ÉCHANTILLONNAGE	106
REMERCIEMENTS	108
RÉFÉRENCES CITÉES	108
ANNEXE A. PRIORITÉS DE SURVEILLANCE FOURNIES PAR LE GROUPE DE TRAVAIL SUR LA ZPMAN	133
ANNEXE B. BIBLIOGRAPHIE ANNOTÉE DES SOURCES PUBLIÉES DE CONNAISSANCES AUTOCHTONES CONSULTÉES POUR CETTE ÉTUDE.....	135
ANNEXE C. PRINCIPAUX PARAMÈTRES DE SURVEILLANCE POUR CHAQUE INDICATEUR RECOMMANDÉ.....	137
ANNEXE D. PROGRAMMES DE RECHERCHE ET DE SURVEILLANCE MENTIONNÉS DANS LE TEXTE	171

RÉSUMÉ

En 2016, la zone de protection marine d'Anguniaqvia niqiqyuam (ZPMAN) est devenue la deuxième zone de protection marine désignée dans les eaux canadiennes de l'Arctique en vertu de la *Loi sur les océans*. La ZPMAN englobe l'habitat marin de la côte ouest de la baie Darnley, près de la collectivité de Paulatuk (Territoires du Nord-Ouest), dans la région désignée des Inuvialuit. Des indicateurs écologiques servant à évaluer l'état des objectifs de conservation ont été choisis par un groupe d'experts, guidés par les dernières connaissances scientifiques sur la zone et les priorités communautaires fournies par le groupe de travail sur la ZPMAN. Un concept de trois niveaux d'indicateurs a été élaboré pour veiller à ce que des données suffisantes soient recueillies afin de relier les changements éventuels affectant les animaux de niveau trophique supérieur valorisés et leurs habitats aux facteurs de changement. Voici ce qui est recommandé : a) cinq indicateurs pour fournir le contexte environnemental requis pour interpréter le changement sur le plan des indicateurs biologiques; b) 11 indicateurs pour surveiller l'intégrité biologique et du réseau trophique directement liée aux objectifs de conservation; c) deux indicateurs pour surveiller les agents de stress et les menaces qui pèsent actuellement sur le système biologique, reconnaissant qu'une réévaluation sera nécessaire de façon régulière. Les renseignements actuellement disponibles à l'appui de chaque indicateur sont résumés, et des stratégies de surveillance ainsi que des paramètres de mesure clés sont proposés. L'annexe C fournit un Tableau récapitulatif des paramètres de mesure recommandés et des facteurs à considérer. Dans certains cas, il sera essentiel d'accéder aux données et aux renseignements recueillis à une échelle spatiale supérieure à celle de la ZPMAN pour accroître la portée et la valeur contextuelle des données de surveillance. La plupart des indicateurs peuvent être suivis au moyen de programmes de surveillance communautaires, d'une combinaison d'échantillonnage côtier et hauturier, de la télédétection ou de partenariats avec des programmes établis de recherche et de surveillance des captures en vue d'optimiser l'efficacité de la collecte de données. Dans certains cas, des analyses subséquentes de données et d'échantillons existants sont nécessaires pour établir les conditions de référence. L'information fournie ici est une mise à jour de l'avis scientifique déjà fourni par Pêches et Océans Canada, et vise à appuyer l'élaboration d'un plan de surveillance écologique pour la ZPMAN par l'entremise du groupe de travail sur la ZPMAN, du Comité directeur des zones de protection marine de l'Arctique de l'Ouest, et d'autres forums de partenaires pertinents.

SIGLES

CASES : Étude internationale du plateau continental arctique canadien
CCT : Comité de chasseurs et de trappeurs
CMGP : Comité mixte de gestion de la pêche
CSC : chenal de séparation circumpolaire
CTP : conductivité, température et profondeur
ECCC : Environnement et Changement climatique Canada
EEMCN : Étude des eaux marines côtières du Nord
EEM-MBC : Évaluation des écosystèmes marins de la mer de Beaufort au Canada
EERB-PPM : Évaluation environnementale régionale de Beaufort – Projet sur les poissons marins
MPO : Pêches et Océans Canada (ministère des Pêches et des Océans)
NGCC : navire de la Garde côtière canadienne
PPMMB : Projet sur les poissons marins de la mer de Beaufort
RDI : région désignée des Inuvialuit
SCF : Service canadien de la faune
SORC : surveillance océanique des Rangers canadiens
VTG : véhicule téléguidé
WCS : Wildlife Conservation Society
ZIAN : zone d'intérêt d'Anguniaqvia niqiqyuam
ZPM : zone de protection marine
ZPMAN : zone de protection marine d'Anguniaqvia niqiqyuam

1. INTRODUCTION

Le concept de conservation est remis en question dans l'Arctique en raison de l'ampleur et de l'omniprésence des altérations écologiques causées par le climat (Wassmann et Reigstad 2011, Timmermans *et al.* 2018, Griffith *et al.* 2019, van Kerkhoff *et al.* 2019). D'ici la fin du siècle, même les modèles de projection du climat prudents prévoient des augmentations importantes de la température de l'air et des océans; des tempêtes plus fortes et plus violentes; des salinités de surface de mer plus faibles et une stratification plus élevée; des baisses de la concentration, de l'étendue et de l'épaisseur de la glace de mer; des concentrations plus faibles de pH et de nitrate; une fonte de la glace plus hâtive et un englacement plus tardif dans le sud de la mer de Beaufort et dans le golfe Amundsen (Steiner *et al.* 2015). En plus des changements d'orientation des variables écosystémiques de référence, on s'attend à des variabilités saisonnières et interannuelles plus importantes en ce qui concerne le moment, l'ampleur et la fréquence des principaux événements (p. ex., ondes de tempête, englacement et débâcle; p. ex., Steiner *et al.* 2015). Dans un tel cas, il peut être nécessaire de recueillir des données pendant de nombreuses années avant de pouvoir faire ressortir une tendance des variations de fond, et encore plus longtemps pour pouvoir distinguer les conditions « normales » des conditions « extrêmes ». Dans l'ouest de l'Arctique canadien, il existe actuellement peu d'ensembles de données de référence sur les écosystèmes, et l'information disponible n'est pas suffisante pour caractériser ou distinguer les tendances d'origine naturelle des tendances d'origine anthropique. Il est plus complexe de comprendre les réactions biologiques à de tels changements physiques. Les réactions des espèces aux changements environnementaux varient; certaines populations sont susceptibles de profiter de nouvelles possibilités attribuables au climat, tandis que d'autres peuvent subir des conséquences négatives (Niemi *et al.* 2019).

Par conséquent, il faut adopter une perspective plus large par rapport à la conservation, dont l'objectif n'est peut-être pas de maintenir l'écosystème dans sa configuration physique actuelle, mais de protéger les principales espèces, les processus écosystémiques et les caractéristiques essentielles contre les activités anthropiques potentiellement nuisibles à mesure que les écosystèmes s'adaptent aux changements environnementaux. À cette fin, l'adoption d'une approche de conservation « axée sur l'avenir » (van Kerkhoff *et al.* 2019) serait bénéfique, dans le cadre de laquelle un plan de surveillance environnementale est élaboré dès le départ en ayant la souplesse nécessaire pour être adapté afin de saisir à la fois les répercussions des activités anthropiques et les changements environnementaux inévitables.

La zone de protection marine d'Anguniaqvia niqiqyuam (qui se prononce *Ung-u-niak-via ni-kig-e-um*; ZPMAN) est la deuxième zone de protection marine (ZPM) à être désignée dans les eaux canadiennes de l'Arctique en vertu de la *Loi sur les océans*. Elle englobe 2 361 km² d'habitat marin sur la côte ouest de la baie Darnley et à la pointe nord de la péninsule Parry, dans la région désignée des Inuvialuit (RDI), près de la collectivité de Paulatuk, dans les Territoires du Nord-Ouest (Figure 1). En inuvialuktun, « Anguniaqvia niqiqyuam » signifie « où je chasse pour me nourrir ». Cette traduction reflète l'importance culturelle, socioéconomique et écologique de la ZPMAN et des eaux adjacentes, qui soutiennent des espèces marines qui sont des composantes très importantes de l'écosystème local et du régime alimentaire de subsistance des Inuvialuits (Kavik-AXYS Inc. 2012, MPO 2014).

Voici les objectifs de conservation liés à la ZPMAN :

- maintenir l'intégrité de l'environnement marin situé au large du refuge d'oiseaux migrateurs du cap Parry afin que celui-ci soit productif et permette l'alimentation d'espèces de niveau trophique supérieur, en faisant en sorte que la polynie du cap Parry et l'habitat de glace

marine qui lui est associé, de même que le rôle des principales espèces fourragères (p. ex., la morue arctique), ne soient pas perturbés en raison des activités humaines;

- préserver l'habitat de la ZPMAN afin de soutenir les populations d'espèces clés (comme le béluga, l'omble chevalier, le phoque annelé et le phoque barbu).

Il est à noter que les objectifs de conservation pour la ZPMAN ne visent pas nécessairement à maintenir l'écosystème dans sa forme actuelle. L'accent est mis sur la protection des fonctions clés et des caractéristiques essentielles qui, à leur tour, protègent les services écosystémiques et le biote de niveau trophique supérieur valorisé par les Inuvialuits. Les stratégies de gestion peuvent donc demeurer adaptables à la transformation des risques liés aux facteurs anthropiques et naturels, ainsi qu'à l'évolution des connaissances scientifiques et autochtones.

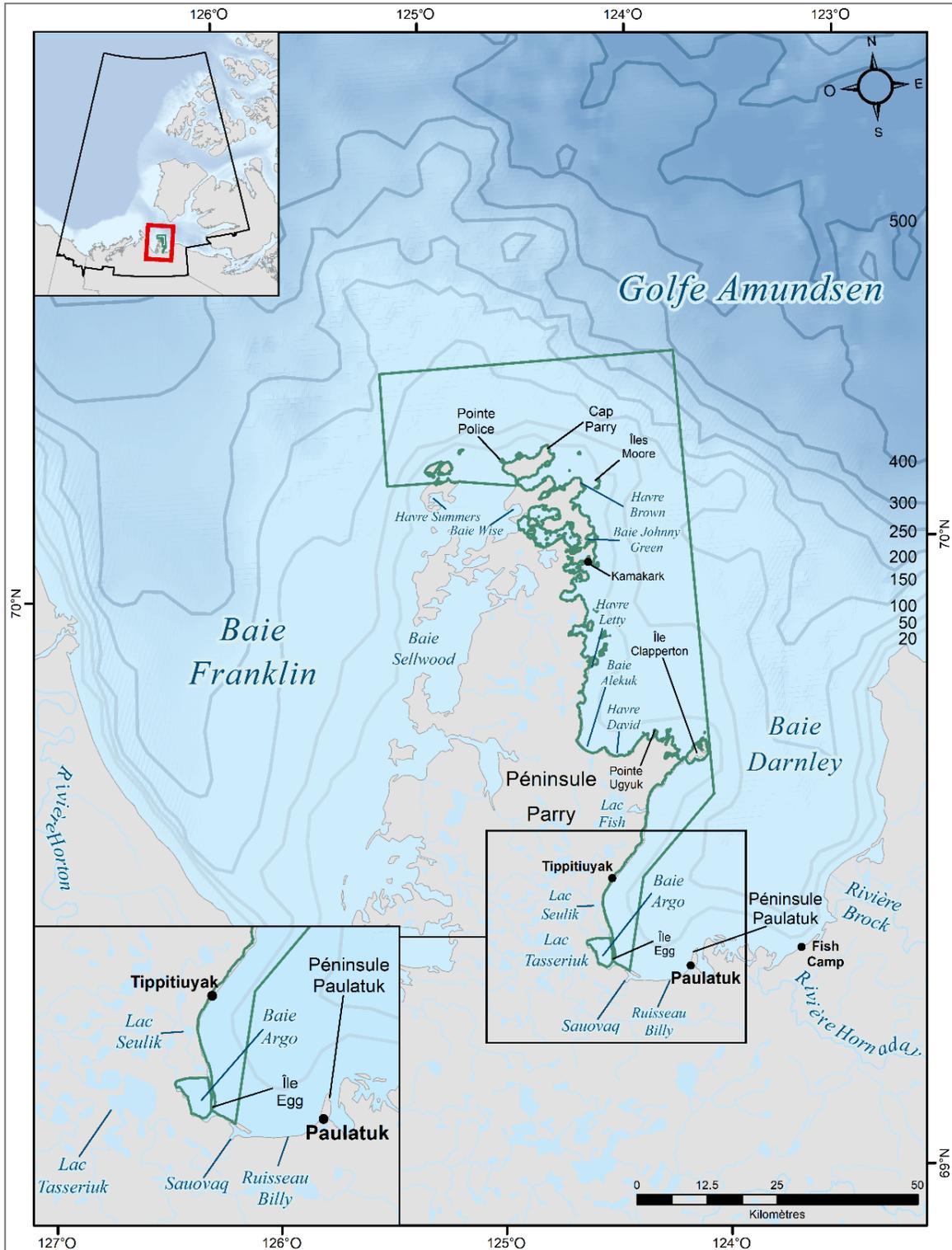


Figure 1. Carte présentant les noms traditionnels et locaux d'endroits dans la zone de protection marine Anguniaqvia niqiqyuam (ZPMAN). La carte a été créée par J. Friesen et les toponymes locaux ont été fournis par le groupe de travail sur la ZPMAN. La bathymétrie a été adaptée de l'IBCAO par M. Ouellette. La carte de base provient du portail des données ouvertes du gouvernement du Canada.

Le groupe de travail sur la ZPMAN élabore actuellement un plan de surveillance (notamment des indicateurs écologiques, socioéconomiques et de gouvernance) qui sera mis en œuvre à l'échelle communautaire afin de suivre les changements et d'évaluer si les objectifs de conservation sont atteints, et d'élaborer des interventions en cogestion au besoin. L'élaboration du plan est le fruit d'une collaboration entre des membres nommés du Comité de chasseurs et de trappeurs (CCT) de Paulatuk, des partenaires de cogestion de Pêches et Océans Canada (MPO) et le Comité mixte de gestion de la pêche (CMGP). Avant de le terminer, on présentera le plan de surveillance de la ZPMAN au Comité directeur des zones de protection marine de l'Arctique de l'Ouest afin de s'assurer que les directives des partenaires de cogestion, du MPO et des partenaires inuvialuits sont prises en compte. En 2014, avant la désignation officielle de la ZPMAN, la Direction des sciences du MPO a fourni un avis sur la sélection d'indicateurs et de stratégies de surveillance écologique pertinents pour éclairer l'état des objectifs de conservation (voir les définitions au Tableau 1; MPO 2015, Schimnowski *et al.* 2017). L'évaluation n'a été demandée que pour la zone prioritaire autour du cap Parry (Figure 2) et n'a pas abordé les indicateurs pour les habitats au sud de la pointe Bennett ni pour les eaux extracôtières adjacentes qui sont inextricablement liées à l'écosystème de la ZPMAN. À la suite de la présentation de l'avis scientifique initial (MPO 2015), d'importants travaux de recherche et de collecte de données de référence ont été effectués dans la région, et le groupe de travail sur la ZPMAN a établi un ensemble de priorités pour la surveillance écologique (Annexe A). Une mise à jour de l'avis était donc nécessaire.

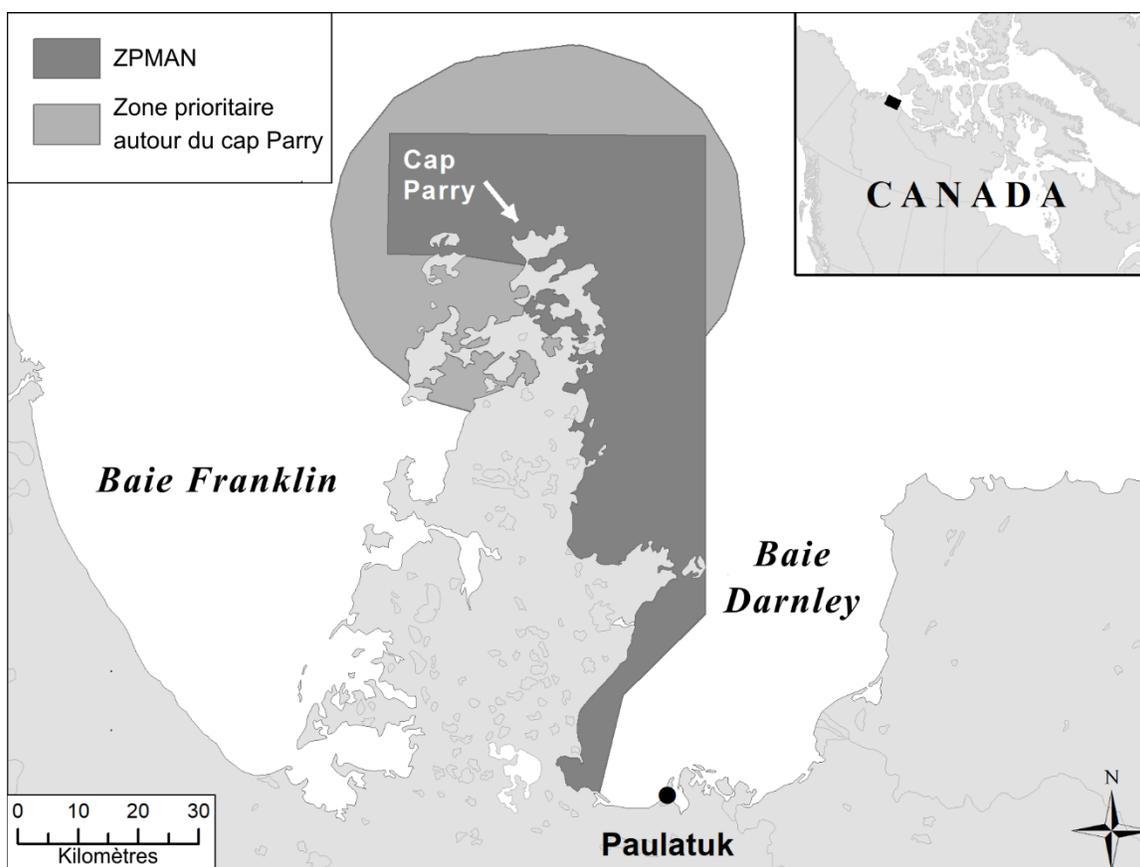


Figure 2. Carte présentant la zone prioritaire autour du cap Parry, qui a été examinée lors d'un processus de consultation scientifique antérieur sur les indicateurs, les protocoles et les stratégies de surveillance (MPO 2015), et les limites définitives de la ZPMAN. La carte a été créée par M. Ouellette.

Tableau 1. Termes et définitions utilisés pour décrire les composantes du programme de surveillance tout au long de l'examen. Des exemples sont fournis pour la compréhension du contexte.

Termes et définitions	Exemples
<p>Un indicateur de surveillance est la composante environnementale ou écologique qui réagit à un agent de stress (anthropique) ou à un facteur (environnemental) d'une manière qui peut être détectée, mesurée et utilisée pour évaluer si un objectif de conservation est atteint.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Paramètres océanographiques fondamentaux et concentrations de nutriments. • Composition, structure et fonction de la communauté de poissons côtiers. • Concentrations de contaminants chez les mammifères marins et dans l'environnement.
<p>Une stratégie de surveillance est une approche générale pour la surveillance d'un indicateur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Évaluation stratifiée et aléatoire de la biodiversité des poissons côtiers effectuée chaque année pendant l'été par des surveillants communautaires. • Observations locales d'espèces rares.
<p>Un paramètre de surveillance est une mesure ou une observation normalisée que l'on recueille régulièrement pour détecter la variabilité, la stabilité ou l'état d'un indicateur. On peut utiliser plusieurs paramètres pour mesurer un <i>indicateur de surveillance</i> donné ou mesuré dans le cadre d'une <i>stratégie de surveillance</i> donnée.</p>	<p>Les données recueillies dans le cadre de l'évaluation de la biodiversité peuvent être utilisées pour calculer des paramètres de surveillance tels que ceux-ci :</p> <ul style="list-style-type: none"> • capture par unité d'effort (abondance et biomasse relatives de chaque espèce); • indice de diversité de Shannon; • richesse spécifique.
<p>Un protocole de surveillance est la procédure normalisée précise qui guide la collecte des données ou les calculs requis pour un <i>paramètre de surveillance</i> particulier.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Procédures détaillées précises pour effectuer l'évaluation stratifiée et aléatoire de la biodiversité des poissons. • Équations normalisées utilisées pour calculer des paramètres comme la capture par unité d'effort, l'indice de diversité de Shannon ou la richesse spécifique. • Équations normalisées utilisées pour ajouter des observations locales à la richesse spécifique.

À cette fin, le présent examen vise à :

1. fournir un résumé à jour des données de référence existantes, des données scientifiques et des connaissances locales et autochtones publiées qui sont pertinentes pour l'élaboration du plan de surveillance écologique pour la ZPMAN;
2. élargir la portée de l'examen pour inclure la partie méridionale de la ZPMAN et les eaux adjacentes qui n'ont pas été prises en compte dans les documents scientifiques antérieurs (MPO 2015, Schimnowski *et al.* 2017), et inclure les priorités énoncées par le groupe de travail sur la ZPMAN;
3. réévaluer les indicateurs de surveillance suggérés par le MPO (2015) afin d'assurer leur applicabilité continue et de cerner les lacunes, à la lumière des points (1) et (2).

Comme la terminologie entourant la surveillance environnementale peut varier considérablement, les définitions utilisées pour décrire les indicateurs, les stratégies, les paramètres et les protocoles de surveillance tout au long de cet examen sont définies au Tableau 1.

2. DESCRIPTION DE LA ZPMAN

Le MPO a d'abord sollicité l'intérêt et des renseignements au sujet d'une nouvelle ZPM dans la RDI en 2008. Cette dernière est l'une des quatre régions qui constituent collectivement l'Inuit Nunangat (les terres ancestrales des Inuits) et elle est régie par la Convention définitive des Inuvialuits, un accord de revendication territoriale moderne signé en 1984. La baie Darnley, qui comprend plusieurs zones d'importance écologique et biologique (Paulic *et al.* 2009), a été choisie comme zone générale à l'intérieur de laquelle la ZPM serait désignée. En 2010, la Direction des sciences du MPO a circonscrit des zones dans la baie Darnley qui répondaient aux critères de protection marine en vertu de la *Loi sur les océans*, et a fourni un avis sur les limites potentielles de la ZPM et les objectifs de conservation (MPO 2011). On a utilisé cet avis scientifique de concert avec le savoir autochtone et les considérations socioéconomiques pour délimiter la zone d'intérêt d'Anguniaqvia niqiqyuam (ZIAN) et, en 2016, pour désigner officiellement la région comme la ZPMAN.

Un aperçu écologique complet de l'écosystème de la ZPMAN dépasse la portée de cet examen. Le lecteur est plutôt dirigé vers les renseignements écologiques détaillés résumés dans les publications du MPO (2011), de Chambers et MacDonell (2012), de Kavik-AXYS Inc. (2012) et de Paulic et ses collaborateurs (2012).

En bref, la ZPMAN englobe la majeure partie des côtes est et nord de la péninsule Parry, de l'intérieur de la baie Darnley au sud jusqu'au golfe Amundsen au nord (Figure 1). Le réseau trophique est typique des systèmes côtiers de l'Arctique : il comprend quatre ou cinq niveaux trophiques dont la fonction et la connectivité sont étroitement associées aux cycles saisonniers de la disponibilité de la lumière, de la couverture de glace, de la migration et de la productivité. La ZPMAN et la baie Darnley peuvent être divisées en plusieurs régimes écosystémiques qui fonctionnent pour soutenir l'alimentation des animaux de niveau trophique supérieur. L'habitat côtier comprend des couloirs de déplacement pour le béluga (*qilalugaq/Delphinapterus leucas*) et l'omble chevalier (*iqalukpik /Salvelinus alpinus*) en été, et soutient des populations de phoque annelé (*natchiq /Pusa hispida*), de phoque barbu (*ugyuk/Erignathus barbatus*) et de poissons marins côtiers tout au long de l'année. La partie méridionale de la ZPMAN est habituellement plus chaude, moins salée et sablonneuse sous l'influence de l'eau douce et des sédiments rejetés des rivières Hornaday et Brock, et abrite des poissons anadromes de façon saisonnière. Le paysage côtier de la ZPMAN se transforme en falaises rocheuses escarpées vers la pointe nord de la péninsule Parry, où la bathymétrie variable favorise l'amélioration du débit des marées et des remontées d'eau soupçonnées d'être relativement fréquentes et riches en nutriments. Ici, les eaux sont plus froides et plus salées que dans le sud, ce qui favorise généralement une productivité biologique plus élevée. En été, les eaux au large du cap Parry et de la baie Darnley sont considérées comme un important habitat marin d'alimentation pour la baleine boréale (*arviq/Balaena mysticetus*) et pour des colonies de nidification uniques de guillemots de Brünnich migrants (*Uria lomvia*) et de petits nombres de guillemots à miroir (*Cephus grille*) occupant le refuge d'oiseaux migrants du cap Parry. Une polynie récurrente se forme au large du cap Parry. L'habitat de lisière de glace de la polynie et des chenaux connexes est utilisé au printemps comme aire d'alimentation par l'ours blanc (*nanuq/Ursus maritimus*), le phoque annelé et le phoque barbu, ainsi que pour la halte migratoire par un grand nombre de sauvagines migratrices, y compris plusieurs espèces de canards de mer, de goélands et de huard. La zone extracôtère est utilisée par des milliers d'eiders à tête grise

(qingalik/*Somateria spectabilis*) et d'eiders à duvet (Qaugaq/*Somateria mollissima*) à la fin de l'été ou au début de l'automne pour la halte migratoire et la mue.

3. PRINCIPAUX FACTEURS À CONSIDÉRER POUR UNE MISE EN ŒUVRE RÉUSSIE

3.1. INCLUSION DU SAVOIR AUTOCHTONE

Le présent document porte principalement sur les connaissances acquises grâce à la science occidentale, et les indicateurs décrits ont été élaborés dans un cadre scientifique occidental (c.-à-d. la collecte de données pour des analyses statistiques). Bien que le document présente une discussion sur la façon dont la collecte de données peut être intégrée à un programme de surveillance communautaire à Paulatuk, les indicateurs et les paramètres de surveillance présentés dans le document n'ont pas été élaborés explicitement en fonction du savoir autochtone. Il est reconnu que les renseignements scientifiques à l'appui du plan de surveillance de la ZPMAN visent à constituer un complément aux valeurs, aux objectifs et aux connaissances autochtones dans un processus décisionnel collaboratif pour la cogestion de l'écosystème. Dans la science occidentale et le savoir autochtone, la production de connaissances se situe sur un spectre allant de simples observations à une compréhension holistique, et les contributions du spectre complet des deux systèmes de connaissances sont nécessaires pour que le plan de surveillance soit exécuté avec succès.

Le présent document adopte la définition du savoir traditionnel décrite dans le répertoire des connaissances traditionnelles et locales de la RDI comme étant, en bref, un ensemble de connaissances communes et collectives intégrant des éléments environnementaux, culturels et sociaux (voir [le répertoire des savoirs traditionnels et locaux](#) du RDI pour une définition complète [en anglais seulement]). L'inclusion des connaissances autochtones publiées dans cet examen se limite spécifiquement aux documents qui 1) ont été élaborés par le CCT de Paulatuk ou en collaboration avec lui; 2) sont considérés comme étant largement approuvés par le CCT de Paulatuk; 3) comprennent des renseignements consignés dans des forums visant spécifiquement à recueillir des connaissances écologiques qui pourraient aider à l'élaboration de stratégies de conservation pour la baie Darnley. Une bibliographie annotée de ces documents est fournie à l'Annexe B pour donner un contexte au lecteur. Les noms des espèces en inuvialuktun utilisés dans le présent document ont été tirés, lorsqu'ils sont disponibles, du plan de conservation de la collectivité de Paulatuk.

3.2. CONSIDÉRATIONS SCIENTIFIQUES

Pour que le plan de surveillance de la ZPMAN soit mis en œuvre avec succès, il doit être fondé sur les meilleures données scientifiques disponibles et les connaissances autochtones, et il doit recevoir l'appui des résidents. De solides partenariats entre les organismes de cogestion, les partenaires inuvialuits et les chercheurs travaillant dans la ZPMAN seront essentiels à l'atteinte des objectifs de conservation.

La surveillance et la recherche sont utilisées conjointement pour éclairer les stratégies de gestion et atteindre les objectifs de conservation. Les deux sont plus efficaces lorsqu'elles sont fondées sur des hypothèses ou des questions, mais elles jouent des rôles différents. La *recherche* vise à délimiter les liens entre les composantes et les moteurs de l'écosystème, afin que l'on puisse comprendre et prévoir les changements futurs possibles touchant l'écosystème et fournir des avis pour en atténuer les conséquences. La recherche est souvent fondée sur une hypothèse au niveau fonctionnel et menée sur une échelle de temps relativement courte. La recherche appuie donc la surveillance par le choix d'indicateurs clés et la compréhension des

répercussions des changements apportés à ces indicateurs et en ce qui concerne les options de gestion. La *surveillance* permet de recueillir des renseignements normalisés à intervalles réguliers sur les composantes et les processus clés de l'écosystème afin que l'on puisse évaluer le changement (ou la stabilité) au fil du temps et faire rapport sur l'état de la ZPM. Essentiellement, la surveillance est descriptive. Les tendances observées relativement aux indicateurs de surveillance peuvent stimuler la réalisation d'une recherche ciblée afin que l'on puisse mieux comprendre les répercussions d'un changement ou servir à élaborer des stratégies appropriées pour la gestion de l'écosystème.

Les indicateurs et les paramètres choisis pour la surveillance ont de préférence des réponses connues ou soupçonnées de cause à effet à un facteur ou à un agent de stress. Ainsi, un plan de surveillance aura une plus grande capacité de conservation axée sur l'avenir s'il comprend une vaste série d'indicateurs écologiques (van Kerkhoff *et al.* 2019). En permettant la surveillance d'indicateurs qui présentent un intérêt direct pour la conservation (p. ex., présence ou absence de bélugas) parallèlement à des indicateurs qui les appuient directement ou indirectement ou qui les influencent (p. ex., abondance des proies, température océanique), un plan de surveillance a la meilleure chance de saisir, cerner et comprendre les changements écologiques.

Il faut réexaminer régulièrement le plan de surveillance efficace afin de réévaluer les hypothèses précises qui permettront aux cogestionnaires de déterminer si les objectifs de conservation ont été atteints compte tenu de la variabilité et du changement continu de l'écosystème, et de nouvelles découvertes locales ou scientifiques. Cela permet de s'assurer que les indicateurs sont toujours les plus appropriés et efficaces pour détecter les variations et les réponses pertinentes aux objectifs de conservation. De plus, une évaluation régulière du plan de surveillance peut orienter la recherche en vue de combler les lacunes sur le plan des connaissances qui suscitent des préoccupations pressantes.

En bref, pour évaluer avec succès si les objectifs de conservation de la ZPMAN sont atteints (du point de vue de la science occidentale), le plan de surveillance écologique devrait être (MPO 2015) :

1. capable de faire la distinction entre les changements causés par des activités humaines et les variations environnementales (avoir un rapport signal à bruit élevé), afin de pouvoir reconnaître la complexité du système et être sensible à la saisonnalité;
2. uniformisé, à long terme et conforme à des protocoles particuliers établis qui sont adaptables plutôt que statiques (p. ex., il faut revoir régulièrement les hypothèses selon de nouvelles constatations et les modifier en conséquence), reconnaissant que les changements apportés aux protocoles et à la technologie doivent être mis en œuvre avec un double emploi des méthodes afin d'assurer la comparabilité et un dossier cumulatif;
3. fondé sur une question ou une hypothèse associée aux prévisions et aux attentes à toutes les étapes du programme de surveillance, qui est explicitement lié aux méthodologies de collecte des données pour obtenir des résultats significatifs;
4. évalué selon un calendrier régulier de production de rapports;
5. intégré à l'analyse des données, à la diffusion des résultats aux collectivités locales et scientifiques et à l'archivage des données et des résultats de façon uniformisée;
6. dirigé par la collectivité et coordonné entre les groupes de cogestion, le gouvernement et les partenaires scientifiques.

Les critères ci-dessus ne tiennent pas compte du fait que la conservation par zone est remise en question selon les changements spatiaux des composantes clés de l'écosystème

susceptibles de se produire en réponse au changement et à la variabilité du climat. La répartition des espèces, la recherche de nourriture, les habitudes de déplacement et les associations à un habitat sont susceptibles de changer, de sorte que les objectifs de conservation peuvent devenir une cible mobile. Il faut intégrer une marge de manœuvre dans le plan de surveillance dans la mesure du possible, en mettant l'accent sur la préservation des fonctions clés, tout en reconnaissant que certains défis nécessiteront des solutions politiques (p. ex., la modification des limites de la ZPM).

4. SÉLECTION DES INDICATEURS

4.1. CRITÈRES LIÉS AUX INDICATEURS

À tout le moins, un indicateur écologique doit permettre de déterminer avec succès les changements dans l'écosystème qui indiquent si les objectifs de conservation de la zone sont atteints. Pour ce faire, un indicateur efficace devrait (MPO 2015) :

1. être pertinent aux objectifs de conservation (critères principaux);
2. être sensible et réactif à un facteur naturel ou à un agent de stress anthropique;
3. mettre en évidence les processus ou les changements qui se produisent dans la zone;
4. mettre en évidence les facteurs naturels ou les agents de stress anthropiques qui se manifestent au cours d'une période pertinente;
5. pouvoir fournir de l'information sur de multiples aspects de l'intégrité de l'environnement (idéalement);
6. comporter une efficacité élevée grâce à l'existence de nombreuses données de base et historiques;
7. être fondé sur les connaissances autochtones et des données scientifiques, sans être le résultat explicite de la recherche scientifique;
8. être facile à élaborer et à mettre en pratique sur le terrain (idéalement);
9. être facile à détecter, c'est-à-dire avoir un rapport signal à bruit élevé.

4.2. PROCESSUS DE SÉLECTION

L'intégrité de l'écosystème, les liens trophiques, ainsi que le béluga, l'omble chevalier, le phoque annelé et le phoque barbu et leurs habitats ont été désignés comme des composantes valorisées de l'écosystème dans la ZPMAN (MPO 2011, 2014). Une liste des activités anthropiques qui peuvent avoir une incidence négative sur ces composantes et leurs séquences d'effets a été élaborée en 2014 (MPO 2014), et sert à éclairer la sélection d'un ensemble initial d'indicateurs de surveillance qui tiennent compte des réponses attendues de l'écosystème aux activités anthropiques, aux changements climatiques et à la variabilité du climat tout en respectant les critères énumérés à la *Section 4.1* (MPO 2015, Schimnowski *et al.* 2017). En 2020, un groupe d'experts scientifiques a réévalué la liste des indicateurs à la lumière des priorités de surveillance fournies par le groupe de travail sur la ZPMAN (Annexe A) et de nouvelles données scientifiques. Les indicateurs recommandés à la suite de l'examen par le SCAS en 2020 sont résumés dans l'avis scientifique connexe, et des renseignements détaillés sont fournis aux *Sections 5, 6 et 7* du présent document. Bien qu'un large éventail d'options stratégiques soit examiné, les paramètres de mesure considérés comme étant les plus informatifs pour chaque indicateur de surveillance, ainsi que leur pertinence pour les objectifs de conservation, sont résumés à l'Annexe C.

Les indicateurs de surveillance discutés dans les sections qui suivent ont été choisis en fonction des meilleures données scientifiques disponibles sur l'écosystème, appuyées par la consultation d'experts et des connaissances autochtones publiées. Le corpus de littérature existant sur la sélection des indicateurs environnementaux et les exemples d'autres programmes de surveillance ont également été pris en compte. Cependant, aucune recherche explicite sur l'efficacité dans la ZPMAN n'a été menée pour bon nombre des indicateurs recommandés. Il faudrait intégrer un processus de validation et de production de rapports au plan de surveillance pour s'assurer que les indicateurs sélectionnés fournissent des renseignements pertinents aux objectifs de conservation.

4.3. CONCEPT DES TROIS NIVEAUX D'INDICATEURS

Les indicateurs dont il est question dans le présent document sont classés en trois catégories (Figure 3), afin de saisir les données nécessaires pour établir un lien entre les changements possibles chez les animaux de niveau trophique supérieur valorisés et leur écosystème et les facteurs de changement. Les catégories d'indicateurs sont décrites ci-après.

1. *Indicateurs liés au contexte environnemental* : ces indicateurs jettent les bases d'une approche de gestion écosystémique pour comprendre l'habitat physique dans lequel les espèces fonctionnent, pourquoi les espèces utilisent l'habitat et si les changements observés chez les populations d'espèces sont associés à des variations naturelles. Les indicateurs liés au contexte environnemental sont particulièrement importants pour distinguer les cas où la tendance d'une espèce est liée à un agent de stress anthropique qui peut être géré activement, par opposition aux variations environnementales naturelles qui dépassent la portée de la gestion locale (mis à part les stratégies d'adaptation possibles). Ainsi, ces indicateurs contribuent à la surveillance des deux objectifs de conservation. Certains indicateurs conviennent bien à une surveillance régulière parce qu'on s'attend à ce qu'ils réagissent à des facteurs naturels ou à des agents de stress anthropiques, ou parce qu'ils présentent une variabilité temporelle naturelle qui influence les communautés biologiques (p. ex., apport de nutriments). D'autres indicateurs nécessitent toujours une collecte de données de base pour fournir des descriptions fondamentales de l'habitat (p. ex., bathymétrie).
2. *Indicateurs liés à l'intégrité biologique et du réseau trophique* : ces indicateurs ciblent directement les deux objectifs de conservation en fournissant des renseignements sur la composition et l'état des principales populations biologiques présentes dans la ZPMAN, ainsi que sur les processus du réseau trophique qui régissent leurs interactions, et donc le transfert d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs. Ces indicateurs sont au cœur du programme de surveillance et suivent directement l'évolution des communautés biologiques dans chaque grand groupe trophique. Des mesures de la structure de la communauté entière (p. ex., biodiversité, richesse spécifique) ainsi que des paramètres de population pour les principales espèces (p. ex., abondance relative, répartition) devraient être choisis aux fins de surveillance au sein de chaque grand groupe trophique. On insiste sur le fait que les données sur les espèces de niveau trophique supérieur ne suffiront pas à elles seules à évaluer les objectifs de conservation. Les indicateurs liés à l'intégrité biologique et du réseau trophique doivent être placés dans le contexte des processus qui se déroulent aux niveaux trophiques inférieurs et dans le contexte des variations environnementales de base.
3. *Indicateurs liés aux agents de stress et aux menaces* : ces indicateurs guident la surveillance ciblée, en étant superposés aux indicateurs des niveaux 1 et 2, afin de comprendre comment un agent de stress anthropique soupçonné ou prévu affectera (ou affecte) les espèces présentes dans la ZPMAN, leurs habitats ou leurs processus essentiels à l'intégrité de l'écosystème. Les données peuvent également être utilisées pour déterminer

les mécanismes par lesquels un effet se propage (séquence des effets). Les indicateurs liés aux agents de stress et aux menaces visent à comprendre les réactions de l'écosystème et à éclairer ou déclencher des mesures de gestion. Par conséquent, ces indicateurs sont choisis en fonction des activités prévues à l'intérieur ou à proximité de la ZPMAN (p. ex., transport maritime), des menaces possibles nouvellement découvertes (p. ex., espèces envahissantes, nouveaux contaminants) ou d'autres questions d'intérêt particulier (p. ex., répercussions de l'acidification des océans). Ces indicateurs sont censés être traités comme étant modulables dans la conception du plan de surveillance; leur applicabilité devrait être réévaluée régulièrement, et des indicateurs devraient être ajoutés ou supprimés à mesure que les menaces deviennent imminentes ou sont résolues. Ils auront une utilité limitée sans les données recueillies sur les indicateurs des niveaux 1 et 2.

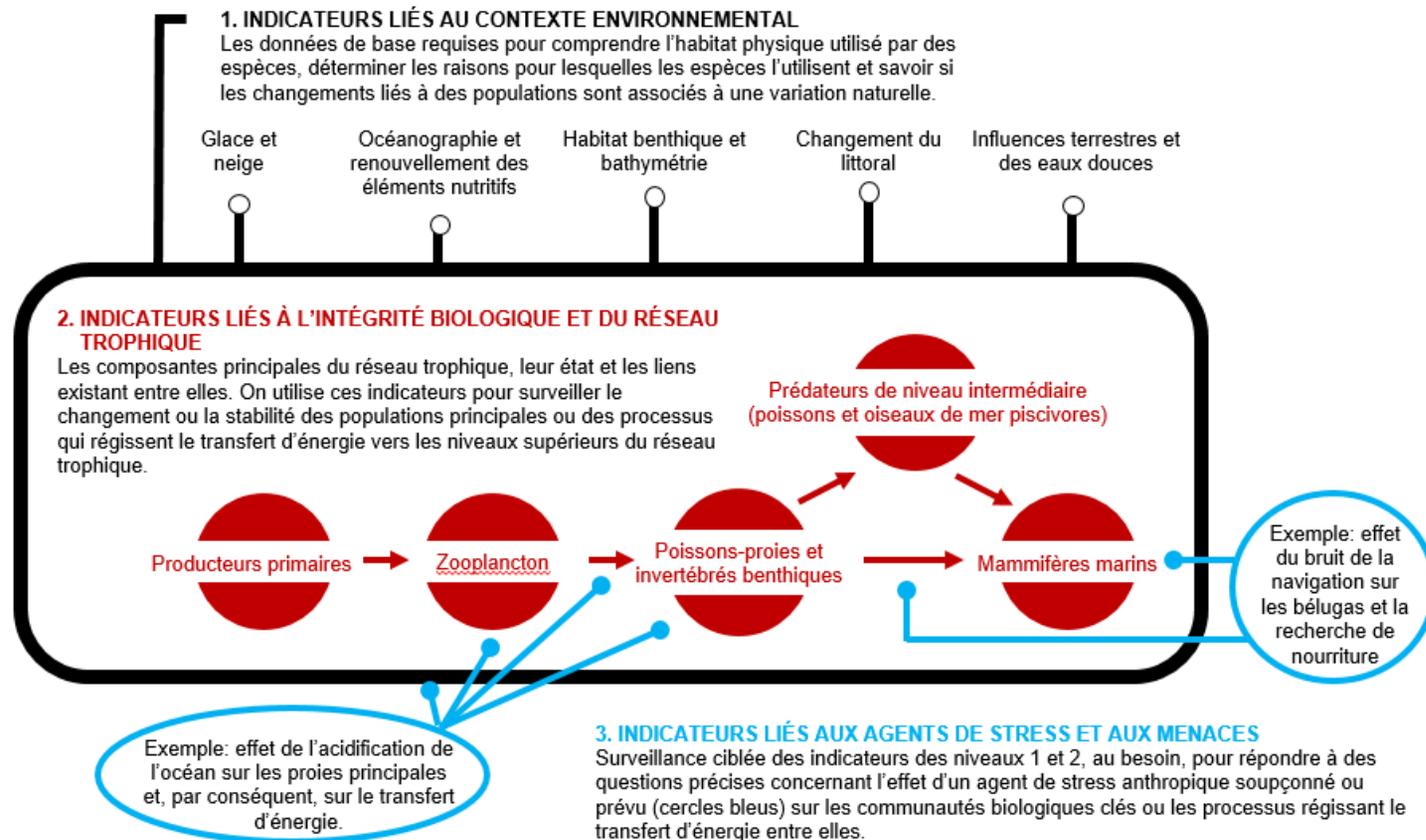


Figure 3. Schéma du concept des trois niveaux sur lequel reposent les indicateurs recommandés. 1. Les indicateurs liés au contexte environnemental sont les données de base sur lesquelles repose l'approche de surveillance axée sur l'écosystème. Ils sont nécessaires pour établir un lien entre des tendances observées chez des espèces et une variation environnementale naturelle ou des facteurs anthropiques. Ces indicateurs décrivent les paramètres de l'habitat (rectangle noir) utilisé par les communautés biologiques (cercles rouges). 2. Les indicateurs liés à l'intégrité biologique et du réseau trophique sont au cœur du programme de surveillance. Ils permettent de surveiller directement le changement au sein des communautés biologiques et des espèces clés qui forment chaque groupe important du réseau trophique (cercles rouges) ainsi que les processus qui régissent le transfert d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs (flèches). Il convient de noter que ce ne sont pas toutes les composantes du réseau trophique qui sont illustrées. 3. Les indicateurs liés aux agents de stress et aux menaces sont des indicateurs modulables que l'on superpose aux indicateurs des niveaux 1 et 2. On peut en supprimer ou en ajouter pour orienter la surveillance ciblée des effets qu'un agent de stress ou une menace en particulier (cercles bleus) a sur des espèces (cercles rouges), leur habitat (rectangle noir) ou les processus qui régissent le transfert d'énergie (flèches rouges).

4.4. INTÉGRATION AVEC LE RÉSEAU D'AIRES MARINES PROTÉGÉES

Le gouvernement du Canada s'est engagé à créer un réseau d'aires marines protégées bien reliées (gouvernement du Canada 2011), et la surveillance à l'échelle du réseau visera à tirer parti des programmes de surveillance existants de chaque aire marine protégée (MPO 2020). Par conséquent, on pourrait élaborer de façon proactive les indicateurs de surveillance énoncés dans le plan de surveillance de la ZPMAN en tenant compte d'une approche axée sur un réseau plus vaste, et créer une connectivité entre les ZPM dans l'Arctique. Les indicateurs recommandés dans le présent document ont été conçus spécialement pour les objectifs de conservation associés à la ZPMAN, mais bon nombre d'entre eux sont également pertinents pour les objectifs de conservation associés à la ZPM de Tarium Nirvutait située à proximité. Au cours de l'élaboration du plan de surveillance, les pratiques exemplaires consisteraient à déterminer les indicateurs ou les paramètres choisis qui sont pertinents pour les objectifs de conservation associés à plusieurs ZPM, et à uniformiser les méthodes de collecte de données, d'analyse et de production de rapports entre les sites afin que la surveillance puisse être intégrée à l'échelle régionale. Il serait également avantageux pour la surveillance à l'échelle du réseau que les plans de surveillance des ZPM comprennent des indicateurs et paramètres permettant d'évaluer la connectivité entre plusieurs sites (p. ex., marquage, génétique, contaminants, agents de stress anthropiques).

5. INDICATEURS LIÉS AU CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

5.1. PARAMÈTRES OCÉANOGRAPHIQUES FONDAMENTAUX ET CONCENTRATIONS DE NUTRIMENTS

Les conditions océanographiques et la circulation de l'eau influent sur tous les aspects de la vie marine, formant l'habitat principal au sein duquel les organismes marins fonctionnent. La baie Darnley est une échancrure productive qui attire dans ses eaux une faune valorisée. Cependant, l'état des connaissances ne permet pas de bien comprendre *pourquoi* la faune est attirée dans la région et les processus environnementaux qui contribuent à cette attraction. Pour être productive pour les espèces de niveau trophique supérieur, la ZPMAN doit contenir un habitat favorable pour leurs proies et doit soutenir ou accumuler la production primaire qui alimente tout le réseau trophique. Les caractéristiques océaniques, la circulation et les événements énergétiques tels que les remontées et les plongées d'eau et le brassage des eaux de surface par le vent sont les principaux facteurs qui déterminent les conditions de l'habitat dans la colonne d'eau qui, combinées aux conditions de la glace de mer, favorisent ou entravent la production primaire. Par exemple, l'apport de nutriments alimente la production primaire, tandis que l'augmentation des sédiments en suspension nuit à la pénétration de la lumière et diminue la production primaire. La quantité, l'emplacement et le type de production primaire dépendent d'une interaction complexe de la disponibilité de la lumière et des nutriments et déterminent les fonctions écosystémiques clés comme le couplage pélagique-benthique (Juul-Pedersen *et al.* 2008a,b, 2010, Sallon *et al.* 2011) et l'emplacement des points chauds de la production et leur réaction aux changements climatiques (Ardyna *et al.* 2011, Coupel *et al.* 2015). À leur tour, ces fonctions écosystémiques clés déterminent où les proies de niveau trophique inférieur se rassemblent et attirent les prédateurs de niveau trophique supérieur (p. ex., Bluhm et Gradinger 2008, Williams et Carmack 2008, Walkusz *et al.* 2012, Majewski *et al.* 2016, Stasko *et al.* 2018, Yurkowski *et al.* 2019). Les principales conditions de l'habitat marin sont influencées par les forçages océanographiques, cryosphériques et climatiques, y compris l'évolution saisonnière et l'étendue de la glace de mer, la stratification fondée sur la densité verticale et la distribution des masses d'eau. En retour, ces conditions d'habitat exercent une forte influence sur la productivité (p. ex., Tremblay *et al.* 2012), la

répartition des espèces et les interactions interspécifiques (p. ex., Geoffroy *et al.* 2011, Roy *et al.* 2014, Stasko *et al.* 2016, Yurkowski *et al.* 2016, Harwood *et al.* 2017b, Hornby *et al.* 2017, Majewski *et al.* 2017, Smoot et Hopcroft 2017).

Comme la production primaire est à la base de tout le réseau trophique, il est important de discerner les processus océaniques qui influent sur son ampleur (capacité de production du système), sa saisonnalité et l'emplacement des points chauds (zones de biote concentré ou de processus clés comme la production biologique améliorée). Les nutriments jouent un rôle essentiel en tant que source d'énergie pour la production primaire qui soutient l'ensemble du réseau trophique, et constituent donc un paramètre océanographique clé à surveiller.

L'approvisionnement en nutriments dans la zone euphotique de la mer de Beaufort, pendant la période d'eau libre, est influencé par le brassage induit par le vent et les remontées d'eau de la rupture de pente continentale, qui augmentent tous deux en raison de la réduction de la couverture de glace, de la pression atmosphérique plus élevée au-dessus du bassin Canada et des vents d'est plus persistants (Tremblay *et al.* 2011, 2012, Steiner *et al.* 2015). Dans les zones extracôtières, les concentrations de nutriments dans les couches supérieures de la colonne d'eau peuvent être considérablement touchées par l'accumulation d'eaux plus douces et plus chaudes qui renforcent la stratification fondée sur la densité et suppriment le brassage vertical (Tremblay *et al.* 2012, AMAP 2017). Lors d'un examen récent, Tymoshuk et ses collaborateurs (2015) ont constaté une grande variabilité spatiale des tendances historiques de la production primaire dans le sud de la mer de Beaufort liée à l'hétérogénéité de l'approvisionnement en nutriments. Les projections du modèle dans Steiner *et al.* (2015) concordaient avec les études antérieures selon lesquelles le retrait de la glace de mer des zones de plateau favoriserait une production primaire accrue en raison de l'exposition accrue au vent et de la remontée d'eau riche en nutriments, tandis que la production primaire au large des côtes devrait demeurer relativement stable, car les couches supérieures enrichies d'eau douce ont éliminé le brassage vertical (Tremblay *et al.* 2011, Coupel *et al.* 2015). Cependant, on n'a pas encore déterminé quels mécanismes exacts sont actifs dans les échancrures dominées par de la glace de rive, comme la baie Darnley, et quel sera leur effet cumulatif sur la productivité primaire du système.

Les mesures des paramètres physiques et chimiques fondamentaux de l'océan sont complémentaires les unes des autres et éclairent la production primaire et les processus du réseau trophique. Il est donc recommandé que les paramètres physiques et chimiques fondamentaux de l'océan soient mesurés ensemble et en même temps que les paramètres de production primaire, afin de maximiser l'information obtenue sur l'écosystème. Les paramètres océanographiques fondamentaux et les concentrations de nutriments sont essentiels pour déterminer les causes potentielles du changement des indicateurs liés à l'intégrité biologique et du réseau trophique (voir ceux-ci à la *Section 6*). Cela est particulièrement vrai dans le contexte des changements climatiques et de la variabilité du climat. Les fluctuations et les changements des caractéristiques de l'habitat physique causés par le climat ont des effets en cascade démontrables à tous les niveaux du réseau trophique marin, y compris sur les mammifères marins, les poissons et les oiseaux de mer valorisés (p. ex., Carmack *et al.* 2006, Laidre *et al.* 2008, Wassmann 2011, Moore et Stabeno 2015, Fraimer *et al.* 2017). Les paramètres physiques et chimiques feront partie intégrante de bon nombre des hypothèses qui structurent la conception du plan de surveillance de la ZPMAN et aideront à distinguer l'influence des agents de stress anthropiques contrôlables des facteurs naturels non contrôlables.

Bref, les paramètres océanographiques fondamentaux et les concentrations de nutriments sous-tendent d'importants processus biologiques qui se produisent dans la ZPMAN. L'information sur cet indicateur est essentielle à l'interprétation des changements biologiques en ce qui a trait aux changements écosystémiques à grande échelle. La surveillance des

paramètres océanographiques fondamentaux et des concentrations de nutriments est fortement recommandée comme partie intégrante du programme de surveillance.

5.1.1. Renseignements disponibles

Des données sur les paramètres physiques et géochimiques de l'océan ont été recueillies de façon intermittente dans la ZPMAN et les eaux adjacentes depuis 1962, mais il n'y a pas suffisamment d'information pour former une base de référence systématique. Les séries chronologiques continues de profils océanographiques complets à des emplacements fixes sont rares à proximité de la ZPMAN. La circulation de l'eau dans le golfe Amundsen nécessite plus d'études, et la circulation de l'eau dans la baie Darnley est mal comprise (Paulic *et al.* 2012).

Comme le résumant Schimnowski et ses collaborateurs (2017), les données historiques sur les profils de température et de salinité ont été recueillies lors d'expéditions menées par le MPO à la fin de l'été de 1962 à 1964 à bord du N. M. *Salvelinus*. Des relevés ont été effectués dans les environs de la baie Franklin, de la baie Darnley et du cap Parry à l'appui des évaluations des pêches, avec des mesures occasionnelles des concentrations d'oxygène dissous (Figure 4). Toutes les données du programme sont présentées sous forme de Tableau dans Hunter et Leach (1983). L'Institut des sciences de la mer (MPO) a effectué des relevés plus systématiques des profils hydrologiques de la température, de la salinité, de la fluorescence, de la transparence de l'eau, des nutriments dissous et de l'oxygène dissous au large des côtes du golfe Amundsen en 1977 (Figure 5, carte a; Macdonald *et al.* 1989), en 1982 (hiver) et de 1998 à 2004 (H. Melling, MPO, données inédites; Figure 5, cartes b à g). De nombreuses stations échantillonnées pendant les relevés se trouvaient à moins de 100 km de la ZPMAN, mais peu d'entre elles se trouvaient dans des eaux directement adjacentes (Figure 5). Une station de surveillance à long terme, A1, a été établie par l'Institut des sciences de la mer (MPO) en 1997 à l'endroit le plus profond du golfe Amundsen, au nord-ouest du cap Parry (Figure 5, carte h). Depuis, des profils complets des paramètres physiques et géochimiques ont été mesurés chaque année à la station A1 par l'Institut des sciences de la mer, lesquels ont été complétés par des mesures prises par le réseau ArcticNet à partir du milieu des années 2000 (H. Melling, MPO, comm. pers.) et lors de l'évaluation des écosystèmes marins de la mer de Beaufort au Canada (EEM-MBC) en 2017 et 2019.

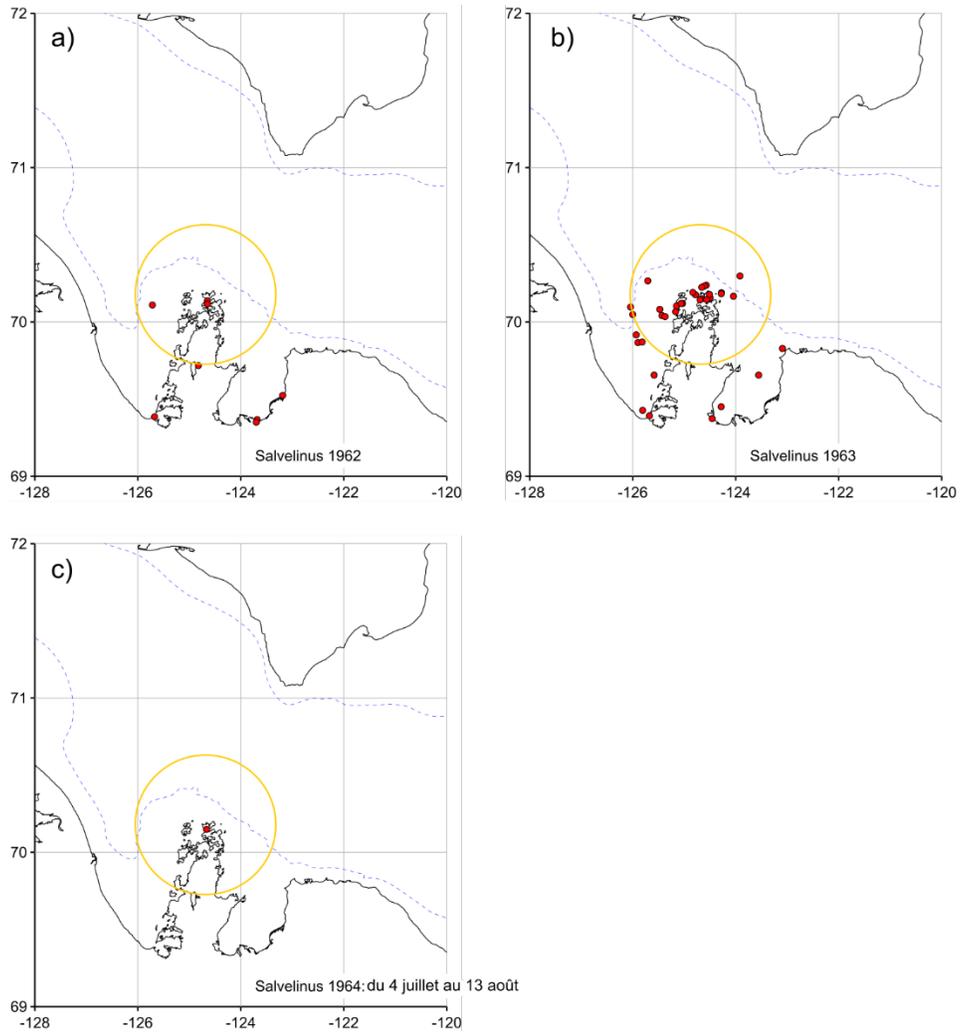


Figure 4. Emplacements des relevés sur le profil de l'eau qui ont été effectués près de la ZPMAN au moyen du N. M. Salvelinus en 1962 (a), 1963 (b) et 1964 (c). Ces relevés ont permis de recueillir des données sur la température, la salinité et, parfois, l'oxygène dissous (Hunter et Leach 1983). Les cartes ont été fournies par H. Melling.

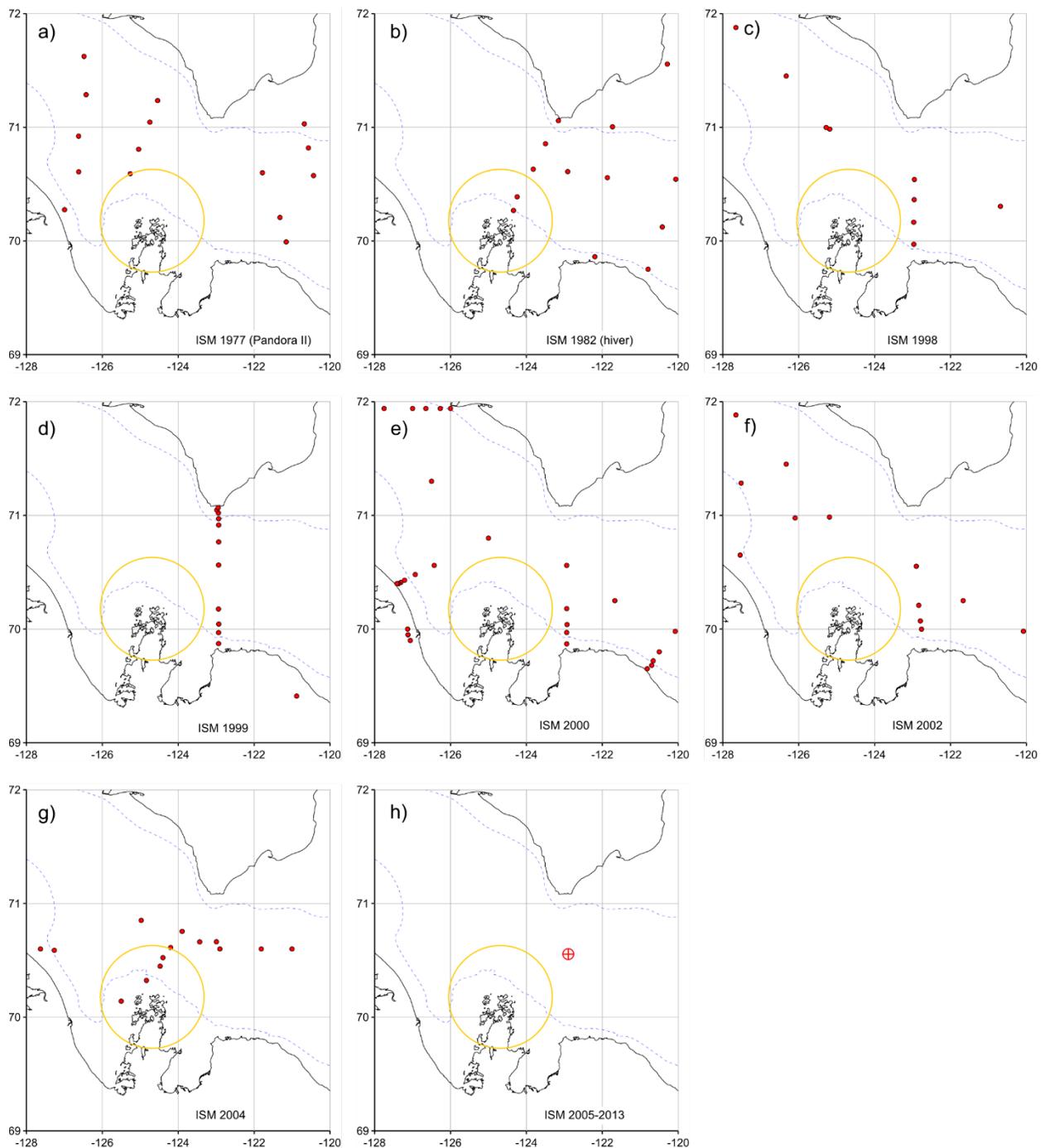


Figure 5. Cartes a) à g) : emplacements des relevés sur le profil de l'eau (température, salinité, fluorescence de la chlorophylle a, transparence, nutriments dissous et oxygène dissous) qui ont été effectués par l'Institut des sciences de la mer (MPO) à une distance de moins de 100 km de la ZPMAN entre 1977 et 2004. Carte h) : emplacement de la station de référence A1 à l'endroit le plus profond du golfe Amundsen où des profils océanographiques sur toute la profondeur sont établis chaque année depuis 1997 (H. Melling, MPO, données inédites). Les cartes ont été fournies par H. Melling.

Des mesures continues de la température et de la salinité à la surface de la mer ont été recueillies le long de la trajectoire du NGCC *Sir Wilfrid Laurier* pendant son passage au nord de la baie Darnley à la fin de septembre 2006 (H. Melling, MPO, données inédites), et par le NGCC

Nahidik dans le cadre de l'étude des eaux marines côtières du Nord (EEMCN) en 2008 (B. Williams, MPO, données inédites). Les trajectoires des courants de surface ont été mesurées à l'aide de bouées munies d'un système de marquage par satellite (« dériveurs ») larguées dans la région à la fin de l'été 1987 et 1988 (H. Melling, MPO, données inédites, Williams et Carmack 2008), et dans le cadre de l'EEM-MBC de 2017 à 2019 (B. Williams, MPO, données inédites). Les données des dériveurs ont démontré que des courants côtiers se sont formés au cours de forts vents d'ouest qui ont transporté les eaux de surface du plateau de Beaufort et du cap Bathurst vers la baie Franklin, la baie Darnley et vers l'est vers le détroit Dolphin et le détroit Union en quelques jours (Niemi *et al.* 2020). Les observations indiquent que les remontées et les plongées d'eau fréquentes dues au vent et à la bathymétrie le long de la rupture de pente du plateau de Beaufort et au cap Bathurst (p. ex., Williams et Carmack 2008) sont importantes à l'échelle régionale. Les mêmes processus peuvent être actifs le long de la côte sud du golfe Amundsen, à travers l'embouchure de la baie Darnley et au cap Parry, mais cela n'a pas encore été établi au moyen d'observations. Si la fréquence des remontées d'eau est démontrée de cette façon, il s'agira d'un processus essentiel pour l'écosystème de la ZPMAN, reconstituant les nutriments des eaux de surface qui pénètrent éventuellement dans la baie Darnley (Niemi *et al.* 2020).

Il existe très peu de données océanographiques sur les zones côtières de la ZPMAN. Des données sur la température et la salinité ont été recueillies lors de relevés de poissons effectués dans les eaux côtières de la ZPMAN en 2012 et de 2014 à 2019 dans le cadre des activités de surveillance côtière estivale du programme Arctic Coast (McNicholl *et al.* 2017, D. McNicholl, comm. pers.). Des données inédites du programme Arctic Coast sur la turbidité estivale existent également pour 2017.

Plus au large, des profils océanographiques complets de la température, de la salinité, de l'oxygène dissous, de la fluorescence, de la transmission de la lumière et de la turbidité ont été recueillis dans la partie méridionale du golfe Amundsen à l'appui de plusieurs relevés sur les pêches et l'environnement menés à plus grande échelle, notamment l'Étude internationale du plateau continental arctique canadien (CASES; 2002 à 2004), le programme ArcticNet (2004 à 2009), l'Étude sur le chenal de séparation circumpolaire (CSC; 2007 et 2008), l'EEMCN (2008), et au cours de programmes consécutifs menés à bord du navire de pêche *Frosti*, soit le projet sur les poissons marins de l'évaluation environnementale régionale de Beaufort (EERB-PPM; 2012 et 2013), le projet sur les poissons marins de la mer de Beaufort (PPMMB; 2014) et l'EEM-MBC (2017 à 2019; Eert *et al.* 2015, Niemi *et al.* 2015, 2020). Dans le cadre de CASES, on a échantillonné des stations au nord et à l'ouest du cap Parry et dans la baie Franklin de septembre à octobre 2003, puis au cours d'une expédition dans la baie Franklin pendant l'hiver 2003-2004 (Fortier *et al.* 2008, Simard *et al.* 2010a). L'Étude sur le CSC a eu lieu entre l'automne 2007 et l'été 2008, avec échantillonnage au cours des saisons d'eau libre et d'hiver. L'échantillonnage hivernal a surtout eu lieu dans la polynie et les chenaux de séparation dans le nord du golfe Amundsen, alors que le navire était amarré à des floes, et le long de la lisière de la glace de rive traversant l'embouchure de la baie Franklin (Barber *et al.* 2010, Tremblay *et al.* 2012). L'échantillonnage ponctuel des stations en eau libre et sur glace de rive dans la baie Darnley a été limité pendant l'Étude sur le CSC (Barber *et al.* 2010). Les données de CASES et de l'Étude sur le CSC représentent quelques-unes des seules mesures océanographiques continues prises pendant l'hiver dans la région (bien que voir ci-dessous pour les récentes activités d'échantillonnage en hiver et les observatoires amarrés présents à longueur d'année). De même, les données océanographiques recueillies au cours des expéditions d'ArcticNet portaient sur les zones au large des côtes du golfe Amundsen et de la baie Franklin (Simard *et al.* 2010 b,c, Rail et Gratton 2011, Rail *et al.* 2011). L'EEMCN a permis de recueillir des données à des stations au nord du cap Parry et à travers toutes les parties méridionales de la baie Darnley en 2008 (Figure 6; Lowdon *et al.* 2011, Williams 2008, W. Williams, MPO,

données inédites). Les données de l'EEMCN indiquaient des températures plus chaudes et des salinités plus faibles en été dans les habitats côtiers à l'extrémité côtière méridionale de la baie Darnley, par rapport aux zones nordiques près de la pointe du cap Parry, et par rapport aux profondeurs plus grandes au moment de l'échantillonnage (W. Williams, MPO, données inédites citées dans McNicholl *et al.* 2017). Des gradients semblables du sud au nord ont été observés à partir des données sur la température et la salinité recueillies en association avec les relevés estivaux de poissons du programme Arctic Coast effectués en 2012 et de 2014 à 2019 (voir ci-dessus; McNicholl *et al.* 2017, D. McNicholl, MPO, comm. pers.). Au cours des programmes sur le terrain menés à bord du navire de pêche *Frosti*, des stations ont été échantillonnées entre août et le début de septembre le long d'un transect s'étendant au nord du cap Parry en 2013, 2014 et 2019, le long d'un transect s'étendant vers l'est à partir de la pointe Bennett en 2013, 2014 et de 2017 à 2019 et à divers transects dans la baie Franklin en 2014 et de 2017 à 2019 (Figure 7). Les profils intégrés de la température et de la salinité de sections transversales du transect sont présentés dans Niemi *et al.* (2020). Les données recueillies lors de l'EERB-PPM et de l'EEM-MBC ont révélé une forte variabilité des courants, des températures et des salinités à la surface, et de la structure de densité verticale de la colonne d'eau sur de courtes échelles de temps. La série chronologique est encore trop courte pour que l'on puisse distinguer la variabilité interannuelle de celle induite par les événements causés par le vent qui se sont produits sur des périodes beaucoup plus courtes pendant l'échantillonnage (Niemi *et al.* 2020).

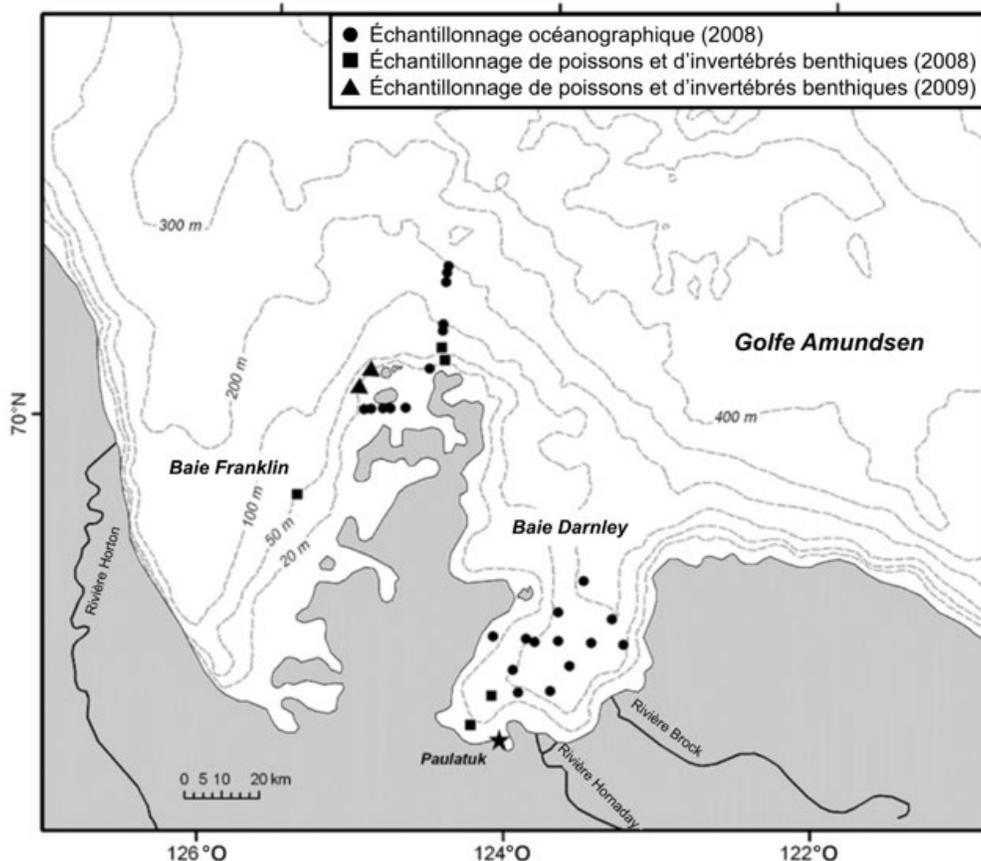


Figure 6. Stations échantillonnées à proximité de la ZPMAN dans le cadre de l'EEMCN en 2008 et en 2009 au moyen du NGCC Nahidik. Lors de l'échantillonnage océanographique, on a généralement établi les profils physiques et chimiques complets à des stations d'échantillonnage de poissons et d'invertébrés (carrés et triangles) ainsi qu'à des stations dédiées à l'échantillonnage océanographique (cercles). La carte a été adaptée de Paulic *et al.* 2012, et de Lowdon *et al.* 2011).

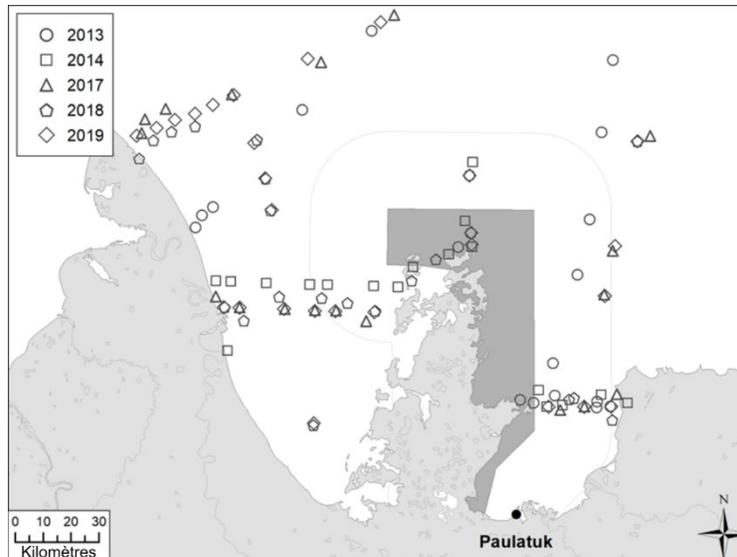


Figure 7. Stations échantillonnées à proximité de la ZPMAN dans le cadre de programmes d'évaluation de l'écosystème qui ont été exécutés consécutivement au moyen du navire de pêche Frosti : EERB-PPM (2013), PPMMB (2014) et EEM-MBC (2018-2019). L'échantillonnage aux stations comprenait généralement l'établissement des profils physiques et chimiques complets, la détermination des concentrations de nutriments, de la production primaire, de la biodiversité du zooplancton et des caractéristiques des sédiments de fond, ainsi que la réalisation d'un chalutage de fond pour connaître la biodiversité des poissons et des invertébrés benthiques. Des données sur les regroupements de poissons et de zooplancton dans la colonne d'eau ont été enregistrées de façon continue par détection hydroacoustique à partir du navire (non illustré). Le cercle gris pâle représente un rayon de 15 milles marins autour de la ZPMAN. La carte a été créée par M. Ouellette.

Des mesures océanographiques hivernales n'ont été recueillies que récemment dans la baie Darnley. Le Programme de surveillance océanique des Rangers canadiens (SORC) s'est étendu à Paulatuk en 2018 et 2019. Il a permis de recueillir des données sur la température, la salinité, l'oxygène dissous et la fluorescence dans la ZPMAN, dans la baie Argo et aux stations côtières au sud et à l'est de la pointe Bennett en avril 2018 et 2019. Les données de deux des stations à l'est de la pointe Bennett concordaient avec celles des emplacements échantillonnés pour l'océanographie au cours de l'EEM-MBC l'été précédent. Des échantillons d'eau ont été prélevés en 2019 pour mesurer le carbone inorganique dissous, l'alcalinité, la salinité, les nutriments et le $\delta^{18}\text{O}$. Un échantillonnage hivernal de la température et de la salinité a été effectué dans la baie Argo à une deuxième date en avril 2019 lors du programme Arctic Coast, à l'aide de méthodes compatibles avec celle du Programme de SORC (D. McNicholl, MPO, comm. pers.). Collectivement, les données suggèrent que la baie Argo est coupée sur le plan hydrographique du mélange avec la baie Darnley pendant l'hiver et qu'elle ne reçoit pas d'apport important d'eau douce provenant des lacs et des cours d'eau avoisinants (Dempsey *et al.* 2018, 2019). Les responsables du système SmartICE se sont associés aux observateurs du programme de surveillance Munaqsiyit pour lancer un projet pilote dans la RDI (à Paulatuk) en janvier 2020, et prévoient poursuivre l'échantillonnage chaque année. Bon nombre des paramètres recueillis dans le cadre des activités de surveillance hivernale du programme Arctic Coast et du Programme de SORC et par le système SmartICE sont semblables.

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) recueille des données météorologiques au cap Parry depuis 1956 (température, vitesse du vent, direction du vent) que l'on peut utiliser conjointement avec les données océanographiques disponibles pour évaluer le couplage atmosphère-océan.

Les données océanographiques et biologiques provenant de profileurs acoustiques de zooplancton et de poissons sont disponibles à partir d'un certain nombre d'observatoires amarrés déployés à l'année au cours des deux dernières décennies dans les régions extracôtières du golfe Amundsen par l'Institut des sciences de la mer, le programme ArcticNet, CASES, l'Étude sur le CSC et l'EEM-MBC. Aucun n'était situé près de la ZPMAN, mais les données accumulées peuvent donner un aperçu des processus physiques qui se déroulent au cours d'une année en réponse aux vents, aux conditions météorologiques et à l'état de la glace sur une plus grande échelle géographique.

Il n'existe pas de données sur les régimes des courants ou la bathymétrie dans la baie Darnley, ce qui représente un déficit important pour la capacité de comprendre ou de modéliser la circulation de l'eau qui régit l'apport et la distribution des nutriments, de l'eau douce et des sédiments.

La variabilité spatiale, saisonnière et interannuelle de la concentration de nutriments dans la ZPMAN et les eaux adjacentes demeure mal caractérisée. Les nutriments étaient souvent mesurés en même temps que les profils de paramètres océanographiques physiques et les indices de la production primaire dans le cadre de CASES, de l'Étude sur le CSC, de l'EERB-PPM, du PPMMB et de l'EEM-MBC décrits ci-dessus. Les données de référence les plus uniformes sur les concentrations de nutriments dans la ZPMAN et les eaux adjacentes existent pour les trois transects à l'ouest, au nord et à l'est du cap Parry échantillonnés en août 2014 et de 2017 à 2019 dans le cadre des programmes au large des côtes menés à bord du navire de pêche *Frosti* (Figure 7). Toutefois, les données ne portent que sur une courte période en été.

On ne connaît pas les stocks actuels de nutriments disponibles pour la prolifération à la fin de l'hiver dans la ZPMAN, bien qu'il existe quelques données provenant de différents échantillonnages répartis. Les concentrations de nutriments ont été mesurées à des stations sur glace fixée le long de l'embouchure de la baie Darnley pendant l'Étude sur le CSC au printemps 2008 (C. Michel, MPO, comm. pers.). Les concentrations de nutriments, la fluorescence et le carbone inorganique dissous ont été inclus dans la série de mesures prises dans le cadre du Programme de SORC en 2018 et 2019 (décrites ci-dessus).

La contribution des nutriments d'origine terrestre provenant des apports fluviaux ou de l'érosion côtière demeure non caractérisée dans la région de la ZPMAN (voir la *Section 5.5*).

5.1.2. Stratégies et application

Le forçage atmosphérique à de grandes échelles géographiques (des milliers de kilomètres) prépare le terrain pour les événements et les conditions de l'océan et de la glace de mer rencontrés dans la baie Darnley. Les afflux d'eau provenant des grands cours d'eau, de l'océan Pacifique par le détroit de Béring et de l'océan Atlantique déterminent les propriétés chimiques des eaux de l'océan Arctique juste à l'extérieur de la baie. Les données actuellement disponibles indiquent que la baie Darnley est touchée par des processus physiques qui se déroulent bien au-delà des frontières de la ZPMAN. Cependant, la réponse du système local aux forçages à grande échelle peut être modulée par les conditions locales (p. ex., bathymétrie, géographie côtière, étendue de la glace de mer, apports d'eau douce) si elles sont connues. Les concentrations de nutriments dans la partie supérieure de la colonne d'eau et la capacité du système à reconstituer les nutriments dans la zone euphotique sont des facteurs importants pour la productivité primaire dans la région. Toutefois, les mesures des nutriments ne fourniront pas à elles seules des données facilement interprétables sur la capacité de production du système. Ces mesures doivent être jumelées à des mesures biologiques pour les producteurs primaires (p. ex., chlorophylle *a*, production primaire; *Section 6.2*). Il est recommandé d'intégrer les programmes d'échantillonnage sur le terrain pour les paramètres océanographiques

fondamentaux et les concentrations de nutriments à l'échantillonnage sur le terrain pour les producteurs primaires associés à la glace, vivant sous la glace et vivant en eau libre (*Section 6.2*) et le zooplancton (*Section 6.3*).

Une conception à deux niveaux pour la collecte de données à l'échelle locale et régionale est recommandée, conformément à la pratique standard pour l'échantillonnage océanographique et l'échantillonnage des nutriments : 1) un échantillonnage fréquent (plusieurs fois par année) à un petit sous-ensemble de sites localisés dans la ZPMAN pour saisir les variations saisonnières et les événements épisodiques comme les remontées d'eau; 2) un échantillonnage moins fréquent (une ou deux fois par année) à un plus grand nombre de sites répartis dans une vaste zone géographique afin de capturer des forçages liés à l'atmosphère, à la glace de mer et à l'océanographie plus vastes agissant à l'échelle régionale.

Pour la composante fréquente d'un programme d'échantillonnage, l'échantillonnage propre à la ZPMAN fournirait des renseignements localisés sur la variabilité des distributions de masse d'eau et des propriétés dans les divers habitats compris dans la ZPMAN (estuariens, côtiers extracôtiers), ainsi que pour des échelles de temps saisonnières et interannuelles pertinentes. Il faut accorder une attention particulière à la résolution temporelle et spatiale fournie par les sites d'échantillonnage sélectionnés, car les paramètres océanographiques fondamentaux et les concentrations de nutriments présenteront une variabilité spatiale et temporelle dans toute la région. Les concentrations de nutriments dans l'échancrure méridionale seront probablement influencées par la dynamique du brassage et de la circulation dans les eaux peu profondes, par la production associée à la glace de rive, par la stratification causée par les apports d'eau douce des cours d'eau et par les nutriments d'origine terrestre. Dans le nord, près de l'interface océanique avec le golfe Amundsen, les concentrations de nutriments sont susceptibles d'être influencées par une plus grande exposition au brassage d'eau dû aux vents et à d'éventuels processus de remontée d'eau qui peuvent se produire le long des pentes du bassin central du golfe Amundsen et près de la polynie récurrente (Barber *et al.* 2010). Des renseignements contextuels sur les interactions océan-glace de mer-atmosphère, les caractéristiques et les déplacements de la glace de mer, la structure des masses d'eau et la circulation de l'eau seront importants pour comprendre les facteurs liés à la disponibilité des nutriments dans la ZPMAN, qui sont les composantes de base de la productivité de l'écosystème.

On pourrait surveiller les paramètres océanographiques fondamentaux et les concentrations de nutriments à l'intérieur des limites de la ZPMAN en renforçant et en élargissant les programmes communautaires existants (p. ex., Programme de SORC, le programme Arctic Coast) afin d'obtenir de l'information à plus grande échelle saisonnière et spatiale. Bon nombre des paramètres océanographiques fondamentaux recommandés (Tableau C1) peuvent être facilement mesurés à l'aide d'une seule sonde de mesure de la conductivité, de la température et de la profondeur (CTP) munie des capteurs nécessaires. Le prélèvement d'échantillons d'eau pour mesurer les concentrations de nutriments et vérifier les paramètres océanographiques est relativement simple parce qu'il repose sur des pratiques standard, mais exige des méthodes propres et l'accès à un cryostat (-80 à -20 °C) pour congélation immédiate. En plus de l'échantillonnage aux sites de surveillance, des protocoles de mesure océanographique de base pourraient être introduits dans les programmes communautaires qui fonctionnent pour d'autres indicateurs afin de recueillir des renseignements sur les habitats directement pertinents pour les objectifs de conservation et les espèces clés (p. ex., les surveillants communautaires pourraient effectuer des collectes de profils CTP aux emplacements où des bélugas sont capturés).

Pour la composante moins fréquente d'un programme d'échantillonnage, des programmes de recherche dans les zones extracôtières devraient être établis ou mis à contribution pour éclairer les processus physiques à grande échelle qui peuvent contribuer aux variations d'une année à l'autre et aux changements observés dans la baie Darnley. Les programmes qui se déroulent à

partir de navires pouvant prélever des échantillons au large des côtes sont habituellement dotés de l'expertise et de l'équipement nécessaires à la normalisation et fonctionnent en collaboration à diverses fins scientifiques. La collaboration pourrait être la stratégie la plus réalisable pour l'échantillonnage océanographique et des nutriments au large des côtes. La grande majorité des données sur l'océanographie et les nutriments disponibles pour la région de la ZPMAN a été recueillie à l'extérieur des limites de la ZPMAN, principalement au nord de la pointe Bennett et du cap Parry, à des emplacements extracôtiers.

Les sites d'échantillonnage pour lesquels il existe déjà des séries chronologiques intermittentes sur l'océanographie seraient de bons candidats en tant que sites de surveillance à long terme. L'information provenant de ces sites serait améliorée grâce à un échantillonnage plus fréquent d'une saison à l'autre, à l'utilisation de capteurs satellitaires, d'instruments de mesure autonomes à l'année installés sur des amarrages océanographiques submergés et peut-être au moyen de protocoles comparables intégrés à un programme de surveillance communautaire (p. ex., le Programme de SORC a effectué des échantillonnages à l'une des stations d'échantillonnage en mer de l'EEM-MBC au cours de l'hiver 2019).

La mise en place stratégique d'un amarrage équipé d'une série d'instruments océanographiques permettrait de prolonger la durée des relevés saisonniers d'observations physiques et chimiques grâce à la surveillance passive. Des instruments sont disponibles pour mesurer une série de paramètres sur un cycle annuel, y compris la température, la salinité, l'oxygène dissous, la fluorescence, la pression, la vitesse du courant, l'épaisseur de la glace, les niveaux naturels de bruit de fond (tel que mesuré précédemment; Waddell et Farmer 1988, Xie et Farmer 1991, 1992) et un éventail de paramètres biologiques (*Section 6*). Les observatoires océanographiques amarrés peuvent être particulièrement utiles dans les parties septentrionales de la ZPMAN auxquelles on n'a pas accès aussi souvent, où les conditions de l'état de la mer et de la glace de mer sont plus difficiles et où il existe peu de données pour caractériser les processus océanographiques qui soutiennent l'aire d'alimentation marine du cap Parry. Bien que la technologie passive installée sur un observatoire amarré coûte cher, ce sont les coûts de positionnement et d'entretien d'un navire hauturier qui sont les plus élevés. Des observatoires amarrés placés par des résidents au moyen de leurs navires réduiraient considérablement les coûts, mais pourraient être limités aux eaux moins profondes. Il faudrait les enlever des zones où la profondeur est inférieure à 20 m avant la formation de la glace de rive à l'automne.

Il existe un grand manque de connaissances concernant la circulation de l'eau dans la baie Darnley. Il est nécessaire de comprendre les régimes de circulation de l'eau qui transportent et distribuent les nutriments, l'eau douce et les sédiments pour comprendre les processus physiques qui soutiennent la production et la capacité écologiques de la ZPMAN. Les vitesses de courant, qui aident à déterminer les régimes de circulation, sont donc recommandées comme l'une des principales variables océanographiques à inclure dans le plan de surveillance. Les vitesses de courant peuvent être mesurées à l'aide d'un profileur de courant à effet Doppler installé sur un amarrage. Il existe une capacité et des compétences croissantes pour élaborer des modèles biophysiques propres à la baie Darnley qui utilisent les données océanographiques recueillies dans le cadre d'un programme de surveillance pour estimer les conditions chimiques et physiques de l'habitat qui existent entre les observations éparses. Ils peuvent également prédire les effets de facteurs physiques (p. ex., tempêtes, changements de la configuration des vents, retrait tardif ou précoce de la glace) sur le système, avec des interprétations complémentaires des conséquences pour les animaux de niveau trophique supérieur. La modélisation et la surveillance combinées pourraient être un processus itératif, où les sorties du modèle sont utilisées pour éclairer et améliorer la sélection des paramètres de surveillance et des emplacements d'échantillonnage. Cependant, les efforts de modélisation à

eux seuls souffriront du manque de renseignements sur les courants et la bathymétrie. La nécessité de la bathymétrie est abordée à la *Section 5.3*.

5.2. STRUCTURE DE LA GLACE, ÉPAISSEUR DE LA NEIGE ET DE LA GLACE ET MOMENT DE LA DÉBÂCLE ET DE L'ENGLACEMENT

La formation, la présence prolongée et la fonte de la glace de mer et de la neige sont des caractéristiques déterminantes des écosystèmes marins de l'Arctique. La répartition et la concentration de la glace de mer et de la neige ainsi que le moment où elles se forment et s'accumulent, respectivement, exercent une forte influence de bas en haut sur la vie marine. La glace peut être une barrière ou une plateforme pour la recherche de nourriture (p. ex., Smith 1981, Loseto *et al.* 2006, Asselin *et al.* 2011) et fournir un habitat de mise bas sûr pour les phoques et l'ours blanc (p. ex., Smith et Stirling 1975, Amstrup et Gardner 1994). De même, la glace de mer pendant toutes les saisons peut être utilisée comme habitat pertinent par les poissons marins comme la morue arctique, en particulier pour éviter les prédateurs (LeBlanc *et al.* 2020). L'amincissement de la neige et de la glace au printemps peut indiquer l'apparition de stades précis du cycle biologique pour le zooplancton, les poissons et les mammifères marins (Wold *et al.* 2011, Harwood *et al.* 2012 a, Yurkowski *et al.* 2016 b, Darnis *et al.* 2019). La durée totale de la saison libre de glace détermine la possibilité de recherche de nourriture en eau libre pour les animaux de niveau trophique supérieur et peut limiter la période de production primaire en eau libre. Des saisons plus longues sans glace peuvent être bénéfiques pour certaines espèces, comme les oiseaux de mer, la morue arctique et l'omble chevalier, en permettant un accès plus long à des aliments saisonniers importants, alors que la débâcle précoce de la glace peut entraîner des compromis préjudiciables pour des espèces dépendantes de la glace comme le phoque annelé. De même, des durées plus courtes de présence de glace au printemps peuvent entraîner des déclin de la production primaire et secondaire sous la glace (voir la *Section 6.2*). La répartition et l'épaisseur de la neige ont une incidence importante sur des composantes physiques et écologiques du milieu marin en hiver et au printemps. La neige agit comme une couverture isolante sur la glace, modérant l'échange de chaleur entre la glace et l'atmosphère, de sorte que l'épaisseur de la glace est mieux maintenue tout au long de la saison et que la fonte de la glace est retardée au printemps. La neige est généralement répartie de façon relativement égale sur la glace lisse de première année (Iacozza et Barber 1999) qui domine dans la baie Darnley. Cependant, d'épaisses congères peuvent s'accumuler près des ondins glaciels et des crevasses de pression, fournissant un habitat essentiel de mise bas et d'élevage des blanchons pour le phoque annelé et un habitat de chasse pour l'ours blanc (p. ex., Smith et Stirling 1975, Ferguson *et al.* 2005, Iacozza et Ferguson 2014).

À un niveau plus fondamental dans l'environnement, la glace, la neige et les processus océaniques à l'interface glace-océan agissent comme des contrôles sur le moment, la distribution et l'ampleur de la production primaire avec des effets en cascade sur les niveaux trophiques supérieurs (p. ex., Post 2017, Stige *et al.* 2019). L'épaisseur de la neige exerce un fort contrôle sur la quantité de rayonnement photosynthétiquement actif qui atteint les producteurs primaires sympagiques à l'intérieur et en dessous de la glace (Welch et Bergmann 1989, Mundy *et al.* 2005, Campbell *et al.* 2015). La glace de mer joue un rôle clé dans les processus écosystémiques. Par exemple, lorsque la glace de mer se forme, elle libère de la saumure dense et froide dans la colonne d'eau selon un phénomène connu sous le nom de rejet de saumure (Polyakov *et al.* 2013). Dans les eaux peu profondes, le rejet de saumure peut augmenter considérablement la salinité des eaux sous-jacentes. Dans les eaux profondes, le rejet de saumure induit des processus de brassage convectif causé par la densité qui épaississent la couche d'eau supérieure (la couche polaire mélangée) et reconstituent les nutriments dissous dans la zone photique (Peralta-Ferriz et Woodgate 2015). Par conséquent,

la couche supérieure de la colonne d'eau est prête pour la prochaine saison productive. On a constaté la glace de mer emprisonne divers assemblages protistes dans sa structure au moment de sa formation, lesquels survivent à l'hiver et déclenchent la prolifération des algues de glace au retour du soleil au printemps (Niemi *et al.* 2011). Il a été démontré que la glace de mer en formation incorpore de façon sélective des cellules plus grosses (de taille supérieure à 4 µm), ce qui entraîne des différences importantes dans la composition taxonomique des protistes entre la glace de mer et les eaux de surface à mesure que la saison automnale avance (Rózańska *et al.* 2008). On a émis l'hypothèse que les changements relatifs au moment de l'englacement dans la région pourraient avoir une incidence sur l'abondance des protistes dans la glace de mer au printemps, mais pas nécessairement sur leur diversité (Niemi *et al.* 2011). La variabilité et les tendances de la phénologie, de l'étendue et de l'épaisseur de la glace de mer et de la neige devraient donc induire des réponses en cascade dans le réseau trophique. Il y a des conséquences directes pour certaines des composantes valorisées de l'écosystème et des espèces clés identifiées pour la ZPMAN qui utilisent des habitats composés de glace de mer et de congères (p. ex., voir les *Sections 6.8* et *6.11*; p. ex., Laidre *et al.* 2008, MPO 2014, Meier *et al.* 2014, Hollowed *et al.* 2018, Steiner *et al.* 2019). La variabilité et le changement de l'étendue et de la durée de la couverture de glace peuvent avoir des effets importants sur les cycles biogéochimiques qui alimentent le réseau trophique marin. Les tendances à la diminution de l'étendue et de l'épaisseur de la glace de mer en été observées dans l'Arctique en général et en particulier dans le bassin Canada de la mer de Beaufort (p. ex., Markus *et al.* 2009, Stroeve *et al.* 2012, Steiner *et al.* 2015, Galley *et al.* 2016, Stroeve et Notz 2018) ne peuvent pas être appliquées directement à la baie Darnley, car cette dernière est libre de glace en été et dominée par de la glace de première année plutôt que par de la glace de plusieurs années pendant les autres saisons. Des données comparables provenant des quelques stations de surveillance qui existent au Canada et dans l'Arctique russe indiquent que l'épaisseur de la glace fixée à la rive peut être étroitement liée à l'épaisseur de la neige, et il existe des preuves d'une légère diminution de l'épaisseur de la glace fixée (Dumas *et al.* 2005, Yu *et al.* 2014, Howell *et al.* 2016, Niemi *et al.* 2019, Li *et al.* 2020). Il n'existe pas d'études locales ciblant les tendances relatives à la neige et à la glace dans la baie Darnley. On recommande de surveiller la profondeur et la répartition de la neige, la structure et l'épaisseur de la glace de mer ainsi que le moment de la débâcle et de l'englacement dans la ZPMAN afin de fournir des renseignements fondamentaux sur les tendances potentielles de la glace et leur lien possible avec les tendances des données biologiques.

5.2.1. Renseignements disponibles

Les connaissances autochtones documentées lors d'un atelier communautaire tenu à Paulatuk en 2011 décrivent la période d'englacement générale ainsi que l'étendue et la formation structurelle de la glace de mer dans la baie Darnley, y compris la formation de champ de glace en boules et de chenaux (Kavik-AXYS Inc. 2012). Les connaissances autochtones et l'imagerie satellitaire fournissent les renseignements les plus complets disponibles sur la structure et l'épaisseur de la glace de mer et le moment de la débâcle à proximité de la ZPMAN. La plupart des autres observations sont intermittentes ou se sont produites dans des zones qui ne se trouvaient pas directement dans la baie Darnley.

Les données historiques sur l'épaisseur de la neige et de la glace de rive ont été recueillies par le Service météorologique du Canada de 1959 à 1992 à partir d'une station du Système d'alerte du Nord située au cap Parry. Les données originales sont maintenant conservées par le Service canadien des glaces (voir ci-dessous). Au cours de cette période, la formation de glace de rive a généralement commencé vers la fin de septembre ou le début d'octobre, et la débâcle s'est produite de la fin de juin au début de juillet, avec une épaisseur maximale d'environ 1,5 à 2,3 m à la fin mai (Figure 8a). L'épaisseur de la neige pendant cette période a affiché une tendance

semblable, l'accumulation se produisant du début d'octobre au début de juillet et l'épaisseur maximale se produisant habituellement entre avril et mai (Figure 8 b). L'épaisseur maximale de la neige présentait une variabilité interannuelle élevée, de moins de 10 cm à plus de 50 cm (Figure 8 b). L'épaisseur de la glace et de la neige n'a pas été mesurée de façon uniforme ni à un endroit donné à proximité de la ZPMAN ni au fil du temps depuis 1992.

Il existe deux sources principales de données satellitaires sur la glace de mer auxquelles on peut accéder en ligne ou sur demande. Le Service canadien des glaces, une division du Service météorologique du Canada, héberge des données archivées et récentes sur l'étendue, la concentration et l'épaisseur de la glace de mer dans l'ouest de l'Arctique canadien depuis 1968 (disponibles sur le site [Conditions des glaces les plus récentes](#)). Des cartes des glaces qui résument l'étendue et la concentration de la glace de mer dans l'ouest de l'Arctique canadien sont disponibles sur une base hebdomadaire pendant la saison de navigation, de 1968 à aujourd'hui, et localement sur une base quotidienne lorsque des navires se trouvaient dans la région; pendant le reste de l'année, les graphiques n'ont été préparés que mensuellement avant 2005. Des renseignements supplémentaires sur l'épaisseur de la glace et la taille des floes ont été inclus dans les cartes des glaces dès 1980 (au moyen du « code de l'œuf »). Les cartes des glaces ont été obtenues à partir d'analyses d'imagerie satellitaire en conjonction avec d'autres données à l'appui, et elles ont été produites principalement pour aider à la navigation dans le cadre des opérations de la Garde côtière canadienne. Par conséquent, elles ne sont peut-être pas disponibles pour toutes les périodes, surtout pour les premières années. Des composites quotidiens et hebdomadaires d'images satellitaires qui documentent la couverture et l'épaisseur de la glace en général sont disponibles, tout comme des données brutes sur l'épaisseur de la glace. Des ensembles de données détaillées en libre accès sur les caractéristiques de la glace de mer sont également disponibles auprès du [National Snow and Ice Data Centre](#) hébergé à l'Université du Colorado, à Boulder, et comprennent des renseignements sur l'étendue, la concentration, l'épaisseur, la température de surface et le franc-bord. D'autres données dérivées de modèles qui infèrent les caractéristiques de la glace à partir de données satellitaires (capteurs hyperspectraux passifs) peuvent également être obtenues. Malheureusement, les limites de la couverture géographique et de la résolution (25 km au mieux) des capteurs hyperspectraux fixés à des satellites leur donnent probablement une valeur limitée dans la ZPMAN. Les données sur les types et les structures de glace de mer sont disponibles à partir de l'imagerie optique et des satellites radars (RADARSAT) actifs à une résolution spatiale et temporelle plus fine depuis 1994; toutefois, les données sont opportunistes et se limitent au printemps et à l'automne.

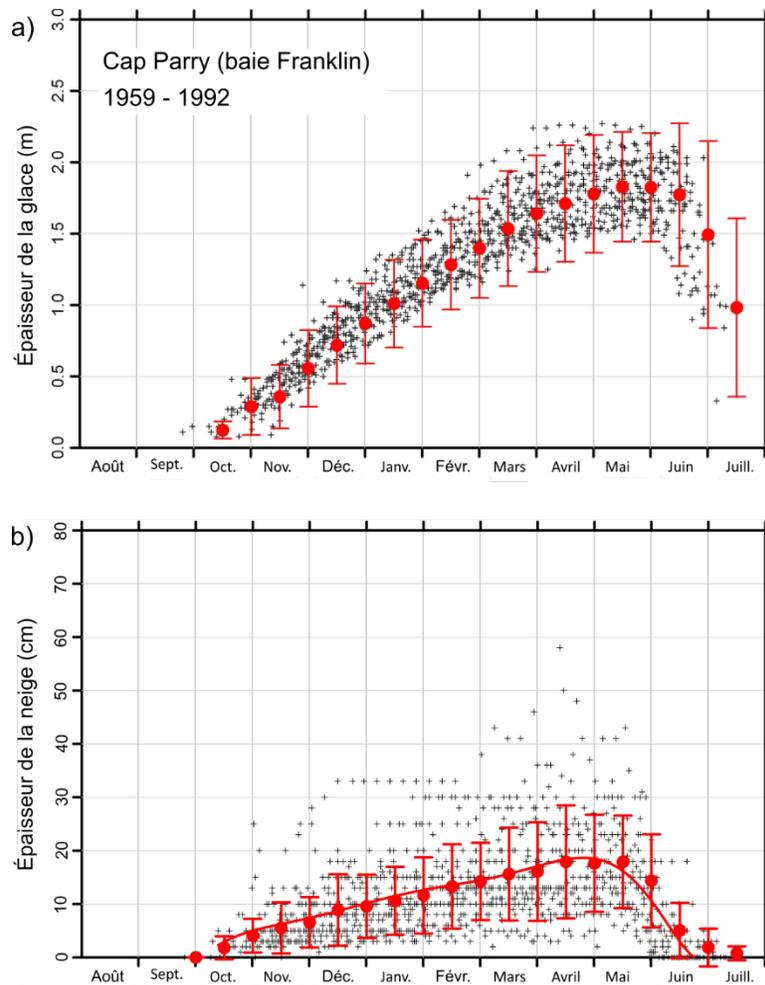


Figure 8. Séries chronologiques des données sur l'épaisseur en mètres de la glace fixée (a) et l'épaisseur en centimètres de la neige (b) qui ont été recueillies de 1959 à 1992 par le Service météorologique du Canada à la station du Système d'alerte du Nord qui est située au cap Parry. La Figure a été fournie par H. Melling.

Des observations sur le terrain de l'épaisseur de la neige, de l'épaisseur de la glace et de la rugosité de la surface ont été effectuées à l'aide d'un capteur sonar électromagnétique porté par un hélicoptère en mai 2004 pendant l'expédition d'hiver de CASES afin de vérifier les inférences faites à partir de l'imagerie satellitaire par le Service canadien des glaces (Prinsenberget al. 2008). Les transects s'étendaient du centre-sud de la baie Franklin jusqu'au nord du cap Parry. L'Étude sur le CSC a permis de mesurer les caractéristiques de la glace et de la neige à des stations le long de la lisière de la glace de rive à l'embouchure de la baie Franklin et, dans une moindre mesure, à l'embouchure de la baie Darnley en mai et juin 2008 (Barber et al. 2010). Les régimes d'échantillonnage au cours de l'Étude sur le CSC comprenaient des mesures de l'épaisseur de la glace de mer, des profils de température et de salinité, et de la microstructure (Barber et al. 2010).

Des échantillons de l'épaisseur de la glace, du franc-bord de la glace, de la profondeur de la neige, de la température de l'air et de la température à l'interface neige-glace ont été recueillis au printemps dans la ZPMAN par le Programme de SORC dans la baie Argo, et aux stations côtières au sud et à l'est de la pointe Bennett en avril 2018 et 2019 (M. Dempsey, MPO, comm. pers.). Un deuxième emplacement dans la baie Argo a été échantillonné à l'hiver 2019 dans le

cadre du programme Arctic Coast, à l'aide de méthodes conformes au Programme de SORC (D. McNicholl, MPO, comm. pers.). Des mesures océanographiques correspondantes ont été prises aux stations d'échantillonnage en hiver (*Section 5.1*).

Des résumés récents des tendances historiques et des projections de modèles pour le bassin Canada de la mer de Beaufort ont documenté une diminution de l'étendue, de l'âge et de l'épaisseur de la glace de plusieurs années au cours des 20 dernières années, ainsi qu'une augmentation de la durée de la saison sans glace (Steiner *et al.* 2015, Galley *et al.* 2016, Niemi *et al.* 2019). L'épaisseur moyenne de la glace de mer dans l'ensemble du centre de l'Arctique devrait encore diminuer de 0,3 à 2 m, tandis qu'une diminution concomitante de 10 à 80 % de l'étendue de la glace estivale pourrait entraîner des étés sans glace au cours des décennies à venir. On prévoit peu de changements des conditions hivernales (Steiner *et al.* 2015). Toutefois, ces projections ne s'appliquent pas directement à la ZPMAN en raison de sa petite taille, de son emplacement côtier et de sa séparation physique du bassin Canada. Les données actuelles du Service canadien des glaces indiquent que la saison moyenne sans glace dans le golfe Amundsen a peut-être augmenté d'environ une semaine depuis 1983 en raison de l'englacement tardif (Galley *et al.* 2016). Les cartes hebdomadaires des glaces du Service canadien des glaces indiquent que le moment de la débâcle dans le sud de la baie Darnley serait plus hâtif d'environ 2,2 jours par décennie depuis 1990 (Figure 9), et que l'englacement serait plus tardif d'environ 2,5 jours par décennie (Figure 10; H. Melling, MPO, données inédites). Près de l'embouchure de la rivière Hornaday, il se peut que de la nouvelle glace se soit formée plus tard d'environ 3,4 jours par décennie depuis 1990 (Figure 10), et que les eaux soient devenues libres de glace plus tôt d'environ 0,6 jour par décennie, bien que cette dernière valeur ne soit probablement pas fiable (Figure 9).

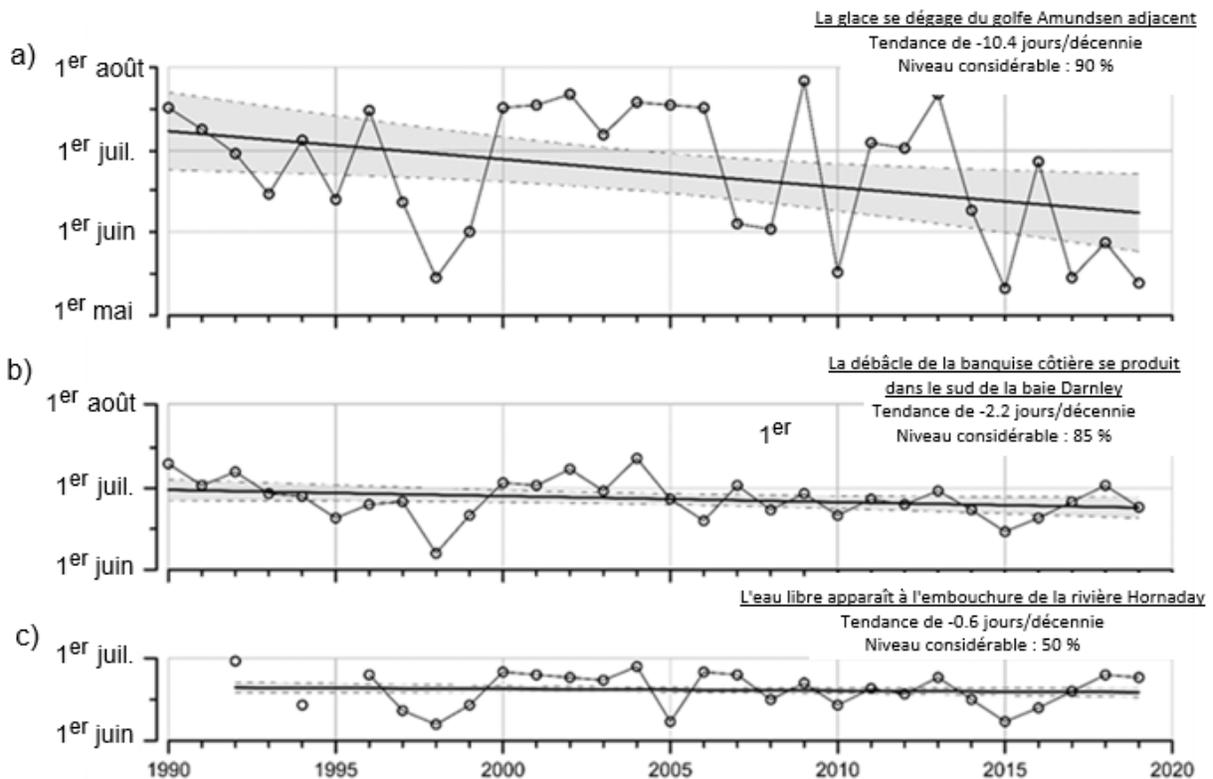


Figure 9. Moment de la débâcle de 1990 à 2019 dans le golfe Amundsen (a), dans le sud de la baie Darnley (b) et à l'embouchure de la rivière Hornaday (c). La Figure a été fournie par H. Melling.

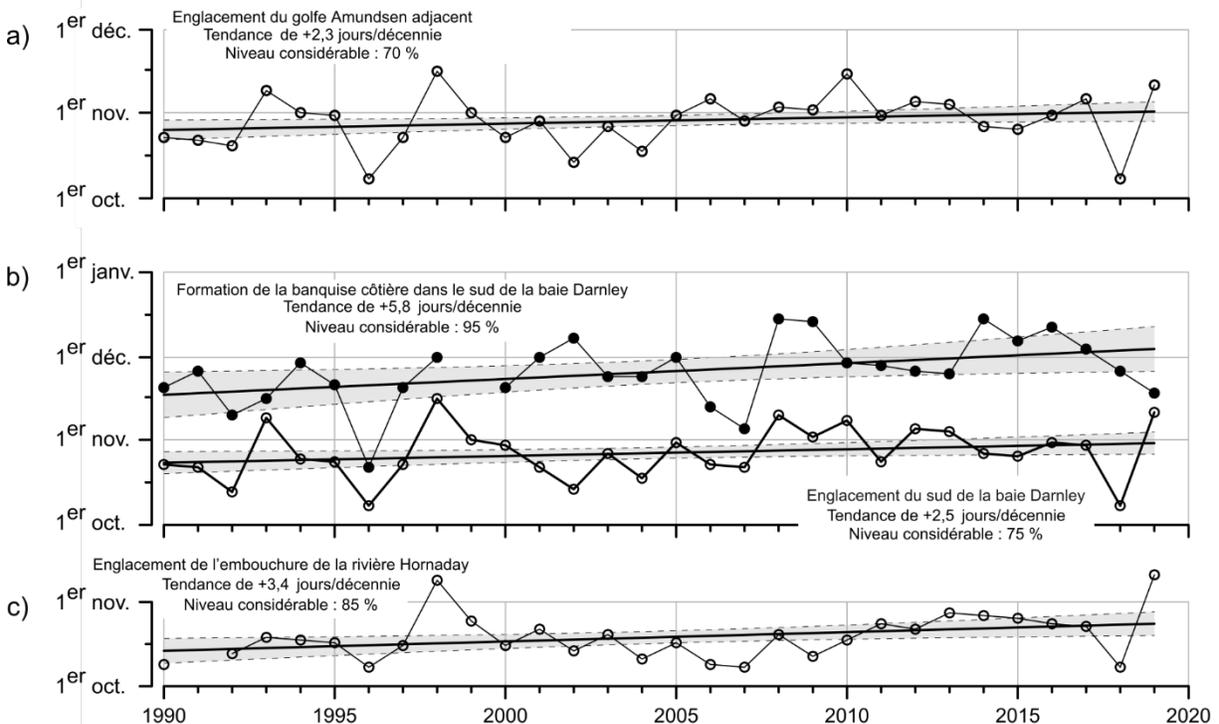


Figure 10. Moment de l'englacement de 1990 à 2019 dans le golfe Amundsen (a), dans le sud de la baie Darnley (b) et à l'embouchure de la rivière Hornaday (c). La Figure a été fournie par H. Melling

5.2.2. Stratégies et application

Les données sur le type, l'étendue, la concentration et le moment de formation de la glace de mer à l'échelle régionale dans la baie Darnley pourraient être plus faciles d'accès par l'entremise du Service canadien des glaces ou de l'imagerie satellitaire. Le brouillage causé par la couverture nuageuse et la disponibilité de la lumière présentent des inconvénients pour l'imagerie spatiale optique, mais ne posent pas de problème pour l'imagerie satellitaire dérivée de capteurs hyperspectraux passifs ou actifs (p. ex., RADARSAT). On peut demander des images de RADARSAT pour la ZPMAN une fois par année au National Snow and Ice Data Center. Les archives du Service canadien des glaces sont précieuses pour fournir un long historique des conditions de glace, mais elles présentent des lacunes temporelles pour la ZPMAN et leur interprétation est rudimentaire. Néanmoins, si les données sont suffisantes, il serait facile d'estimer les dates historiques de débâcle et d'englacement dans la ZPMAN en se basant sur les archives du Service canadien des glaces (p. ex., Figures 9 et 10), et il est fortement recommandé de le faire (voir ci-dessous). On pourrait alors calculer la durée des saisons sans glace. Des analyses des tendances historiques de la concentration, du type et de la structure de la glace pourraient également être réalisées à l'aide de ces données existantes, mais elles sont un peu plus compliquées à réaliser. Les structures les plus importantes à surveiller sont probablement l'emplacement et la disponibilité des congères le long des onds glacés, qui sont essentiels pour la mise bas du phoque annelé.

Il est possible de recueillir des renseignements locaux sur la profondeur et la répartition de la neige, ainsi que sur l'épaisseur, la structure et les propriétés thermiques de la glace de rive en renforçant et en élargissant les programmes de surveillance communautaires existants pendant les mois où les déplacements à la surface sont sécuritaires (p. ex., Programme de SORC et programme Arctic Coast). La mesure de l'épaisseur de la neige le long des transects établis est simple à faire au moyen d'une motoneige et de l'équipement de base, et fournit des

renseignements importants sur le milieu biologique en hiver et au printemps (congères comme habitat pour des mammifères marins, propriétés thermiques et lumineuses qui influent sur l'épaisseur de la glace, le moment de la fonte et la production d'algues de glace). Il faut examiner attentivement la longueur et l'emplacement des transects de mesure de la neige pour s'assurer qu'ils saisissent la grande variabilité spatiale de l'épaisseur de la neige (voir l'Annexe C). Les données sur l'épaisseur de la neige et de la glace recueillies pour surveiller les conditions de déplacement sécuritaires (p. ex., SmartICE) pourraient être doublement utilisées pour la surveillance environnementale, si elles sont disponibles. Toutefois, il convient de noter que le capteur électromagnétique mobile utilisé par SmartICE ne permet pas de mesurer avec précision l'épaisseur des ondules glaciels et de la neige qui s'y accumule. Le programme de surveillance Munaqsiyit est en voie d'établir des programmes SmartICE dans chacune des six collectivités de la RDI, ce qui permettra de surveiller à la fois la ZPMAN et la ZPM de Tarium Niruyutait et d'accroître la connectivité entre les ZPM de l'ouest de l'Arctique. Il est important d'utiliser des méthodes uniformes ou comparables si l'échantillonnage de la neige et de la glace est effectué par plusieurs programmes. Des résidents pourraient recueillir des renseignements supplémentaires sur la structure et la phénologie de la neige et de la glace près de Paulatuk en utilisant des protocoles normalisés pour la prise de photos et l'enregistrement des observations et des métadonnées connexes (p. ex., descriptions des types de glace et de neige, utilisation observée par des animaux, caractéristiques et qualités de la glace et de la neige selon les connaissances autochtones, moment de la débâcle et de l'englacement). Le jumelage des mesures de la glace et de la neige avec des mesures océanographiques et biologiques permettrait d'optimiser leur capacité potentielle d'expliquer les tendances des indicateurs liés aux animaux et à la production.

Deux étapes sont recommandées pour surveiller la profondeur et la répartition de la neige, la structure de la glace ainsi que le moment de la débâcle et de l'englacement dans la ZPMAN :

- 1) utiliser l'imagerie satellitaire historique et les données du Service canadien des glaces comme base de référence pour analyser les changements historiques de la phénologie et de la structure de la glace (ce qui peut être calculé par un résident formé);
- 2) combiner les mesures *in situ* de la surveillance communautaire avec l'imagerie satellitaire de la même période (données de RADARSAT ou du Service canadien des glaces) afin de produire des données régionales plus précises. Les mesures *in situ* sont particulièrement importantes pour la neige, car les données satellitaires ne sont pas disponibles à une résolution utile pour la surveillance.

Un sonar de profilage de la glace dirigé vers le haut et attaché à un observatoire océanographique amarré peut fournir des mesures sur l'épaisseur et la structure de la glace tout au long de la saison des glaces et sur les ondes de tempête pendant la saison des eaux libres. De même, des récepteurs acoustiques amarrés pourraient être utilisés pour détecter les événements de débâcle par le son. Comme il est décrit à la *Section 5.1*, la surveillance à longueur d'année en pleine mer au moyen d'instruments amarrés pose certains défis, notamment le fait que la logistique et les instruments requis sont coûteux, que le positionnement dans les régions extracôtières peut nécessiter l'utilisation d'un navire de gros tonnage, et que les données collectées à partir de ces installations sont enregistrées en interne et ne peuvent être récupérées qu'une fois par an. Il faut enlever les instruments installés en eaux peu profondes (moins de 20 m) avant l'englacement pour éviter qu'ils soient détruits par les glaces. Cependant, les profileurs de glace amarrés peuvent être particulièrement utiles dans les parties septentrionales de la ZPMAN auxquelles on accède rarement.

Peu importe la façon dont les conditions de neige et de glace sont mesurées, il y a quelques facteurs clés à considérer qui influenceront sur la conception du programme d'échantillonnage et la façon dont les données sont analysées. Premièrement, il y a de nombreuses façons de définir la débâcle et l'englacement à partir des données *in situ* et satellitaires. Il faut consulter un

expert pour choisir les définitions et les calculs qui conviennent le mieux au type d'information désiré (p. ex., une définition peut mettre l'accent sur les répercussions pour le phoque annelé et une autre, sur la progression de la prolifération printanière). De plus, il y aura probablement des différences considérables dans les dates de débâcle et d'englacement entre la partie méridionale de la ZPMAN (une échancrure protégée dominée par de la glace de première année relativement stable et influencée par des apports d'eau douce chaude) et la partie septentrionale autour du cap Parry (péninsule influencée par la dynamique relativement active des glaces de plusieurs années et de première année dans le golfe Amundsen pendant la saison des eaux libres; p. ex., voir les Figures 9 et 10). Il serait peut-être plus approprié de déterminer séparément les dates de débâcle et d'englacement pour des sections le long de la transition nord-sud de la ZPMAN, ou de surveiller la stabilité de la progression des tendances de débâcle et d'englacement dans la ZPMAN. Enfin, il est important que les données sur la progression de la débâcle et de l'englacement dans la mer de Beaufort et le golfe Amundsen soient consultées pendant l'interprétation des données sur les conditions de glace locales, car l'activité de la glace à l'échelle régionale influera sur ce qui se produit dans la ZPMAN.

5.3. RÉPARTITION DE L'HABITAT BENTHIQUE

La cartographie de la bathymétrie et de l'habitat benthique est considérée comme une importante lacune sur le plan des connaissances au sujet de la ZPMAN et de la baie Darnley. La profondeur, le type de fond, la taille et la composition des grains sédimentaires ainsi que les caractéristiques physiques du fond marin influent sur la répartition des animaux démersaux en fonction de leurs préférences et de leurs besoins particuliers en matière d'habitat liés à la physiologie, aux habitudes de vie ou aux étapes du cycle vital. Du point de vue de la protection, la surveillance de la répartition de l'habitat benthique peut fournir une indication des répercussions des perturbations naturelles ou anthropiques, comme l'érosion et l'effondrement côtiers, le dragage, l'échouement, le mouillage ou la décantation de déversements possibles de contaminants. La connaissance de l'emplacement des habitats benthiques sensibles peut également éclairer les décisions concernant les endroits où des activités perturbant le fond (comme le dragage, le mouillage ou l'échantillonnage scientifique) peuvent être autorisées.

Des évaluations de l'habitat benthique sont donc recommandées comme condition préalable prioritaire pour plusieurs raisons pertinentes pour les objectifs de conservation et les priorités du groupe de travail sur la ZPMAN : 1) déterminer les habitats qui peuvent être sensibles à des types particuliers de perturbation (p. ex., transport maritime, érosion côtière), y compris l'échantillonnage du fond dans le cadre d'un programme de surveillance; 2) assurer la sécurité de la navigation et la réduction des risques, et améliorer la modélisation de la circulation de l'eau en établissant la bathymétrie dans la baie Darnley (voir la *Section 5.1*); 3) établir un lien entre les variables de l'habitat benthique et la composition et la répartition des communautés benthiques pour comprendre où les sources de nourriture benthique sont concentrées pour les mammifères marins et les oiseaux de mer de niveau trophique supérieur, et pourquoi; 4) recenser l'emplacement des types d'habitats rares qui peuvent avoir des fonctions spécialisées (p. ex., varech, habitat de croissance pour les poissons, roches de frottement pour le béluga).

D'importance secondaire dans le plan de surveillance, il y a la mesure régulière des caractéristiques de l'habitat benthique qui sont directement liées à l'approvisionnement alimentaire benthique. Les paramètres de composition des sédiments peuvent donner un aperçu de la répartition des espèces benthiques et des « points chauds » et « points froids » de la biomasse dans la ZPMAN et de la raison pour laquelle ils le sont (Grebmeier *et al.* 1989, Magen *et al.* 2010, Link *et al.* 2013, Roy *et al.* 2014, 2015, Majewski *et al.* 2017, Stasko *et al.* 2018). Les zones de nourriture benthique concentrée attirent les prédateurs de niveau trophique

supérieur qui en dépendent, en particulier le phoque barbu et certains oiseaux de mer. En outre, la mesure des indicateurs sédimentaires de l'approvisionnement alimentaire benthique peut fournir des informations sur les flux de particules liés à l'océanographie physique, à la production primaire et au couplage benthique-pélagique qui alimentent le réseau trophique marin local, et qui devraient subir des changements importants en réponse à la variabilité et au changement du climat (p. ex., Carmack *et al.* 2006, Moore et Stabeno 2015). Il est possible d'utiliser les éventuelles données sur l'approvisionnement alimentaire benthique conjointement avec l'information sur la circulation de l'eau et les concentrations de nutriments (*Section 5.1*), les producteurs primaires (*Section 6.2*) et les communautés de zooplancton (*section 6.3*) pour développer une compréhension plus holistique de la façon dont les aliments et les nutriments qui alimentent la base du réseau trophique sont acheminés dans la baie Darnley.

5.3.1. Renseignements disponibles

Les données sur la répartition de l'habitat benthique sont limitées pour la baie Darnley et ne sont pas suffisantes pour fournir une base de référence crédible pour toute l'étendue de la ZPMAN. En dehors de certaines observations locales signalées pour les types de substrats de fond (Kavik-AXYS Inc. 2012), peu ou pas de données sur l'habitat sédimentaire ont été produites pour les zones côtières de la ZPMAN.

Des échantillons de sédiments de surface ont été recueillis par intermittence dans la baie Darnley dans le cadre de plusieurs programmes de recherche au large, parallèlement à un chalutage pour déterminer la diversité de la macrofaune benthique. Des sédiments de surface ont été recueillis à deux stations dans la baie de Darnley pendant l'Étude sur le CSC d'ArcticNet à l'automne 2007 et à l'été 2008 (Barber *et al.* 2010, Roy *et al.* 2014), à plusieurs stations dans la baie Darnley et au nord du cap Parry à des profondeurs entre 20 et 50 m pendant l'EEMCN en 2008 (Figure 6; Conlan *et al.* 2013) et à des transects à l'ouest, à l'est et au nord du cap Parry à des profondeurs entre 20 et 350 m pendant l'EERB-PPM (2013), le PPMMB (2014) et l'EEM-MBC (2017 à 2019; Figure 7, données brutes disponibles dans Niemi *et al.* 2020). À une plus grande échelle régionale, des échantillons de sédiments de surface ont été prélevés dans la baie Franklin et au large du golfe Amundsen dans le cadre des programmes susmentionnés, ainsi que pendant l'expédition de CASES au cours de l'hiver 2003-2004 (p. ex., Renaud *et al.* 2007a, 2007 b, Conlan *et al.* 2008). Tous les programmes menés au large des côtes ont produit des données sur la taille des grains de sédiments, la teneur en matières organiques et la composition élémentaire des sédiments (% C, % N, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). Des sédiments congelés supplémentaires provenant des deux derniers programmes sont disponibles pour d'éventuelles analyses futures. Les concentrations de pigments photosynthétiques et les compositions d'acides gras ont également été mesurées dans le cadre des programmes menés au moyen du navire de pêche *Frosti* et de l'EEMCN, respectivement. Bien que limité, l'échantillonnage a indiqué une prédominance de limon dans les sédiments du fond de la baie Darnley, et aucune tendance spatiale claire dans les indicateurs sédimentaires pour l'approvisionnement alimentaire benthique (Conlan *et al.* 2013, Niemi *et al.* 2020).

Des images de l'habitat benthique ont été prises dans des zones côtières de la ZPMAN à l'aide de véhicules téléguidés (VTG) dans la baie Argo (été 2017, hiver 2020), dans le havre Brown (2014, 2015) et à la pointe Bennett (2014, 2019) lors du programme de surveillance côtière d'Arctic Coast. Certaines images montrent d'importants champs de macroalgues à la pointe Bennett et dans le havre Brown (décrits dans McNicholl *et al.* 2017a). Les observations obtenues à l'aide des VTG concordent avec les descriptions de l'habitat fournies dans le plan de conservation de la collectivité de Paulatuk et avec les observations rapportées par les résidents de Paulatuk au cours d'un atelier sur les connaissances traditionnelles et locales tenu en 2012 (Kavik-AXYS Inc. 2012, Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016). Les

connaissances autochtones déclarées indiquent en outre que de la végétation marine est présente dans la baie Wise, qu'elle est plus prévalente entre Paulatuk et la pointe Bennett et qu'elle pousse généralement dans un substrat sableux (Figure 11). La détermination de l'étendue et de l'importance de l'habitat des macrophytes sous-échantillonnés, ainsi que des poissons et des invertébrés connexes, est pertinente pour établir des bases de référence complètes de la biodiversité dans la ZPMAN.

Les données sur la diversité sédimentaire et benthique au large des côtes recueillies à proximité de la ZPMAN ont été intégrées à des études plus vastes sur la façon dont l'habitat détermine la répartition de la macrofaune benthique à l'échelle régionale (Conlan *et al.* 2013, Roy *et al.* 2014, Stasko 2017). Les variables de l'habitat benthique étaient des prédicteurs importants de la biomasse benthique, mais les corrélations spatiales étaient faibles parce que l'hétérogénéité localisée de l'habitat interrompait les gradients environnementaux à grande échelle (Conlan *et al.* 2013, Roy *et al.* 2014, Stasko 2017). Les résultats démontrent l'importance de mesurer les variables de l'habitat benthique à l'échelle locale et à une échelle spatiale qui saisit l'hétérogénéité dans toute la ZPMAN.

Le groupe de travail sur la ZPMAN a déterminé que la cartographie bathymétrique de la baie Darnley était une priorité pour la navigation, la compréhension des régimes de circulation et l'interprétation des données biologiques. Aucun levé bathymétrique complet n'a encore été effectué dans la baie Darnley, bien que des mesures de profondeur et des observations de caractéristiques bathymétriques aient été prises en continu avec les instruments d'hydroacoustique à bord pendant l'EEMCN et les programmes menés au moyen du navire de pêche *Frosti*. En 2003 et 2009, le NGCC *Amundsen* a produit un certain nombre d'images à faisceaux multiples pour la bathymétrie détaillée à des profondeurs d'environ 50 à 100 m dans la baie Darnley, accessibles par l'entremise du groupe responsable de la cartographie océanique d'ArcticNet (Paulic *et al.* 2012). Les images ont révélé de l'érosion par la glace et des caractéristiques glaciaires reliques (Paulic *et al.* 2012).

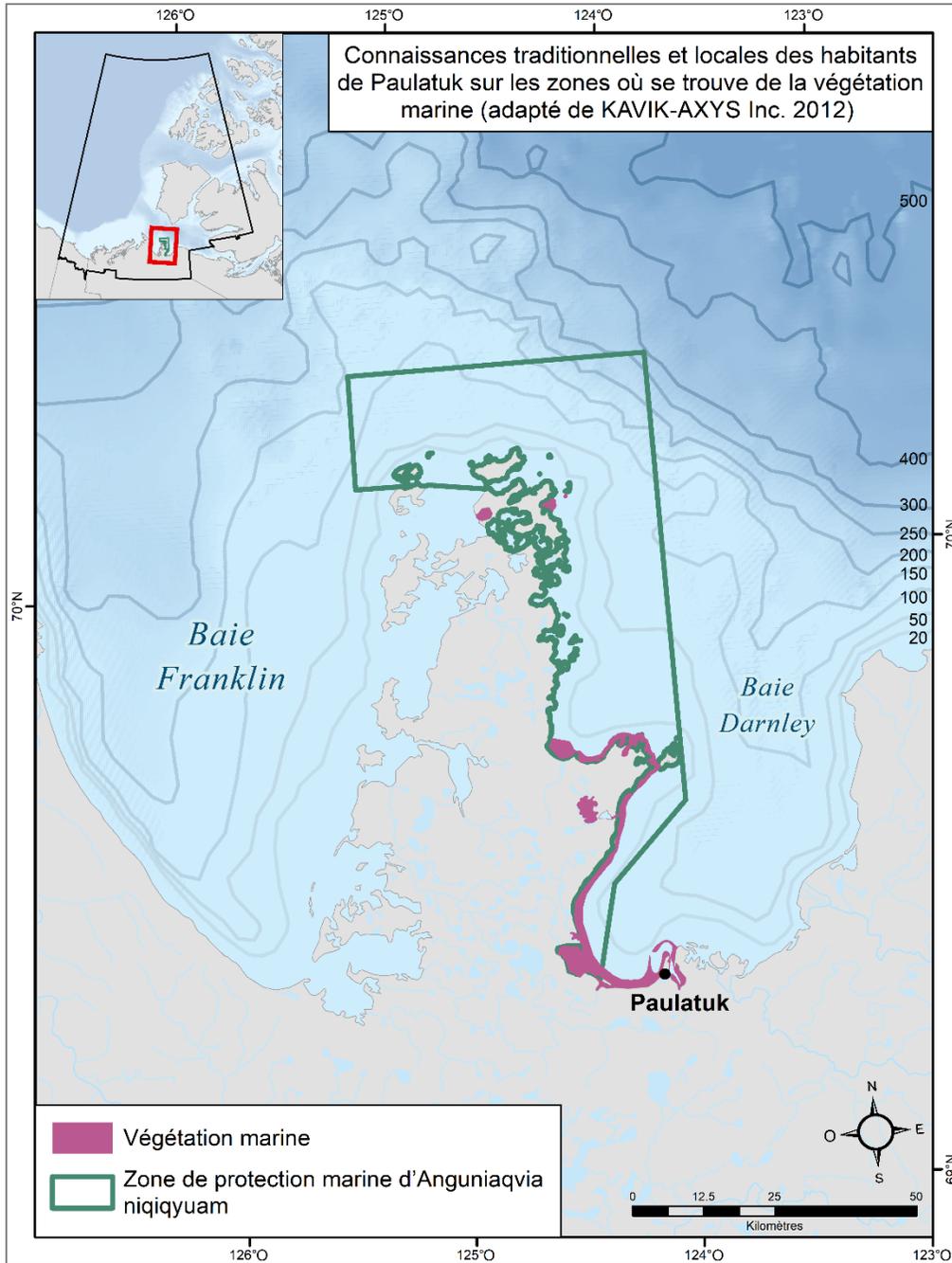


Figure 11. Répartition de la végétation marine à proximité de la ZPMAN selon les connaissances traditionnelles et locales recueillies lors d'un atelier tenu à Paulatuk en 2011. La carte a été adaptée de KAVIK-AXYS Inc. (2012) par J. Friesen et fournie par le groupe de travail sur la ZPMAN.

5.3.2. Stratégies et application

La cartographie de l'habitat benthique représente une importante lacune sur le plan des connaissances sur la baie Darnley, et est recommandée comme priorité élevée dans le cadre de cet indicateur. Les données de relevé de l'habitat benthique qui existent pour la baie Franklin et le golfe Amundsen sont probablement limitées dans leur applicabilité au benthos dans la ZPMAN, mis à part les généralisations concernant les associations à un habitat propre à

chaque espèce. Un relevé initial visant à cartographier la bathymétrie, les caractéristiques du fond et les types de sédiments dans la baie Darnley permettrait d'établir les données de référence nécessaires pour mieux comprendre la disponibilité des différents types d'habitats, les tendances spatiales de la répartition des espèces benthiques, la circulation des masses d'eau et, peut-être, le transport des sédiments. Ces types de renseignements sont essentiels à la conception de programmes d'échantillonnage pour surveiller les poissons et les invertébrés benthiques, et pour comprendre les comportements et les lieux de recherche de nourriture des mammifères marins et des oiseaux de mer de niveau trophique supérieur qui en font leur proie.

Une fois établies, les données de référence sur la répartition de l'habitat benthique pourraient être utilisées pour concevoir les futures activités de surveillance benthique à deux égards. Premièrement, les relevés continus de l'habitat benthique et de la composition des communautés d'invertébrés benthiques (voir la *section 6.4*) sont plus efficaces lorsque l'échantillonnage est stratifié aléatoirement entre les types d'habitats. Mais une telle conception n'est pas possible tant que ces types d'habitats et leur emplacement n'ont pas été déterminés. Si les relevés de référence révèlent que les caractéristiques de l'habitat côtier sont liées à celles des zones extracôtières, il pourrait être possible d'utiliser le type d'habitat côtier comme approximation du type d'habitat benthique qui existe directement au large des côtes lors de la conception d'un relevé stratifié et aléatoire. Deuxièmement, la caractérisation de l'habitat de référence permettra de déterminer la fréquence des futurs relevés. Par exemple, les zones extracôtières peuvent être relativement stables et nécessiter seulement de nouveaux relevés de l'habitat tous les 5 à 10 ans, tandis que certains habitats côtiers peuvent être jugés sensibles à des processus dynamiques ou à des risques anthropiques qui nécessitent une surveillance plus fréquente. (p. ex., herbiers de varech, zones où l'on prévoit de l'érosion, zones à forte circulation). Dans tous les cas, les emplacements des transects de cartographie de l'habitat devraient être soigneusement examinés afin de saisir l'hétérogénéité spatiale importante dans l'ensemble de la ZPMAN. Il est recommandé de déterminer l'emplacement des champs de macroalgues importants dans le cadre d'une évaluation de référence de l'habitat benthique.

Le Service hydrographique du Canada pourrait être mis à contribution pour appuyer les relevés bathymétriques à l'aide du LiDAR dans les zones côtières (nouveaux programmes requis) et extracôtières (collaboration possible avec l'EEM-MBC). Les données bathymétriques peuvent également être obtenues par satellite radar de l'Agence spatiale canadienne. Les caractéristiques physiques de l'habitat du fond peuvent être évaluées à l'aide d'autres technologies non invasives, comme des relevés acoustiques ou des caméras montées sur des VTG, des traîneaux benthiques surélevés ou des images de caméra sous-marine (p. ex., Rooper 2008). La composition des sédiments et la bathymétrie peuvent être déterminées de façon non invasive au moyen de relevés hydroacoustiques à faisceaux multiples. Les méthodes non invasives pour l'évaluation de l'habitat benthique sont possiblement les meilleures, en particulier pour le relevé de référence initial lorsque les emplacements précis des habitats sensibles sont encore inconnus. Cependant, pour vérifier sur le terrain les conclusions des relevés non invasifs du fond marin et mesurer les indicateurs de l'approvisionnement alimentaire benthique, il faudrait collecter des sédiments à l'aide de carottiers ou de bennes.

La répartition de l'habitat benthique pourrait être étudiée ou surveillée dans des zones côtières peu profondes par des résidents au moyen de bennes benthiques ou de caméras télécommandées déployées à partir de petits navires, et par des évaluations de l'habitat côtier. L'échantillonnage des sédiments dans les habitats plus profonds nécessiterait probablement la plateforme d'un navire plus grand avec des capacités de treuil. Les VTG spécialisés ou les systèmes de caméra montés sur traîneau nécessitent souvent une expertise spécialisée, tant pour leur déploiement que pour le traitement des données, afin de produire des données quantitatives à partir d'images, bien qu'ils puissent être rentables et polyvalents si l'on a recours

à des organismes et des experts pertinents. La cartographie des substrats à l'aide d'une technologie télécommandée serait donc probablement plus efficace dans un contexte de collaboration.

5.4. CHANGEMENTS CÔTIERS

Les sédiments liés à la glace qui forment la majeure partie de la côte de la mer de Beaufort connaissent des taux accélérés d'érosion côtière en raison de la variabilité du climat et des changements climatiques attribuables à deux mécanismes principaux (Steiner *et al.* 2015, AMAP 2017, Fritz *et al.* 2017). Premièrement, la fonte du pergélisol attribuable au réchauffement de la température de l'air a réduit la stabilité des côtes arctiques et les a rendues plus vulnérables à l'action des vagues. Deuxièmement, le recul vers le nord de la banquise estivale a augmenté le fetch, ce qui a permis la formation de vagues de tempête plus importantes et entraîné l'augmentation de la température de surface de la mer (Steiner *et al.* 2015, AMAP 2017). L'augmentation de l'action des vagues et des ondes de tempête peut causer une érosion côtière accrue et, par conséquent, une mobilisation importante des sédiments. Cependant, les changements dans la mer de Beaufort libre de glace qui favorisent une plus grande érosion côtière à l'ouest de la baie Darnley pourraient ne pas avoir les mêmes répercussions côtières dans la ZPMAN, dont une grande partie est protégée par la péninsule Parry contre les vents forts de l'ouest et l'action des vagues qui en découle. Tant le fetch que la force du vent en provenance de l'est n'ont pas beaucoup changé, puisque la glace se dégage habituellement du golfe Amundsen de toute façon. Les connaissances acquises sur la mer de Beaufort ne peuvent donc pas être directement appliquées à la prévision ou à la compréhension des changements côtiers dans la ZPMAN. De plus, il existe une hétérogénéité spatiale importante sur le plan de la vulnérabilité de la côte dans la ZPMAN aux changements côtiers liés au climat. La plus grande partie du trait de côte dans la partie nord de la péninsule Parry exposée est à faible risque parce qu'elle est dominée par du substrat rocheux et des falaises rocheuses qui ne sont pas vulnérables à l'érosion thermokarstique par les vagues. La partie centrale de la côte dans la ZPMAN est composée d'un mélange de substrat rocheux et de pergélisol (sédiments liés à la glace) qui présentent un risque intermédiaire. La partie sud de la côte dans la ZPMAN est dominée par des plages sablonneuses et une toundra basse qui peuvent présenter un risque relativement élevé lié aux ondes de tempête et à l'érosion, si les tempêtes deviennent plus fréquentes et l'action des vagues devient plus forte dans la baie Darnley.

L'érosion côtière peut causer des problèmes socioéconomiques importants qui ne relèvent pas de la compétence de la Direction des sciences du MPO et qui échappent à la portée de cet examen. Dans le cas présent, l'accent est mis sur les conséquences écologiques de l'érosion côtière à proximité de la ZPMAN et son applicabilité aux objectifs de conservation. De grands apports de nutriments et de carbone peuvent avoir des répercussions particulièrement importantes sur les écosystèmes des échancrures dans l'Arctique, où les zones côtières peu profondes représentent une proportion relativement importante de la superficie marine totale. Toutefois, le sort des matières rejetées et leur rôle correspondant dans le cycle biogéochimique côtier demeurent incertains (examiné dans Fritz *et al.* 2017). Les matières rejetées pourraient activer ou atténuer la production primaire par le phytoplancton pélagique et les macroalgues benthiques en introduisant des nutriments ou en diminuant la transmission de la lumière, respectivement, avec des conséquences sur la répartition, la biodiversité et l'abondance du biote de niveau trophique inférieur (*Sections 6.2 et 6.3*). Les sédiments déposés pourraient être enfouis localement plutôt que transportés hors de la baie, ce qui modifierait les caractéristiques de l'habitat sédimentaire, la turbidité au fond et les taux de remise en suspension des sédiments et de reminéralisation qui influent sur la composition des communautés benthiques et la répartition des espèces (*Sections 5.3 et 6.4*). Les modifications des propriétés de la

colonne d'eau et des sédiments auraient également des conséquences sur la disponibilité de l'habitat de recherche de nourriture et de fraie pour les poissons côtiers (*Sections 6.6, 6.7 et 6.8*). Des contaminants liés aux sédiments pourraient être rejetés dans le milieu marin par l'érosion côtière, mais il n'existe actuellement aucune donnée permettant d'étudier les charges de contaminants dans les apports terrestres à la baie Darnley ou de déterminer s'ils représentent une menace pour les animaux de niveau trophique supérieur (*Section 7.2*).

Les changements côtiers peuvent donc avoir des conséquences sur plusieurs des indicateurs biologiques qui peuvent éclairer les objectifs de conservation pour la ZPMAN. Les documents scientifiques antérieurs sur les indicateurs de surveillance de la ZPMAN (MPO 2015, Schimnowski *et al.* 2017) ne tenaient pas compte des changements côtiers, mais ces derniers sont recommandés ici, car ils peuvent fournir un contexte environnemental de base qui pourrait être important pour l'interprétation des tendances biologiques dans la ZPMAN.

5.4.1. Renseignements disponibles

Il existe très peu de données sur l'érosion ou la stabilité côtière dans la baie Darnley pour fournir une base de référence sur la position des côtes, ou une compréhension du potentiel de rejet de carbone et de sédiments. Certains renseignements peuvent être tirés de la cartographie photographique aérienne effectuée depuis les années 1940, mais ils n'ont pas encore été résumés. Les sources publiées de connaissances autochtones utilisées dans le cadre de cet examen (Annexe B) n'ont pas fourni de contexte historique pour l'érosion côtière, ce qui peut être ou non attribuable à l'accent mis sur l'information écologique plutôt que sur l'information environnementale. Des données historiques sur les marées et le niveau de la mer qui sont pertinentes aux ondes de tempête ont été recueillies au cap Parry par le Service hydrographique du Canada entre 1966 et 1982 (MPO 2019).

Les zones côtières de la ZPMAN et d'une grande partie de la baie Darnley ont été décrites et classées dans l'Atlas des zones côtières sensibles de la région de Beaufort (ECCC 2015). Des sections de côte ont été classées en fonction de leur sensibilité aux déversements d'hydrocarbures à l'aide d'un indice de sensibilité environnementale qui tient compte du type de côte, de l'exposition à l'énergie des vagues et des marées, ainsi que de la production et de la sensibilité biologiques (ECCC 2015). Toutefois, l'Atlas n'a pas fourni d'évaluation précise de la vulnérabilité des côtes à l'érosion. CanCoast, une collection d'ensembles de données servant à caractériser la vulnérabilité des littoraux marins du Canada aux changements climatiques, a fourni des catégorisations générales de la sensibilité de la baie Darnley aux changements côtiers, mais la résolution des données n'était pas suffisamment haute pour fournir des taux détaillés de changement ou des prédictions. Dans CanCoast, les zones côtières de la ZPMAN sont classées comme étant très sensibles au dégel du pergélisol et à l'érosion, tandis que la sensibilité le long de la côte est de la baie Darnley allait de modérée à élevée comparativement à d'autres régions côtières du Canada (Manson *et al.* 2019). De même, l'indice général de sensibilité des côtes indiquait que les côtes dans la région étaient très sensibles aux changements physiques causés par les changements climatiques et la variabilité du climat comparativement à d'autres régions (Manson *et al.* 2019). La collecte de données détaillées propres au site est prévue dans le cadre du plan de surveillance côtière de l'évaluation de l'état de la mer de Beaufort, dirigée par les responsables de l'activité liée à la dynamique côtière du Programme de géoscience des changements climatiques de Ressources naturelles Canada.

Sankar et ses collaborateurs (2019) ont récemment utilisé la photographie aérienne et l'imagerie satellitaire pour évaluer les taux de changement de la position du trait de côte à Paulatuk. L'étude a permis d'observer la dégradation de la côte sur une longue période allant de 1984 à 2016, et sur deux courtes périodes qui reflètent les changements aux régimes climatologiques et de la glace de mer allant de 1995 à 2005, et de 2006 à 2016. Le taux de

changement à long terme pour la côte à Paulatuk était relativement faible comparativement à d'autres zones côtières de l'Arctique, mais les résultats ont laissé entendre que des tempêtes et des vents de grande intensité ont considérablement modifié la côte (Sankar *et al.* 2019). L'échelle spatiale de l'étude était limitée à Paulatuk, mais elle pourrait donner une idée des effets possibles des tempêtes sur l'érosion côtière dans le sud de la ZPMAN.

Ressources naturelles Canada a terminé les premiers relevés de la position des côtes et de l'érosion près de Paulatuk et de la baie Argo en 2019 au moyen de drones, et les travaux sur ce projet devraient se poursuivre au cours des prochaines années en collaboration avec le groupe de travail sur la ZPMAN, le CCT de Paulatuk et Ressources naturelles Canada. (D. Whalen, Commission géologique du Canada, comm. pers.). Les données obtenues à partir des relevés par drone serviront à valider l'imagerie satellitaire de la région. Un échantillonnage du pergélisol est prévu à des sites clés d'instabilité côtière dans un proche avenir afin de déterminer la signature géochimique des matériaux qui sont érodés dans le milieu marin (D. Whalen, Commission géologique du Canada, comm. pers.). Les principaux objectifs de la recherche sur la dynamique côtière menée par Ressources naturelles Canada dans la région de la ZPMAN sont d'évaluer les changements côtiers locaux, de déterminer les taux et l'ampleur de l'érosion, de créer des cartes des inondations et de l'érosion pour la collectivité de Paulatuk et de fournir la recherche fondamentale nécessaire pour comprendre le flux de carbone et de contaminants dans l'écosystème marin côtier.

5.4.2. Stratégies et application

Une évaluation de la vulnérabilité à l'érosion côtière dans la ZPMAN est toujours nécessaire, tout comme l'établissement d'une base de référence des taux « normaux » de déplacement ou de dégradation des zones côtières. Il existe très peu de données récentes provenant de relevés côtiers. Cependant, une évaluation à long terme de la côte à Paulatuk a démontré que la photographie aérienne et l'imagerie satellitaire qui ont été archivées peuvent être une option viable pour la reconstruction des conditions historiques (Sankar *et al.* 2019). Les efforts actuels et continus déployés par Ressources naturelles Canada pour étudier le trait de côte dans la ZPMAN et vérifier sur le terrain les analyses satellitaires fourniront une compréhension de base de la dégradation côtière, mais une stratégie de surveillance continue devrait être élaborée pour assurer un suivi des connaissances acquises. Si la validation des données côtières dérivées par satellite est réussie, on pourra demander un accès aux données sur le recul côtier pour appuyer le plan de surveillance de la ZPMAN. Ressources naturelles Canada prévoit également installer un observatoire côtier pouvant donner accès à de l'information en temps réel qui pourrait être intégrée dans le plan de surveillance. Les stratégies de surveillance communautaire comprennent des relevés par drone, des relevés visuels et photographiques effectués sur le terrain ou la mesure du recul côtier par rapport à des marqueurs installés à l'intérieur des terres.

Comme il est décrit plus haut, le paysage côtier dans la ZPMAN présente une hétérogénéité spatiale importante, passant de plages principalement sablonneuses dans le sud à des falaises rocheuses dans le nord. La vulnérabilité de la côte à l'érosion, aux inondations et aux ondes de tempête sera également hétérogène et pourrait nécessiter des approches de surveillance distinctes sur le plan spatial. Il convient de noter que le terrain est actuellement en train de s'enfoncer à la suite d'un relèvement isostatique, mais le rythme du changement au niveau local n'a pas été quantifié. Le relèvement isostatique peut devoir être pris en compte lors de l'interprétation du changement de la position de la côte.

La surveillance de l'érosion côtière devrait être liée spatialement et temporellement à la surveillance de la répartition de l'habitat benthique, de la production primaire, ainsi que de la composition et de l'abondance des communautés de poissons côtiers et d'invertébrés

benthiques. Le dépôt d'une grande quantité de matières dans les zones côtières est susceptible de modifier la composition physique du fond marin et d'introduire des nutriments d'origine terrestre, mais aussi de réduire la transmission de la lumière dans la colonne d'eau. Ces effets, à leur tour, modifieraient la productivité des eaux côtières, la qualité de l'habitat local pour le varech et les macroalgues, et la qualité des substrats benthiques pour des organismes benthiques particuliers ou des poissons reproducteurs.

5.5. APPORTS D'EAU DOUCE ET LIENS TERRESTRES

L'océan et la terre sont liés sur le plan écologique. Dans le cas de la ZPMAN, ce lien est surtout maintenu par les rivières qui se déversent dans la baie Darnley. Non seulement les rivières fournissent-elles un important habitat de survie hiémale pour les poissons anadromes, mais elles apportent aussi de l'eau douce, des sédiments et des nutriments d'origine terrestre dans le milieu marin. De tels apports des rivières Hornaday, Brock et d'autres créent des gradients distincts de propriétés hydriques de l'intérieur vers l'extérieur de la baie Darnley (voir ci-dessous), établissant des habitats côtiers uniques qui profitent à des organismes à plusieurs niveaux du réseau trophique. Les eaux côtières moins salées dans la baie Darnley servent de corridors de migration saisonnière et de zones de recherche de nourriture pour les poissons anadromes (p. ex., Kavik-AXYS Inc. 2012, Harwood et Babaluk 2014), d'habitat de fraie et d'élevage possibles pour certains poissons marins (McNicholl *et al.* 2017b, 2017a) et d'habitat convenable pour les herbiers de varech qui sont autrement rares dans l'ouest de l'Arctique canadien et qui peuvent soutenir des communautés biotiques uniques (Paulic *et al.* 2012, Filbee-Dexter *et al.* 2019).

Les changements hydrologiques des écosystèmes terrestres adjacents causés par le climat auront des répercussions directes et indirectes sur les écosystèmes marins (p. ex., Chavarie *et al.* 2019). On prévoit des augmentations du débit des rivières, des crues plus précoces et une plus grande variabilité interannuelle des apports d'eau douce dans la majeure partie de l'Arctique en raison du réchauffement climatique (examiné dans AMAP 2017), bien que la mesure dans laquelle les rivières Hornaday et Brock subiront des changements hydrologiques n'ait pas encore été étudiée. Les changements du moment et de la quantité du ruissellement d'eau douce causés par le climat auraient des conséquences sur la disponibilité spatiale et temporelle de l'habitat dans les eaux de la ZPMAN pour les poissons marins anadromes, côtiers et hauturiers, ainsi que pour le zooplancton et les invertébrés benthiques tolérants aux eaux saumâtres (voir les aperçus dans les *Sections 6.3 à 6.8*). Par exemple, les taux de croissance élevés de l'omble chevalier de la rivière Hornaday ont été associés à des précipitations printanières extrêmes, probablement parce que les fortes précipitations ont accru la connectivité entre les habitats dulcicole et marin et que la productivité de l'écosystème côtier a été améliorée par l'apport accru de nutriments (Harwood et Babaluk 2014, Chavarie *et al.* 2019). À un niveau fondamental dans le réseau trophique, une stratification plus prononcée découlant de l'augmentation de la teneur en eau douce attribuable au climat peut pousser la ligne nitracline plus en profondeur et réduire les concentrations de nitrate dans les eaux de surface (Coupel *et al.* 2015). La limitation des nutriments en résultant pourrait avoir une incidence sur la productivité primaire globale et pourrait favoriser le phytoplancton de petite taille et le bactérioplankton hétérotrophe qui sont moins efficaces pour transférer l'énergie vers les niveaux supérieurs du réseau trophique (Li *et al.* 2009, Blais *et al.* 2017).

Il est recommandé de surveiller les apports d'eau douce et les liens terrestres afin de 1) contribuer à l'établissement des régimes de circulation de l'eau dans la baie Darnley (*Section 5.1*), 2) fournir un contexte général sur la disponibilité et la qualité de l'habitat pour les poissons côtiers et anadromes, les invertébrés benthiques, le zooplancton et les producteurs primaires qui bénéficient d'une salinité plus faible, de températures plus élevées ou de

nutriments d'origine terrestre et 3) fournir les données nécessaires pour comprendre si les changements de l'hydrologie terrestre ou des précipitations peuvent expliquer les changements observés dans les communautés biologiques.

5.5.1. Renseignements disponibles

ECCC utilise une jauge d'eau installée dans la rivière Hornaday (station 10OB001). Cette jauge fournit le taux d'écoulement mensuel et annuel pour la période de 1999 à 2001 et les débits et niveaux d'eau de la rivière pour les périodes de 2002 à 2009 et de 2010 à 2021 (données disponibles auprès d'ECCC : [recherche de données hydrométriques](#)). Une analyse préliminaire des données disponibles jusqu'en 2011 dans Paulic *et al.* (2012) indique que la rivière Hornaday rejette de 2 à 2,5 km³ d'eau douce chaque année, ce qui est important pour une petite échanture, et que le débit est presque nul en hiver. La grande majorité des rejets d'eau douce se produit au mois de juin, au cours duquel la crue printanière commence, atteint un sommet et diminue (Paulic *et al.* 2012). Il y a habituellement encore de la glace de rive pendant la crue printanière, ce qui cause probablement une accumulation sous la glace d'un panache saumâtre flottant d'une profondeur allant jusqu'à un mètre à l'intérieur de la baie Darnley, au sud de la pointe Bennett (Paulic *et al.* 2012). Toutefois, la fréquence et l'étendue de ce panache sous la glace n'ont pas encore été confirmées par un échantillonnage *in situ*. On ignore encore comment le panache saumâtre de la rivière est dissipé par le brassage d'eau par le vent, la circulation de l'eau, l'effet de Coriolis et les marées et où il va une fois que la glace de rive a reculé à la mi-juillet. Il n'existe pas de données sur le débit ou le niveau de l'eau de la rivière Brock ou d'autres petits réseaux de la région.

Les données sur la température et la salinité recueillies lors de l'EEMCN et des activités estivales du programme Arctic Coast ont indiqué des gradients nord-sud et côtiers-extracôtiers qui sont probablement liés aux apports d'eau douce des rivières au sud, avec des températures de l'eau plus chaudes et des salinités plus faibles dans les habitats côtiers méridionaux de la baie Darnley par rapport aux zones septentrionales plus profondes (W. Williams, MPO, données inédites, McNicholl *et al.* 2017, D. McNicholl, MPO, comm. pers.).

La quantité, l'importance et la distribution spatiale des nutriments d'origine terrestre, des matières organiques et des sédiments dans la baie Darnley n'ont pas été étudiées.

Les données sur les précipitations d'une station climatique à Paulatuk (ID 2203058) sont disponibles auprès d'ECCC. La profondeur de la neige au sol, lorsqu'elle est présente, et les précipitations totales sont mesurées, bien que la valeur des précipitations totales ne permette pas de distinguer la neige de la pluie. La majorité des précipitations se produit en été, avec un pic de pluie en août et un pic de neige en octobre (Paulic *et al.* 2012).

5.5.2. Stratégies et application

Cet indicateur représente une composante « à valeur ajoutée » du plan de surveillance, car il exige simplement la réutilisation des données recueillies pour éclairer l'indicateur des paramètres océanographiques fondamentaux et des concentrations de nutriments (température, salinité, $\delta^{18}\text{O}$, turbidité, concentrations de nutriments; *Section 5.1*) et l'indicateur de répartition de l'habitat benthique ($\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ dans les sédiments; *Section 5.3*). Les données contextuelles pour la surveillance des précipitations et du rejet des rivières sont déjà recueillies par ECCC et sont disponibles auprès de ce ministère.

La caractérisation de l'ampleur et de la variabilité de l'étendue des panaches d'eau douce des rivières qui se déversent serait particulièrement pertinente pour la répartition des poissons euryhalines, du zooplancton et des invertébrés benthiques dans la partie méridionale de la ZPMAN. Un échantillonnage régulier des paramètres océanographiques fondamentaux à

proximité et au large des embouchures des rivières aiderait à délimiter les tendances générales du mouvement et du brassage de l'eau douce. Le mouvement de l'eau douce peut être surveillé à l'aide de variables de la qualité de l'eau mesurées dans le cadre d'un programme d'échantillonnage pour les paramètres océanographiques fondamentaux (voir la *Section 5.1*). En particulier, la température, la salinité et les rapports d'isotopes stables de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) pris ensemble peuvent indiquer l'étendue et la direction du mouvement de l'eau douce. La turbidité et les concentrations de nutriments peuvent être utilisés pour déduire comment la diminution de la transmission de la lumière et la disponibilité des nutriments d'origine terrestre peuvent influencer sur les schémas spatiaux et temporels de la production primaire. Les mesures du $\delta^{18}\text{O}$ à grande échelle spatiale peuvent être utilisées pour construire un « paysage des isotopes », qui peut être vu comme une carte des points chauds pour comprendre où se trouvent les plus fortes concentrations d'eau douce dans la baie Darnley. Les températures à la surface de la mer et la turbidité déduites des images satellitaires peuvent également donner un aperçu de la répartition et du mouvement des panaches d'eau douce.

Il est possible de déterminer l'importance relative, l'étendue spatiale et le mouvement des matières organiques d'origine terrestre qui se déposent hors du panache fluvial en mesurant la teneur en matières organiques des sédiments et les rapports d'isotopes stables ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) et les rapports carbone-azote dans les sédiments prélevés par un programme d'échantillonnage de l'habitat benthique (*Section 5.3*). Il convient de noter que la détermination de l'étendue et de l'importance des nutriments et des sédiments d'origine terrestre est d'une importance secondaire pour déterminer le mouvement de l'eau douce lui-même. L'étendue spatiale des matières organiques et des nutriments d'origine terrestre suit généralement les régimes de circulation de l'eau, et bien que cela ne fournisse pas d'information sur l'importance de ces nutriments et des matières organiques pour l'écosystème, cela reste tout de même assez informatif si les programmes d'échantillonnage sont limités par des contraintes logistiques et financières.

6. INDICATEURS LIÉS À L'INTÉGRITÉ BIOLOGIQUE ET DU RÉSEAU TROPHIQUE

6.1. LIENS TROPHIQUES ET TRANSFERT D'ÉNERGIE

Hypothèses ou prédictions de changement

- Les espèces clés de niveau trophique supérieur continueront d'être attirées par la ZPMAN tant qu'il y aura des proies en quantité suffisante et de qualité énergétique satisfaisante.
- Des saisons d'eau libre plus longues, le cas échéant, modifieront l'équilibre du couplage entre les producteurs primaires, les communautés pélagiques et les communautés benthiques.
- La répartition, l'abondance et la teneur énergétique des espèces fourragères modifieront la répartition, la sélection des proies et la santé des prédateurs de niveau trophique supérieur.

Les liens trophiques ont été définis comme des composantes valorisées de l'écosystème de la ZPMAN (MPO 2011, 2014) et sont soulignés par l'accent que mettent les objectifs de conservation pour la ZPMAN sur le maintien de la productivité de l'écosystème pour l'alimentation des animaux de niveau trophique supérieur. Pour déterminer si cet objectif est atteint ou non, l'accent doit être mis sur le transfert et la fourniture d'énergie. Les *liens trophiques* sont les relations alimentaires qui existent dans le réseau trophique, qui établissent les voies par lesquelles l'énergie est transférée des producteurs primaires aux prédateurs du niveau trophique supérieur. Le *transfert d'énergie* est la quantité d'énergie qui passe par un lien trophique donné. De nombreux facteurs différents peuvent affecter l'efficacité de la chaîne

alimentaire en modifiant les liens trophiques ou le transfert d'énergie, notamment les matières premières disponibles pour les producteurs primaires, les espèces qui font partie du réseau trophique, leur abondance relative, l'appétibilité et la facilité de capture ou de maniement des espèces fourragères disponibles, la qualité de la nourriture (p. ex., la teneur en lipides ou en calories) et la façon dont les espèces influencent les populations les unes des autres par l'entremise d'interactions prédateur-proie ou de la concurrence.

Comme il est indiqué dans les documents scientifiques antérieurs (MPO 2015, Schimnowski *et al.* 2017), pour comprendre comment l'écosystème de la ZPMAN soutient les principales espèces et l'alimentation au niveau trophique supérieur, il faut examiner les conséquences que la structure du réseau trophique, la dynamique prédateur-proie et le comportement d'alimentation ont sur la croissance, la survie et la reproduction de ces espèces. À cet égard, la surveillance des liens trophiques et du transfert d'énergie peut fournir des renseignements pertinents sur plusieurs aspects des objectifs de conservation. Premièrement, elle peut répondre directement à la question de savoir si l'habitat de la ZPMAN est maintenu pour assurer l'alimentation des animaux de niveau trophique supérieur, en indiquant si des espèces clés se nourrissent de proies présentes dans la ZPMAN. Deuxièmement, des preuves substantielles donnent à penser que les déplacements, les profils de répartition et la composition des groupes de bélugas, de baleines boréales, de phoques annelés, de phoques barbues et d'ombles chevaliers sont motivés, du moins en partie, par les possibilités de recherche de nourriture (voir les aperçus ci-dessous et à la *Section 6.11*). La surveillance des liens trophiques et du transfert d'énergie peut donc indiquer comment la disponibilité spatiale ou temporelle des proies contribue à attirer dans la ZPMAN des animaux de niveau trophique supérieur de différentes espèces et de différents sexes ou groupes d'âge, et comment elle influence l'utilisation de l'habitat dans la ZPMAN. Troisièmement, la surveillance permettra de déterminer si les tendances relatives à la santé des prédateurs ou à leur état physique sont liées aux changements de la composition en espèces, de l'abondance ou de la densité énergétique des proies (Harwood *et al.* 2012 b, Choy *et al.* 2020). À l'inverse, la surveillance de la composition en espèces, de l'abondance relative, de la répartition et de la densité énergétique des proies pourrait donner un préavis des conséquences possibles pour les principaux prédateurs présents dans la ZPMAN.

Il est important que la dynamique trophique ne soit pas étudiée uniquement pour les espèces de niveau trophique supérieur. Bien que l'étude des régimes alimentaires des prédateurs soit un point de départ, les régimes alimentaires à eux seuls ne permettront pas de déterminer *pourquoi* les régimes alimentaires des prédateurs ou le contenu énergétique de leurs proies changent. Cela exige un examen plus général du réseau trophique. Par exemple, la variabilité et le changement des proportions relatives de la production primaire sympagique par rapport à la production primaire pélagique associée au déclin de la glace de mer modifieront les voies du réseau trophique pour les consommateurs primaires. On s'attend à des résultats négatifs pour certains animaux des niveaux trophiques intermédiaire et supérieur, et à des résultats positifs pour d'autres (p. ex., Meier *et al.* 2014, Hollowed *et al.* 2018, Steiner *et al.* 2019), mais la prévision des résultats exige une compréhension de la façon dont les effets se répercuteront dans le réseau trophique. Pour les changements environnementaux qui se propagent du bas vers le haut, il existe un « décalage » dans le temps de réponse des prédateurs de niveau supérieur, car les effets se propagent vers le haut à partir des niveaux trophiques inférieurs (p. ex., Post 2017). Il peut s'agir d'un défi particulier pour les mammifères marins migrateurs qui ont peut-être quitté la ZPMAN avant qu'un effet ne soit observé ou qui obtiennent la majeure partie de leur énergie de l'extérieur de la ZPMAN. La surveillance des espèces de niveau trophique inférieur donnera de meilleures chances de détecter rapidement les changements.

Par conséquent, il est recommandé de surveiller les liens trophiques et la teneur énergétique des quatre grands groupes du réseau trophique afin de « suivre » les effets de bas en haut ou de haut en bas, c'est-à-dire pour le zooplancton, les invertébrés benthiques, les poissons et les mammifères marins. Chacun de ces groupes est susceptible de réagir un peu différemment aux facteurs environnementaux à différentes échelles temporelles.

Les connaissances sur les liens trophiques et le transfert d'énergie peuvent être acquises par l'observation directe du comportement alimentaire d'animaux ou l'analyse de contenu stomacal, ou par l'analyse d'un biotraceur ou d'un ensemble de biotraceurs trophiques dans les tissus d'animaux. Les biotraceurs trophiques sont des produits chimiques d'origine naturelle que l'on peut mettre à profit pour inférer les sources ou la qualité de la nourriture d'un organisme; il s'agit des rapports d'isotopes stables ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$), des compositions d'acides gras, des concentrations de mercure, des isoprénoïdes hautement ramifiés (HBI) et des teneurs en lipides et en calories.

6.1.1. Renseignements disponibles

Les signatures des acides gras du zooplancton ont été mesurées à partir d'échantillons prélevés à proximité de la ZPMAN au cours de CASES (2003 et 2004) et de l'Étude sur le CSC (Wold *et al.* 2011, Connelly *et al.* 2012, 2014, Darnis *et al.* 2019). De concert avec de récentes études sur des biotraceurs de poissons appropriés dans la mer de Beaufort voisine, les données confirment que le zooplancton est une source importante d'énergie pour les poissons benthiques et pélagiques de la région (Connelly *et al.* 2012, 2014, Giraldo *et al.* 2016, 2018, Stasko *et al.* 2016). Le zooplancton est également une proie connue pour de nombreux invertébrés benthiques et pélagiques, ainsi que pour la baleine boréale (Walkusz *et al.* 2012). Dans la ZPMAN en particulier, les densités énergétiques (teneurs en calories) ont été quantifiées pour diverses proies zooplanctoniques importantes, dont les copépodes *Paraeuchaeta glacialis* et *Calanus* spp., les amphipodes *Themisto* spp. et le krill *Thysanoessa* spp. (Lynn 2016). Ces organismes, ainsi que les copépodes *Metridia longa*, ont été définis comme certaines des proies les plus importantes pour la morue arctique et le capelan (*Mallotus villosus*) capturés à l'intérieur et à proximité de la ZPMAN (Lynn 2016, Majewski *et al.* 2016a, McNicholl *et al.* 2016).

Des données sur les isotopes stables ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) sont disponibles pour des poissons et un vaste ensemble de leurs proies zooplanctoniques et benthiques possibles prélevées dans le golfe Amundsen pendant l'EERB-PPM en 2012 et 2013 (Stasko *et al.* 2017), y compris celles qui ont été échantillonnées à moins de 15 milles marins de la ZPMAN en 2014 (Niemi *et al.* 2020). Les données existantes sur les biotraceurs trophiques représentent un large éventail de régimes alimentaires et ont été utilisées pour construire la hiérarchie trophique de base et l'importance relative des matières organiques benthiques par rapport aux matières organiques pélagiques pour les organismes des niveaux trophiques inférieur et intermédiaire échantillonnés près du nord de la ZPMAN (Figure 12). Les carnivores benthiques et benthopélagiques mobiles comme les lycodes (*Lycodes* spp.) et les grosses crevettes occupaient généralement les positions trophiques les plus élevées, tandis que les positions trophiques les plus basses étaient généralement occupées par le zooplancton herbivore et les bivalves endofauniques qui se nourrissent de particules en suspension et déposées (Figure 12; Niemi *et al.* 2020). Des données supplémentaires sur les isotopes stables pour les poissons, le zooplancton et les invertébrés benthiques associés au programme d'échantillonnage seront fournies par le PPMMB qui a eu lieu en 2014 et l'EEM-MBC qui a eu lieu de 2017 à 2019 (A. Ehrman, A. Niemi et A. Majewski, MPO, données inédites). Les données sur les acides gras et les HBI seront disponibles pour un sous-ensemble plus limité de ces échantillons. Les échantillons, ainsi

qu'une grande collection d'archives, sont disponibles pour analyser d'autres biotraceurs trophiques, au besoin, mais les analyses n'ont pas encore été effectuées.

Bien que d'autres espèces de poissons benthiques représentent une faible proportion de l'abondance totale des poissons comparativement à celle de la morue arctique, elles représentent la majeure partie de la diversité restante des poissons (Majewski *et al.* 2017). Il manque encore des données publiées sur la structure et la fonction trophiques des poissons dans la ZPMAN pour la plupart des espèces, bien que des données sur le contenu stomacal et les isotopes stables soient disponibles pour certaines espèces de poissons en raison de l'échantillonnage estival effectué lors du programme Arctic Coast (D. McNicholl, MPO, données inédites), de l'EERB-PPM, du PPMMB et de l'EEM-MBC comme il est indiqué ci-dessus. L'information sur les rôles trophiques et fonctionnels des poissons présents dans la ZPMAN peut être déduite d'études réalisées récemment dans l'estuaire du fleuve Mackenzie (Brewster *et al.* 2016) et dans la région du plateau de Beaufort (Majewski *et al.* 2013, Giraldo *et al.* 2016, Stasko *et al.* 2016, 2017). Des biomarqueurs trophiques d'isotopes stables et d'acides gras ont révélé une forte variabilité dans le régime alimentaire de plusieurs poissons démersaux relativement abondants (à l'exception de la morue arctique), ce qui a entraîné un chevauchement élevé entre les espèces (Giraldo *et al.* 2016). Des analyses récentes des données des biotraceurs provenant de poissons côtiers dans la ZPM de Tarrum Niruyutait, incluant plusieurs espèces également présentes dans la ZPMAN, ont indiqué que les stratégies d'alimentation généralistes ou opportunistes étaient courantes, mais que les espèces pourraient être classées en grands groupes d'alimentation qui répartissent les ressources le long des gradients eau douce-eau salée et milieu benthique-milieu pélagique (Brewster *et al.* 2016). Ces études fournissent une compréhension de base du régime alimentaire de quelques-uns des poissons côtiers et hauturiers les plus courants, mais le régime alimentaire de la grande majorité d'entre eux demeure inconnu.

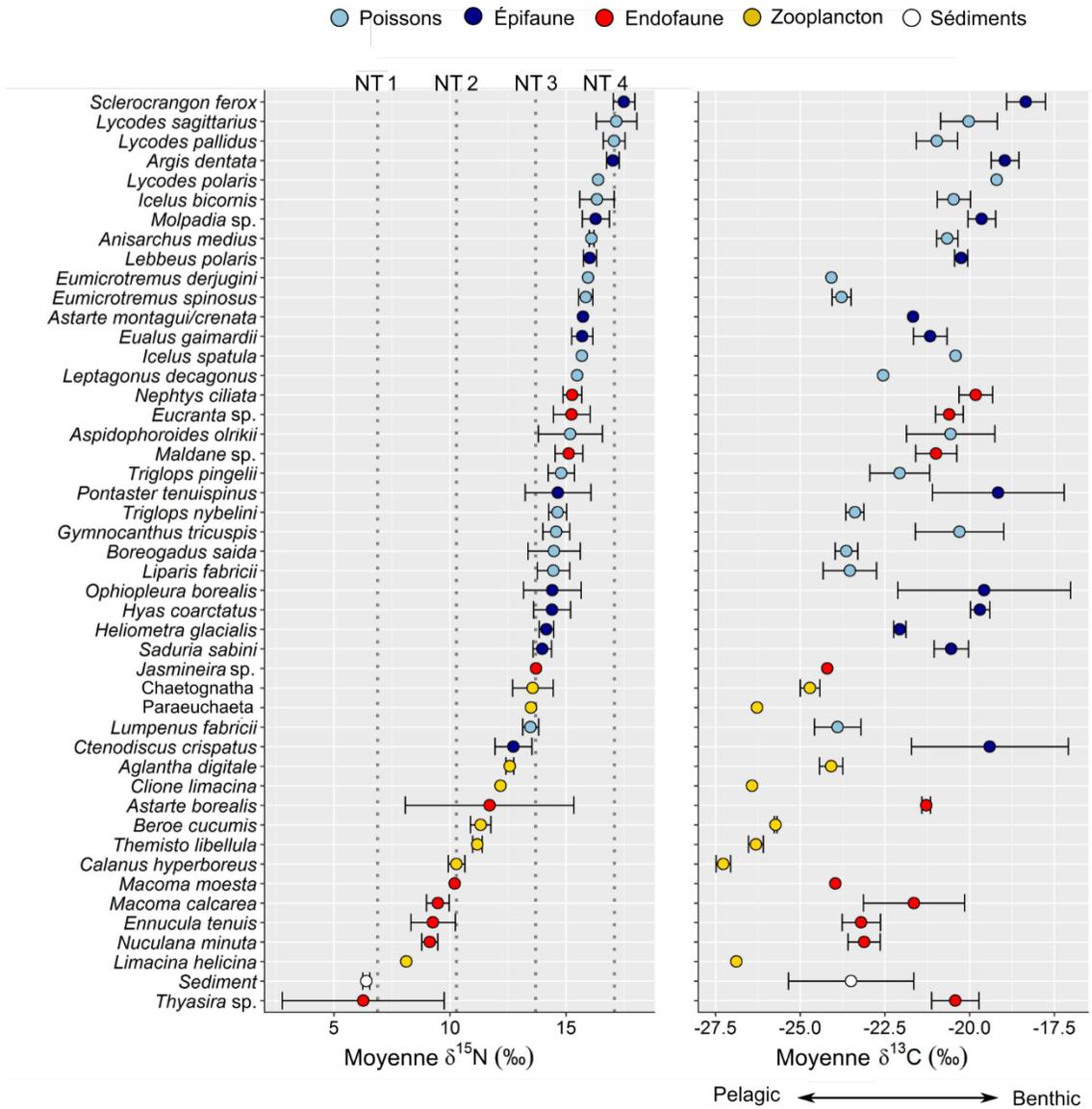


Figure 12. La moyenne des valeurs $\delta^{15}\text{N}$ (a) et $\delta^{13}\text{C}$ (b) mesurées pour les poissons, l'épifaune, l'endofaune, le zooplancton et les sédiments échantillonnés lors de l'EERB-PPM (2013) aux stations situées le long du transect dans la baie Damley (DAR) qui se trouvaient à moins de 15 milles marins de la ZPMAN. Les barres d'erreur représentent la moyenne \pm l'écart-type. Les lignes pointillées verticales indiquent les valeurs $\delta^{15}\text{N}$ qui correspondent aux niveaux trophiques (NT) discrets que l'on a estimés en utilisant les valeurs de *C. hyperboreus* comme données de référence représentatives pour NT = 2 et un facteur d'enrichissement trophique de 3,4 ‰, d'après Post (2002). Un biote affichant une valeur $\delta^{15}\text{N}$ supérieure à une station donnée occupe une position relativement élevée dans le réseau trophique. Une valeur $\delta^{13}\text{C}$ faible donne à penser que le taxon en question dépend davantage des sources de carbone en milieu pélagique, tandis qu'une valeur $\delta^{13}\text{C}$ élevée donne à penser que le taxon dépend davantage des sources de carbone en milieu benthique. La Figure a été fournie par A. Ehrman et provient de Niemi et al. 2020.

D'autres échantillons biologiques prélevés dans le cadre de programmes menés au large des côtes au moyen du navire de pêche *Frosti* ont été préservés et sont disponibles pour augmenter la taille des échantillons pour les données des biotraceurs, ou pour effectuer éventuellement des analyses d'appariement des densités énergétiques (teneurs en calories), des

concentrations de mercure, des microplastiques ou des analyses de contenu stomacal (A. Ehrman, A. Majewski, A. Niemi, W. Walkusz et S. MacPhee, MPO, comm. pers.). De même, des échantillons de tissus sont disponibles auprès du programme Arctic Coast pour des analyses éventuelles des poissons côtiers.

Un répertoire des caractéristiques fonctionnelles de l'alimentation est en cours de compilation pour les poissons et les invertébrés benthiques qui représentaient la majorité de la biomasse cumulative de la communauté observée pendant l'EERB-PPM et le PPMMB (2012 à 2014), y compris les stations à l'intérieur et à proximité de la ZPMAN (Stasko 2017). Ces caractéristiques peuvent faciliter l'interprétation des données des biotraceurs ou la sélection d'un sous-ensemble d'espèces surveillées. Il n'existe actuellement aucune donnée sur la densité énergétique (teneur en calories) des invertébrés benthiques dans la ZPMAN.

Les bélugas capturés dans la baie Darnley ont souvent l'estomac vide (Loseto *et al.* 2009, Kavik-AXYS Inc. 2012, Harwood *et al.* 2015a). Les observations concernant le contenu stomacal des bélugas capturés sont disponibles dans le cadre du programme de surveillance communautaire des poissons et des mammifères marins du CMGP (voir l'Annexe D). Les connaissances autochtones communiquées par les résidents de Paulatuk dans le cadre d'entrevues et d'ateliers volontaires indiquent que dans la baie Darnley les bélugas sont souvent observés dans des zones où il y a de grands bancs de poissons de 5 à 10 cm de longueur (Kavik-AXYS Inc. 2012, McNicholl *et al.* 2017b), ce qui correspond aux tailles typiques des poissons-proies grégaires communs en milieu pélagique comme la morue arctique (*Boreogadus saida*), le capelan et le lançon (*Ammodytes hexapterus*). Les données sur les concentrations de mercure et les traceurs alimentaires (rapports d'isotopes stables et composition en acides gras) sont disponibles dans le cadre du projet intitulé « Bélugas de Paulatuk : la santé et le savoir », qui est associé au programme régional de surveillance et de recherche sur la santé du béluga. On a analysé des bélugas capturés dans la baie Darnley pour détecter la présence de mercure et de biotraceurs trophiques en 1993 (mercure seulement), en 2005, de 2011 à 2016 et de 2018 à 2020 (L. Loseto, MPO, données inédites, données sur le mercure en attente pour la période de 2018 à 2020). Les données ont été incluses dans les évaluations de la variation spatiale et temporelle de l'alimentation, de la condition, de l'utilisation de l'habitat et des concentrations de mercure (Loseto *et al.* 2008 b, 2009, Choy *et al.* 2017, 2020, MacMillan *et al.* 2019). Les biotraceurs trophiques sont particulièrement utiles pour estimer le régime alimentaire, car les estomacs vides sont prévalents chez les baleines capturées. Les analyses des acides gras dans les tissus de baleines ont laissé entendre que la morue arctique des habitats côtiers et hauturiers était la proie estivale principale des bélugas de l'est de la mer de Beaufort, suivie du capelan et de la lycode polaire du Canada (*Lycodes Polar*; Loseto *et al.* 2009, Choy *et al.* 2020). Les analyses des acides gras indiquent que le flétan du Groenland (*Reinhardtius greenlandicus*), les limaces de mer (*Liparidae*), les décapodes et d'autres proies benthiques étaient généralement de faible importance alimentaire, bien que les plus grands mâles aient consommé les proportions les plus élevées de morue arctique et de flétan du Groenland par rapport à toutes les autres classes de sexe et de taille (Loseto *et al.* 2009, Choy *et al.* 2020). Les conclusions concordaient avec le choix par les grands bélugas mâles des eaux extracôticières profondes où se trouvent le flétan du Groenland et de grandes agrégations de morues arctiques adultes (Geoffroy *et al.* 2011, Majewski *et al.* 2017). Les femelles, qui choisissent habituellement les eaux côtières, consommaient des proportions plus élevées de capelan et des proportions plus faibles de morue arctique que les mâles de petite et moyenne taille (Choy *et al.* 2020). Ces observations appuient l'hypothèse selon laquelle la ségrégation de l'habitat en fonction du sexe et de la taille pendant l'été peut être motivée par des besoins énergétiques, physiologiques et reproductifs (Loseto *et al.* 2006, 2009, Hauser *et al.* 2014, Choy *et al.* 2019). La plupart des bélugas capturés près d'Ulukhaktok lors de l'occurrence inhabituelle de bélugas en 2014 avaient un estomac plein ou partiellement

plein, dominé par le lançon (présent dans 92 % des estomacs), la présence de morue arctique, d'omble chevalier et d'autres poissons étant beaucoup plus faible (Loseto *et al.* 2018a). L'état physique observé chez le béluga de l'est de la mer de Beaufort s'était dégradé en 2014 par rapport à 2011, 2012 et 2013 (Choy *et al.* 2020). La biomasse de leur proie préférée, la morue arctique, était plus faible en 2014 dans le golfe Amundsen et les eaux canadiennes de la mer de Beaufort que ce qui avait été observé au cours des autres années de l'EERB-PPM et de l'EEM-MBC, probablement en raison du faible recrutement attribuable à la débâcle tardive en 2013 (A. Majewski, MPO, pers. comm., Niemi *et al.* 2020). Bien que les observations n'aient pas été faites directement dans la ZPMAN, la connaissance des réactions de déplacement du béluga de l'est de la mer de Beaufort en fonction de la disponibilité des proies s'applique aux considérations de surveillance.

La région du golfe Amundsen est considérée comme une importante aire d'alimentation estivale pour la baleine boréale, et plusieurs zones ont été désignées comme accueillant annuellement des groupes récurrents en quête de nourriture, y compris la baie Darnley (p. ex., Harwood *et al.* 2010, 2017b, Quakenbush *et al.* 2012, Walkusz *et al.* 2012). On pense que la baleine boréale est attirée dans la baie Darnley par les possibilités d'alimentation, selon les connaissances autochtones communiquées par les résidents de Paulatuk (Kavik-AXYS Inc. 2012) et les comportements déduits de relevés aériens (Harwood *et al.* 2017b). Il existe peu de données sur la composition en espèces ou la disponibilité des proies de la baleine boréale près de la ZPMAN. Toutefois, des données sont disponibles pour la baie Franklin et le cap Bathurst, à proximité. Un échantillonnage du zooplancton a été effectué à proximité de groupes de baleines boréales en quête de nourriture observés dans le sud-est de la mer de Beaufort en 1985 et 1986, et près de la péninsule de Tuktoyaktuk et du cap Bathurst en 2008 (LGL 1988 cité dans Harwood *et al.* 2010, Harwood *et al.* 2010, Walkusz *et al.* 2012). L'échantillonnage effectué près de baleines boréales en 2008a révéla la présence d'agrégations denses de zooplancton dans les zones de plateau à l'est de la péninsule de Tuktoyaktuk et au large du cap Bathurst, qui étaient principalement constituées de *Calanus* spp. en phase de repos présumés avoir été transportés par des activités de remontée d'eau (Walkusz *et al.* 2012). Les analyses caloriques ont indiqué qu'une telle abondance de copépodes riches en lipides représentait six fois la teneur énergétique des échantillons contemporains de zooplancton provenant de zones plus à l'ouest (Walkusz *et al.* 2012). Avec les évaluations subséquentes des données aériennes et de marquage (Harwood *et al.* 2017b), les résultats appuient la conclusion selon laquelle l'utilisation de l'habitat par la baleine boréale dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort et le golfe Amundsen est étroitement liée aux conditions océanographiques qui favorisent la production et l'agrégation de leurs proies. Des échantillons de zooplancton ont également été prélevés à proximité de baleines boréales dans la baie Franklin dans le cadre des programmes sur le terrain de l'EERB-PPM et de l'EEM-MBC en 2014, 2017 et 2019, et sont disponibles pour des analyses de la biodiversité et, dans une moindre mesure, des analyses des biotraceurs trophiques (A. Niemi, MPO, comm. pers.). Certains de ces échantillons ont déjà été analysés.

Des données sur le contenu stomacal sont disponibles pour des phoques annelés capturés à des fins de subsistance près de Paulatuk, d'Ulukhaktok et de Sachs Harbour dans les années 1980. Des données sur l'état et le contenu stomacal de phoques annelés et de phoques barbus ont également été recueillies auprès de chasseurs de subsistance depuis 2015 grâce à une collaboration avec la Wildlife Conservation Society (Insley *et al.* 2021). Des échantillons ont été obtenus auprès de chasseurs de Paulatuk (printemps, été et automne), de Sachs Harbour (été) et d'Ulukhaktok (hiver). Des données sur les isotopes stables sont disponibles pour les tissus hépatiques de phoques annelés capturés près d'Ulukhaktok entre 1990 et 1996 (n = 18) et entre 1999 et 2011 (n = 120; Yurkowski *et al.* 2016a). Les résultats indiquent que la recherche de nourriture a été plus intense/réussie en automne et en hiver que durant l'été, que les changements ontogénétiques vers des proies de niveau trophique supérieur se produisent

lorsque les sous-adultes deviennent adultes, et qu'il existe une certaine spécificité alimentaire régionale (Yurkowski *et al.* 2016a, Insley *et al.* 2021). La morue arctique était une espèce fourragère primaire, et elle était couramment présente dans les estomacs en même temps que le lançon, le capelan et des espèces du genre *Themisto* (Insley *et al.* 2021), alors que les analyses des isotopes stables suggèrent que les crevettes et les chabots étaient également importants (Yurkowski *et al.* 2016a). Le régime alimentaire du phoque annelé est plus diversifié depuis les années 1980, peut-être en raison de l'arrivée et de la prolifération relativement récente de poissons subarctiques (Yurkowski *et al.* 2016a). Comme pour la baleine boréale, le travail de Harwood et ses collaborateurs (1989; cité dans Paulic *et al.* 2012) a démontré que les agrégations estivales de phoques annelés peuvent également être associées à des processus océanographiques qui favorisent une production primaire élevée et la rétention conséquente de proies zooplanctoniques. Le phoque annelé peut être attiré vers de tels endroits, soit pour le zooplancton lui-même comme proie (p. ex., le krill), soit, peut-être plus probablement, pour les poissons pélagiques prédateurs et les crevettes qui peuvent être attirés vers ces endroits par le zooplancton.

Le phoque barbu est généralement considéré comme un prédateur benthique, ce que l'on croit être en partie responsable de sa présence près des zones d'eau libre (p. ex., Smith 1981, Stirling *et al.* 1982). On dispose de données limitées sur le contenu stomacal de phoques barbuis capturés dans la baie Darnley en 1972 (n = 3) et en 1977 (n = 3), à Sachs Harbour en 1972 (n = 25) et à Ulukhaktok entre 1971 et 1977 (n = 19; Smith 1981), et de données de surveillance communautaire récente dans la baie Darnley depuis 2015 (S. Insley, Wildlife Conservation Society Canada, comm. pers.). Les contenus stomacaux prélevés dans les années 1970 étaient dominés par des animaux benthiques, y compris des polychètes, des escargots, des bivalves, des calmars, des pieuvres, des amphipodes, des crevettes et plusieurs espèces de poissons, dont de la morue arctique et des chabots (Smith 1981). Des chasseurs de Paulatuk ont signalé avoir trouvé des calmars et des crevettes dans l'estomac de phoques barbuis (Kavik-AXYS Inc. 2012).

On pourrait également accéder à des données régionales sur le régime alimentaire de mammifères marins à partir d'observations enregistrées dans le cadre de l'étude sur les captures des Inuvialuits, un programme de surveillance communautaire qui a permis de recueillir, sur une base volontaire, des renseignements sur les captures et des connaissances traditionnelles auprès de chasseurs inuvialuits âgés de plus de 16 ans qui étaient inscrits auprès de leur CCT local.

6.1.2. Stratégies et application

La surveillance des liens trophiques et du transfert d'énergie est étroitement liée à d'autres indicateurs liés à l'intégrité biologique et du réseau trophique décrits dans le présent document, de sorte que l'échantillonnage peut facilement être intégré aux programmes sur le terrain conçus pour d'autres indicateurs. Les deux stratégies les plus simples consistent à prélever le contenu stomacal ou des tissus pour l'analyse de biotraceurs au moment de la capture ou de l'échantillonnage. Le prélèvement de tissus pour les analyses trophiques est déjà une pratique courante dans de nombreux programmes existants de recherche et de surveillance des captures. Les principaux facteurs à considérer sont d'examiner si les programmes d'échantillonnage existants 1) recueillent des données pour les espèces prédatrices et proies d'intérêt, 2) ont une couverture temporelle ou spatiale suffisante pour mettre à l'essai les hypothèses et 3) ont suffisamment de données d'appariement pour les groupes de proies afin de mettre à l'essai des hypothèses. Comme l'indiquent les indicateurs énumérés ci-dessous (*Sections 6.2 à 6.11*), les programmes d'échantillonnage pourraient devoir être adaptés à des zones précises de la ZPMAN, puisque l'hétérogénéité spatiale de l'habitat dans l'ensemble de

la ZPMAN est susceptible d'entraîner des gradients dans la disponibilité des proies, les valeurs de référence des biotraceurs et la composition des communautés de proies/prédateurs.

La détermination des liens trophiques se fait le plus efficacement par des observations directes de l'alimentation, des analyses de contenu stomacal ou des mesures des biotraceurs trophiques. Les observations directes de l'alimentation (séquences vidéo ou déclarations de résidents) et les analyses de contenu stomacal ont l'avantage de déterminer exactement ce qu'un organisme a mangé, mais elles ne reflètent que le dernier repas. Les biotraceurs trophiques mesurés dans les tissus des consommateurs, comme la teneur en lipides, la densité énergétique (calories), les compositions d'acides gras et les rapports d'isotopes stables, reflètent les régimes alimentaires intégrés sur de plus longues échelles de temps et peuvent être utilisés pour déterminer les régimes alimentaires plus généraux, les niveaux trophiques ou l'utilisation de sources de carbone basal provenant de compartiments précis du réseau trophique. C'est particulièrement vrai pour les espèces qui ont fréquemment l'estomac vide lors de l'échantillonnage (p. ex., béluga ou animaux en cours de migration ou de reproduction). L'utilité des biotraceurs trophiques est renforcée lorsqu'elle est mesurée en même temps que celle des proies potentielles, de l'information sur la disponibilité et la biodiversité des proies, et des paramètres environnementaux.

Les biomarqueurs alimentaires sont l'outil le plus facile et le plus rentable pour estimer les régimes alimentaires (acides gras, HBI) et les positions trophiques relatives (isotopes stables, mercure) sur une plus longue période. Toutefois, comme tous les biotraceurs alimentaires et trophiques, ils présentent des limites importantes lorsqu'ils sont utilisés seuls (p. ex., l'incapacité d'identifier des proies particulières, de distinguer la variabilité interindividuelle de l'alimentation et la variation naturelle spatiale et temporelle des valeurs de référence de l'écosystème). On peut superposer les unes aux autres les données trophiques dérivées de méthodes multiples pour acquérir une compréhension plus holistique des liens trophiques si les ressources le permettent. Heureusement, les échantillons requis pour les analyses de biotraceurs trophiques peuvent être facilement archivés pour une utilisation ultérieure, et le même échantillon peut souvent être utilisé pour de multiples analyses s'il y a suffisamment de tissu. Il est fortement recommandé de prélever des échantillons pour des analyses de biotraceurs trophiques ou de contaminants (voir la *Section 7.2*) même si le financement n'est pas disponible immédiatement.

L'estimation du transfert d'énergie exige d'estimer la quantité relative d'énergie qu'un consommateur tire de différentes proies. L'abondance relative des proies observées dans le contenu stomacal peut fournir une mesure grossière du transfert d'énergie à partir de différentes proies ou voies (p. ex., pélagiques par rapport à benthiques). Il est également possible d'utiliser les données sur les isotopes stables et les acides gras pour estimer les contributions alimentaires relatives de sources un peu plus précises (zooplancton, bivalves, bactéries, carnivores, etc.). Des analyses d'HBI peuvent aider à déterminer la quantité d'énergie qu'un animal reçoit directement ou indirectement des algues de glace, et peuvent être un paramètre particulièrement important à surveiller si des tendances sont observées dans la glace de mer. Si l'on détermine l'importance relative de différentes proies à partir de l'une ou l'autre des méthodes susmentionnées, les densités caloriques peuvent être mesurées chez les proies et servir à estimer la quantité réelle d'énergie qu'elles ont transférée au consommateur. Les densités caloriques peuvent être utilisées comme une indication de la qualité des proies et, si elles sont combinées à la biomasse relative des proies, elles peuvent être utilisées pour estimer la quantité d'énergie disponible pour un prédateur.

La surveillance des liens trophiques et du transfert d'énergie devrait comprendre la collecte de données à plusieurs niveaux trophiques. Cinq groupes trophiques primaires sont recommandés pour un plan de surveillance qui s'aligne sur les indicateurs de la composition et de la structure de la communauté, soit les producteurs primaires, le zooplancton, les invertébrés benthiques,

les poissons et les mammifères marins. Les producteurs primaires préparent le terrain pour la quantité d'énergie disponible aux niveaux trophiques supérieurs et l'efficacité du transfert d'énergie, sans tenir compte de l'apport de ressources extérieures au système local (p. ex., les matières organiques apportées par les courants océaniques ou les apports d'eau douce). Les producteurs primaires sont intimement liés aux conditions physiques et chimiques de l'environnement. Le rôle des algues de glace et du phytoplancton dans un réseau trophique marin peut être évalué au moyen de biomarqueurs d'acides gras, dont certains sont propres aux algues de glace (p. ex., Kohlbach *et al.* 2019). Pour cette raison, ces biomarqueurs sont des paramètres importants pour la surveillance de l'écosystème et pour évaluer les changements éventuels qui auraient une incidence sur les niveaux trophiques supérieurs. Le zooplancton est principalement dérivé des consommateurs et a la durée de vie la plus courte. Il réagira probablement plus rapidement aux changements de la production primaire pélagique ou de la composition de la communauté de producteurs primaires pélagiques, ce qui représente un indicateur des fluctuations à court terme. Les invertébrés benthiques sont représentatifs des voies de transmission benthiques, mais ils dépendent également de l'exportation de matières organiques pélagiques pour contribuer aux détritiques sédimentaires. Contrairement au zooplancton et au phytoplancton, les biotraceurs mesurés dans les tissus de nombreuses espèces d'invertébrés benthiques ne fluctuent généralement pas fortement avec les flux saisonniers de la production primaire et de la disponibilité des aliments (Legeżyńska *et al.* 2012, North *et al.* 2014). Les ensembles de données à long terme sur les biotraceurs trophiques des invertébrés benthiques, surtout lorsqu'ils sont associés à la composition de la communauté, refléteront probablement mieux les tendances directionnelles à long terme de la structure trophique que celles du zooplancton. Les poissons sont un lien essentiel entre l'énergie produite et concentrée chez les organismes de niveau trophique inférieur et les organismes de niveau trophique supérieur, et peuvent être des intégrateurs de sources d'énergie benthiques et pélagiques. Dans chaque grand groupe, un ensemble d'espèces sentinelles devrait être sélectionné pour la surveillance trophique à long terme en fonction de considérations rigoureuses quant à la façon dont les espèces réagiront aux facteurs et aux agents de stress pertinents pour les objectifs de conservation, de la connaissance des rôles fonctionnels et des liens trophiques connus. Au moment de choisir un ensemble d'espèces clés pour la surveillance à long terme de la composition du régime alimentaire, il est important de tenir compte de l'échelle spatiale à laquelle les espèces se nourrissent et de la façon dont cela peut avoir une incidence sur la représentation de l'écosystème local. Une discussion plus poussée sur la sélection des espèces clés est fournie dans les sections ci-dessous.

Des échantillons de contenu stomacal et de tissu pour les analyses alimentaires peuvent être prélevés dans le cadre de programmes communautaires élaborés pour la surveillance côtière du zooplancton, des invertébrés benthiques et des poissons marins et anadromes. Il est possible de demander des échantillons supplémentaires prélevés au large pour le zooplancton, les invertébrés benthiques et les poissons hauturiers dans le cadre des programmes de recherche et de surveillance menés à partir d'un navire hauturier. La surveillance communautaire du contenu stomacal de bélugas, de phoques annelés et de phoques barbus capturés permettrait de comprendre les proies particulières consommées par les mammifères marins présents dans la ZPMAN. Des analyses sommaires du contenu stomacal de mammifères marins et de poissons peuvent être effectuées sur le terrain, mais des analyses taxonomiques détaillées nécessiteront le travail d'experts en laboratoire qui collaboreront avec des chercheurs ou des consultants spécialisés embauchés à cette fin.

Il est important de noter que la collecte de données pertinentes pour comprendre le régime alimentaire des mammifères marins va au-delà de la composition même du régime alimentaire. L'information contextuelle provenant d'autres indicateurs, tant environnementaux que biologiques, sera particulièrement importante pour comprendre les tendances possibles ou les

observations inhabituelles sur le plan de l'alimentation, l'état ou la santé des mammifères marins. La surveillance de la composition de la communauté, de l'abondance relative et de la teneur énergétique du zooplancton, des poissons et des invertébrés benthiques permettra de déterminer comment la disponibilité de différentes espèces-proies influence le choix de proie des mammifères marins et, peut-être, les conséquences sur leur répartition, leurs comportements de quête de nourriture et leur santé (Walkusz *et al.* 2012, Yurkowski *et al.* 2016a, Harwood *et al.* 2017b, Loseto *et al.* 2018, Insley *et al.* 2021).

Les paramètres environnementaux sont des données complémentaires clés. Par exemple, les caractéristiques de l'habitat océanographique et benthique influent sur la répartition du zooplancton, des macroinvertébrés et des proies des poissons en fonction des préférences, des tolérances ou du cycle vital propres à leur espèce. Les courants d'advection et les remontées d'eau peuvent concentrer les proies zooplanctoniques par déplacement physique ou en déclenchant des événements de prolifération d'algues qui améliorent la production secondaire. De même, les caractéristiques et la phénologie de la glace de mer sont liées à presque tous les aspects de niveau trophique inférieur qui soutiennent les proies des mammifères marins, y compris les antécédents biologiques des proies et les stratégies de reproduction, les possibilités d'alimentation, la dynamique prédateur-proie et le transfert d'énergie entre les milieux sympagiques, pélagiques et benthiques de l'écosystème. Idéalement, le programme de surveillance permettrait de recueillir suffisamment de renseignements pour pouvoir suivre les relations en cascade dans le réseau trophique et les relier aux conditions environnementales dominantes et potentiellement causales.

6.2. PRODUCTEURS PRIMAIRES ASSOCIÉS À LA GLACE, VIVANT SOUS LA GLACE ET VIVANT EN EAU LIBRE

Hypothèses ou prédictions de changement

- Le moment, la répartition et l'ampleur de la production primaire (et la composition de la communauté des producteurs primaires) seront influencés par une interaction complexe entre la lumière et les nutriments qui, à leur tour, seront influencés par la variabilité et les changements touchant la neige, la glace et les processus côtiers et océanographiques.
- Les changements dans le moment de la prolifération des algues de glace et du phytoplancton risquent d'entraîner un décalage entre la disponibilité des brouteurs d'algues et de zooplancton, ce qui pourrait avoir des effets importants sur le transfert d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs.
- Les proliférations d'algues nuisibles sont susceptibles de devenir plus fréquentes avec des températures océaniques plus chaudes.

L'Arctique offre un habitat unique aux communautés de phytoplancton en raison de la saisonnalité prononcée des conditions environnementales, notamment la disponibilité de lumière et de nutriments et la présence de glace de mer (Sakshaug 2004, Ardyna *et al.* 2011, Tremblay *et al.* 2015, voir aussi la *Section 5.2*). Ces conditions uniques entraînent la présence de deux types de communautés de producteurs primaires, celle qui prospère dans l'océan (phytoplancton) et celle qui prospère dans la glace de mer (algues de glace). Elles jouent toutes deux un rôle essentiel dans le transfert d'énergie et de matières (y compris les contaminants et les proliférations d'algues toxiques) dans le réseau trophique et déterminent la capacité de production de l'ensemble de l'écosystème.

Les producteurs primaires utilisent la lumière et l'énergie (provenant des nutriments, voir la *Section 5.1*) pour produire de la matière organique. Par conséquent, ces deux paramètres simples sont fondamentaux pour la production primaire et les réseaux trophiques marins.

Cependant, ces paramètres simples et la réaction des producteurs primaires à leur comportement varient de façon complexe. L'approvisionnement en nutriments, en particulier le nitrate (NO_3^-), mais aussi en autres nutriments reminéralisés par l'action bactérienne sur les plateaux peu profonds, limite la production primaire globale, tandis que la disponibilité de la lumière module la période de production et peut également avoir une incidence sur la production saisonnière (Tremblay *et al.* 2015). Les facteurs qui influent sur la disponibilité de la lumière vont bien au-delà de la présence de glace de mer recouverte de neige et comprennent, par exemple, les sédiments et d'autres particules en suspension, et la stratification qui limite (ou non) les cellules de phytoplancton dans la couche de surface. La surveillance des producteurs primaires associés à la glace, vivant sous la glace et vivant en eau libre est essentielle pour comprendre la structure et le fonctionnement de l'écosystème, sa capacité de production et le transfert d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs. Par conséquent, des indicateurs clés de la production primaire sont nécessaires pour évaluer l'état des objectifs de conservation pour la ZPMAN (c.-à-d. que le milieu marin est *productif* et permet l'alimentation des organismes de niveau trophique supérieur).

Le retour de la lumière du jour dans l'Arctique au printemps, conjugué à l'amincissement de la glace et de la couche de neige, déclenche la croissance des algues de glace dans la glace de mer, alimentant une communauté de niveau trophique inférieur de microfaune et de méiofaune associée à la glace, ainsi que des copépodes et des amphipodes vivant sous la glace (Michel *et al.* 1996, 2002). Une grande quantité de biomasse d'algues de glace est produite au cours de la saison de croissance et la majeure partie de cette biomasse est libérée dans la colonne d'eau au moment de la fonte de la glace, où elle alimente les communautés de zooplancton (Michel *et al.* 1996) ou coule vers le fond marin où elle alimente les communautés benthiques (Renaud *et al.* 2008, Kohlbach *et al.* 2019). L'équilibre entre ces deux voies est influencé par les processus océanographiques et les événements climatiques qui influencent la fonte de la glace de mer au printemps (Michel *et al.* 2006), affectant le transfert d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs. À mesure que la glace de mer recule, les proliférations de phytoplancton en eau libre et à la lisière de la glace se développent dans la couche océanique de surface qui est éclairée. Des proliférations de phytoplancton se développent également sous la glace lorsque les conditions le permettent, par exemple lors de la fonte hâtive de la neige (Fortier *et al.* 2002). Le déclin de la couverture de glace de mer dans l'Arctique indique en outre que les proliférations de phytoplancton sous la glace pourraient devenir plus fréquentes, ce qui modifierait la dynamique saisonnière et la disponibilité de nutriments pour la prolifération en eau libre subséquente (Horvat *et al.* 2017). Le maximum de chlorophylle de subsurface (c.-à-d. la profondeur à laquelle on trouve la biomasse maximale de chlorophylle *a*) devient de plus en plus profond au cours de la saison à mesure que le nitrate s'épuise dans la couche supérieure de la colonne d'eau, ce qui est caractéristique du sud-est de la mer de Beaufort et de la région du golfe Amundsen (Martin *et al.* 2010). Les polynies, comme celle qui se trouve près du nord de la ZPMAN, fournissent des sites où les remontées d'eau peuvent se produire sous l'effet du vent et déclencher des proliférations massives de phytoplancton pélagique près de la lisière de la glace (Mundy *et al.* 2009).

En plus d'alimenter le réseau trophique pélagique, la production primaire par le phytoplancton et les algues de glace a une forte influence sur l'approvisionnement alimentaire benthique par le couplage trophique benthique-pélagique (Grebmeier et Barry 1991, Cochrane *et al.* 2009, Link *et al.* 2013). L'exportation de matières organiques de la zone euphotique vers le fond marin, y compris les algues de glace fraîches, le phytoplancton et les boulettes fécales, est une source importante de matières organiques pour les communautés benthiques du printemps à l'automne dans les zones côtières et extracôtières de la mer de Beaufort (p. ex., Renaud *et al.* 2007, Juul-Pedersen *et al.* 2008a,b, 2010, Forest *et al.* 2001, Sallon *et al.* 2011). Les algues benthiques contribuent également considérablement à la production locale dans les zones côtières où la

lumière atteint le fond marin, bien qu'elles soient des sources mineures par rapport au phytoplancton et aux algues de glace à l'échelle régionale (Oxtoby *et al.* 2016). La contribution des algues benthiques à la production primaire dans la ZPMAN reste inconnue.

Le moment, la source, l'ampleur et l'étendue spatiale de la production peuvent indiquer des changements plus vastes dans les interactions atmosphère-océan et les régimes de la glace de mer, liés à la variabilité du climat et aux changements climatiques (*Sections 5.1 et 5.2*). Dans les zones côtières peu profondes comme celles de la ZPMAN, l'influence de l'érosion côtière et de la remise en suspension peut être importante. Comme dans de nombreuses autres régions de l'Arctique, des augmentations récentes de la production primaire ont été observées dans la mer de Beaufort, associées au déclin de la glace de mer, à une plus longue période d'eau libre et à des conditions plus favorables pour les remontées d'eau entraînées par le vent (Mundy *et al.* 2009, Tremblay *et al.* 2011, Steiner *et al.* 2015, examinées dans AMAP 2017). De récentes simulations faites au moyen de modèles globaux pour l'Arctique indiquent une forte variabilité dans la réponse de la production d'algues de glace aux changements prévus dans la glace de mer (Tedesco *et al.* 2019). Cependant, il n'est pas clair si des augmentations semblables de la production primaire ont lieu dans la baie Darnley, car aucune étude à ce sujet n'a été menée dans la région.

De plus, les changements dans la structure des communautés de phytoplancton et d'algues de glace modifient l'efficacité du transfert d'énergie dans le réseau trophique (examiné dans Tremblay *et al.* 2011). Les diatomées de grande taille ont tendance à dominer les communautés de phytoplancton dans les régions très productives et sont consommées directement par les poissons herbivores et le zooplancton, ce qui favorise un transfert efficace de la production primaire vers la production secondaire (Sampei *et al.* 2011, Forest *et al.* 2011). Une stratification plus prononcée due à une augmentation de la teneur en eau douce peut isoler la couche de surface productive des stocks de nutriments plus profonds, repoussant les maximums de chlorophylle *a* vers le bas et favorisant les cellules de phytoplancton de petite taille qui sont mieux adaptées que les cellules plus grandes aux conditions de faible teneur en nutriments (Li *et al.* 2009, Coupel *et al.* 2015, Blais *et al.* 2017). Le degré de réponse de la production primaire dans la ZPMAN et dans les eaux adjacentes aux forçages physiques et climatiques variera spatialement lors de la transition entre les eaux plus douces, moins profondes et plus abritées du sud et les eaux plus profondes et plus salées du nord qui sont exposées au golfe Amundsen et aux remontées et plongées d'eau présumées à la rupture de pente continentale. La variabilité d'une année à l'autre de la production primaire demeurera liée à la variabilité des interactions océan-glace de mer-atmosphère (voir ci-dessus).

6.2.1. Renseignements disponibles

De nombreux renseignements sur la production primaire et la composition des communautés de producteurs primaires dans les zones extracôtières du golfe Amundsen, de la baie Franklin et de la baie Darnley ont été recueillis au cours des deux dernières décennies et donnent un aperçu des niveaux généraux de la production primaire dans la région. Toutefois, la collecte de données à l'intérieur de la ZPMAN ou directement à proximité de celle-ci n'a pas eu lieu de façon continue à des endroits suffisamment constants pour caractériser une base de référence fiable pour la région et représente donc une lacune distincte sur le plan des connaissances.

Le Laboratoire de productivité marine de l'Institut des eaux douces (MPO) a recueilli des données sur le biote associé à la glace, le biote vivant sous la glace et le biote vivant en eau libre de niveau trophique inférieur dans un rayon de 100 km de la ZPMAN depuis 2002, notamment les indices de la biomasse et des stocks actuels pour le biote de niveau trophique inférieur associé à la glace et vivant en eau libre et la production primaire (chlorophylle *a* totale et par classe de taille, carbone organique dissous, azote dissous, carbone organique

particulaire et azote organique particulaire); les indices de la fonction et de la biodiversité du réseau trophique (abondance, composition des groupes fonctionnels et biodiversité des bactéries, du phytoplancton et des protistes hétérotrophes); les indices des espèces d'algues productrices de toxines et de leurs toxines (concentrations de phycotoxines et espèces d'algues toxiques dans les bivalves; Pućko *et al.* 2019); les indices des liens trophiques (analyses des acides gras et des isotopes stables des matières en suspension) et des estimations du couplage benthique-pélagique (l'exportation de matières organiques tombant sous la zone euphotique à partir de pièges à sédiments). Des échantillons ont été prélevés de façon constante en conjonction avec des mesures océanographiques afin de fournir des renseignements contextuels sur les forçages physiques qui déterminent la répartition et la composition du biote de niveau trophique inférieur. Diverses combinaisons des types de données énumérés ci-dessus ont été recueillies dans le cadre de CASES (automne 2002 et expédition hivernale de 2003-2004), de l'Étude sur le CSC (de l'automne 2007 à l'hiver 2008), de l'EEMCN (2008; Figure 6), de l'EERB-PPM, du PPMMB et de l'EEM-MBC (2013, 2014, 2017 à 2019; Figure 7). Les échantillons prélevés dans le cadre de CASES et de l'Étude sur le CSC comprenaient certaines des seules observations hivernales du phytoplancton, de la biodiversité microbienne et de la composition des communautés disponibles à proximité de la ZPMAN. Les données recueillies dans le cadre de ces études mettent en lumière la variabilité spatiale et temporelle des stocks biologiques actuels, la composition des communautés et les propriétés biogéochimiques qui contribuent à la production sympagique et en eau libre à une échelle régionale (p. ex., Riedel *et al.* 2007 b, Rózańska *et al.* 2009, Shadwick *et al.* 2011, Tremblay *et al.* 2011, Niemi et Michel 2015, Niemi *et al.* 2015), la structure et la dynamique trophiques à la base des réseaux trophiques sympagique et pélagique (p. ex., Riedel *et al.* 2007a, Forest *et al.* 2011), les processus régionaux qui contrôlent le couplage benthique-pélagique par la rétention et l'exportation vers le bas des matières organiques produites dans la couche supérieure de la colonne d'eau (p. ex., Juul-Pedersen *et al.* 2008a,b, 2010, Kellogg *et al.* 2011, Sallon *et al.* 2011) et la contribution de la remontée d'eau à la lisière de la glace aux proliférations de phytoplancton sous la glace (Mundy *et al.* 2009). D'autres analyses de la variabilité spatiale et temporelle de la diversité fonctionnelle des producteurs primaires et des espèces à l'aide d'ensembles de données recueillies dans des zones extracôtières près de la ZPMAN sont à venir.

Le Programme de SORC a permis de recueillir des données sur la température, la salinité, l'oxygène dissous et la fluorescence dans la ZPMAN, à savoir dans la baie Argo et à des stations côtières au sud et à l'est de la pointe Bennett en avril 2018 et 2019. Deux des stations à l'est de la pointe Bennett concordaient avec les emplacements échantillonnés pour l'océanographie lors de l'EEM-MBC menée l'été précédent. On a prélevé des échantillons d'eau en 2019 pour mesurer le carbone inorganique dissous, l'alcalinité, la salinité, les nutriments et le $\delta^{18}\text{O}$ (un indicateur des apports d'eau douce).

Des ensembles de données détaillées en libre accès sur la couleur des océans sont disponibles à des fins de recherche auprès de la NASA ([NASA Earth Data: Ocean Color Data](#)), à partir desquelles les concentrations de chlorophylle *a* de surface peuvent être estimées.

6.2.2. Stratégies et application

L'intégration des producteurs primaires associés à la glace, vivant sous la glace et vivant en eau libre dans le plan de surveillance est essentielle pour appuyer l'approche écosystémique de suivi des objectifs de conservation pour la ZPMAN. La biomasse et les stocks actuels de producteurs primaires fournissent de l'information importante sur la capacité de production de l'écosystème, et peuvent être connus en mesurant les concentrations de chlorophylle *a* (totale ou par classe de taille du phytoplancton) ou en utilisant la fluorescence mesurée à partir d'une

sonde CTP comme approximation de la chlorophylle *a*. Premièrement, les mesures de fluorescence fournissent des valeurs relatives qui peuvent être comparées sur une saison pour fournir de l'information importante en temps réel, telle que le moment de la prolifération des algues. Les changements du moment de la prolifération printanière, par exemple, ont des conséquences importantes sur le transfert d'énergie dans le réseau trophique. Deuxièmement, le carbone et l'azote organiques particulaires sont des paramètres importants pour comprendre les conséquences sur le réseau trophique de la communauté des producteurs primaires. Le carbone organique particulaire indique la quantité de carbone transformé en une forme de nourriture biodisponible qui peut être utilisée par les niveaux trophiques supérieurs. Il peut également être utilisé pour modéliser les cycles et les déplacements du carbone dans un écosystème. Le rapport carbone-azote, calculé à partir du carbone et de l'azote organiques particulaires, peut indiquer un changement dans la composition en espèces ou dans la qualité des aliments disponibles pour les brouteurs. Troisièmement, il est essentiel de mesurer la composition taxonomique des producteurs primaires pour évaluer la structure et la fonction du niveau trophique inférieur (déterminants du transfert d'énergie vers les niveaux supérieurs), l'expansion de l'aire de répartition des espèces ou la détection d'espèces indicatrices clés. Les changements détectés dans les assemblages d'espèces peuvent servir d'indicateurs précoces d'une situation préoccupante, comme l'abondance croissante d'espèces qui peuvent, dans des conditions particulières, produire des toxines nocives dans le milieu marin (Pućko *et al.* 2019), avec des conséquences importantes pour les animaux de niveau trophique supérieur et la sécurité alimentaire des collectivités. Les technologies de cytométrie de flux par vidéo (p. ex., FlowCam^{MD}) pourraient être étudiées, car elles pourraient fournir de l'information sur l'abondance et la structure de la communauté de producteurs primaires à un coût réduit comparativement aux analyses de composition taxonomique. Toutefois, elles ne doivent pas être considérées comme un remplacement de la taxonomie conventionnelle.

Il est important de noter que les taux annuels de production primaire sont difficiles à estimer en raison de la grande variabilité interannuelle et spatiale. Les indicateurs de surveillance de la production primaire fourniraient l'information la plus complète lorsqu'ils seraient surveillés tout au long de la saison de production et à l'aide d'une série de méthodes normalisées disponibles. Des mesures concomitantes de paramètres physiques et chimiques de l'océan comme la température, la salinité, le $\delta^{18}\text{O}$ et les nutriments dissous sont nécessaires pour fournir un contexte de base sur les distributions de masse d'eau et l'habitat océanographique des producteurs primaires. Idéalement, l'échantillonnage pour cet indicateur coïnciderait avec l'échantillonnage pour les paramètres océanographiques fondamentaux et les concentrations de nutriments, et refléterait l'approche d'échantillonnage à deux niveaux recommandée à la *Section 5.1*, où l'échantillonnage a lieu plusieurs fois par année à quelques sites clés et une fois par année dans un plus grand réseau de stations réparties dans une vaste région géographique.

Parallèlement aux programmes scientifiques traditionnels, on pourrait élaborer des programmes communautaires pour surveiller les indicateurs de la production primaire dans les régions accessibles à intervalles réguliers tout au long de la période de production (du printemps à l'automne). Par exemple, il est possible d'échantillonner le biote associé à la glace en prélevant des carottes de glace. De telles méthodes pourraient être intégrées aux programmes existants, comme le Programme de SORC ou le programme Arctic Coast. Les producteurs primaires vivant sous la glace et en eau libre pourraient être prélevés à l'aide d'échantillonneurs d'eau déployés à travers la glace ou à partir de petits navires dans des eaux peu profondes, idéalement couplés à des mesures de fluorescence en temps réel. Des procédures relativement simples pour le prélèvement et la conservation d'échantillons pour l'analyse de la chlorophylle *a* et de la taxonomie, ou pour l'utilisation de fluorimètres, peuvent être intégrées aux programmes communautaires de surveillance des zones côtières. Le prélèvement d'eau au large pendant la

saison des eaux libres peut nécessiter une collaboration avec les programmes menés à partir d'un navire et devrait être coordonné avec les programmes d'échantillonnage côtier. Des pièges à sédiments pourraient être utilisés pour recueillir des renseignements importants sur l'exportation verticale de matières organiques particulaires à partir des couches supérieures de la colonne d'eau et fournir des estimations du couplage benthique-pélagique.

En plus de l'échantillonnage réparti effectué par des résidents et à partir de gros navires, les données de télédétection obtenues par imagerie satellitaire pourraient être utilisées pour estimer les concentrations de chlorophylle *a* de surface à partir de la couleur de l'océan dans les zones exemptes de glace. Cependant, le phytoplancton qui occupe des couches plus profondes du maximum de chlorophylle de subsurface peut représenter jusqu'à 50 % de la nouvelle production annuelle et peut être difficile à déceler par télédétection (Tremblay *et al.* 2008, Martin *et al.* 2010) et les sédiments en suspension dans les zones côtières peuvent rendre les estimations fondées sur la télédétection peu fiables. Par conséquent, les données de télédétection doivent être jumelées à des mesures *in situ*. Des algorithmes appropriés, comme ceux spécialement conçus pour les matières en suspension dans les zones côtières de la mer de Beaufort, devraient être pris en compte (Tang *et al.* 2013). Les analyses de données et les procédures de modélisation requises pour utiliser la télédétection exigent beaucoup de temps et une expertise spécialisée, mais elles sont également rentables. Des instruments océanographiques amarrés équipés de capteurs biologiquement appropriés pourraient être utilisés dans des zones profondes ou difficiles d'accès, et fournir des observations sur une période plus longue et plus continue que l'échantillonnage réparti. Les profileurs amarrés, par opposition aux amarrages à profondeur fixe, sont préférables pour obtenir des données biologiques essentielles dans la couche supérieure de la colonne d'eau tout au long de l'année, car la production primaire a lieu dans les couches d'eau de surface où la lumière pénètre.

La surveillance des producteurs primaires associés à la glace, vivant sous la glace et vivant en eau libre est étroitement liée à la surveillance des paramètres océanographiques fondamentaux et des concentrations de nutriments (*Section 5.1*), de la glace de mer et de la neige (*Section 5.2*), ainsi que de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté de zooplancton (*Section 6.3*). Le lecteur est encouragé à consulter les autres sections pertinentes pour avoir une vue d'ensemble de la façon dont ces indicateurs interreliés fournissent des renseignements complémentaires et peuvent/doivent être recueillis ensemble.

6.3. COMPOSITION, STRUCTURE ET FONCTION DE LA COMMUNAUTÉ DE ZOOPLANCTON

Hypothèses ou prédictions de changement

- Avec le réchauffement, il y aura une augmentation des espèces de zooplancton gélatineux.
- Les modifications de la durée et de l'étendue de la glace de mer, ainsi que des paramètres océanographiques fondamentaux, pourraient entraîner un passage à des espèces plus petites ayant des effets potentiellement négatifs sur le transfert d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs.

Le zooplancton représente les consommateurs primaires et secondaires les plus importants de l'écosystème marin arctique. Le zooplancton consomme et concentre les matières organiques et la production primaire à la base du réseau trophique sous des formes qui sont facilement transférables aux niveaux trophiques supérieurs et qui constituent une source de nourriture dominante pour l'omble chevalier, le phoque annelé, la baleine boréale, certains oiseaux de mer et les poissons-proies qui soutiennent de nombreux mammifères marins. Par conséquent, les modifications de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté de

zooplancton peuvent exercer une influence du bas vers le haut sur les animaux de niveau trophique supérieur.

La composition, la structure et la fonction de la communauté de zooplancton peuvent indiquer des changements sur le plan de facteurs environnementaux plus vastes en raison de leur lien étroit avec les conditions de l'habitat. Le zooplancton peut également signaler l'état des producteurs primaires en raison de sa dépendance directe à l'égard des algues comme sources de nourriture. Les grands copépodes herbivores, y compris *Calanus glacialis*, *Calanus hyperboreus* et *Metridia longa*, constituent la majorité de la biomasse du zooplancton et sont parmi les proies zooplanctoniques les plus importantes en raison de leur teneur élevée en lipides, tandis que les amphipodes et le krill sont des proies importantes parce que leur plus grande taille fournit plus de calories par repas (Lynn 2016). Certains organismes zooplanctoniques demeurent actifs tout au long de l'hiver, se nourrissant de façon opportuniste d'algues sympagiques et d'autres organismes zooplanctoniques. D'autres, comme les espèces du genre *Calanus*, subissent des migrations verticales saisonnières déclenchées par la lumière et la disponibilité de la nourriture. Ces espèces peuvent accumuler des réserves de lipides dépassant 60 % de leur masse sèche en broutant sur des algues sympagiques et pélagiques dominées par les diatomées au printemps et en été, nécessaires pour survivre jusqu'à 10 mois de jeûne pendant la survie hivernale (Falk-Petersen *et al.* 2009). Le zooplancton a donc tendance à proliférer dans les zones où les conditions environnementales conviennent le mieux aux préférences de température et de profondeur propres à l'espèce, et où la nourriture algale est abondante, ce qui attire les prédateurs. Par conséquent, la composition et la structure de la communauté de zooplancton peuvent refléter la progression de la prolifération des algues et la composition de la communauté des producteurs primaires (p. ex., Basedow *et al.* 2010, Darnis *et al.* 2019), ainsi que les conditions environnementales qui régissent la production primaire (Darnis *et al.* 2008, Walkusz *et al.* 2012, Post 2017, Smoot et Hopcroft 2017).

La surveillance de la composition de la communauté de zooplancton pourrait permettre de trouver de nouvelles espèces introduites par l'expansion de leur aire de répartition induite par le climat ou le trafic maritime (voir la *Section 6.9*). La composition de la communauté de zooplancton peut également être utilisée pour surveiller l'abondance relative des espèces indigènes, soit celles qui devraient augmenter en raison des changements climatiques (p. ex., le zooplancton gélatineux; Brodeur *et al.* 1999) ou celles qui sont sensibles à des menaces comme l'acidification des océans (p. ex., les ptéropodes).

La composition, la structure et la fonction de la communauté de zooplancton sont pertinentes pour l'évaluation de l'état des objectifs de conservation pour la ZPMAN, car les changements dans la composition taxonomique ou fonctionnelle peuvent 1) affecter l'efficacité du transfert d'énergie vers les mammifères marins, les oiseaux de mer et les poissons prédateurs très valorisés, car le zooplancton est la source de nourriture la plus importante pour leurs poissons-proies, 2) être indicatifs de changements affectant des facteurs environnementaux plus larges et 3) répondre à des perturbations anthropiques.

6.3.1. Renseignements disponibles

La disponibilité de données sur la composition de la communauté de zooplancton dans la ZPMAN et les eaux adjacentes est semblable à celle décrite pour les paramètres de la production primaire et des concentrations de nutriments dans les *Sections 5.1 et 6.2*. Des données pertinentes ont été recueillies dans le cadre de CASES, de l'Étude sur le CSC, de l'EEMCN, de l'EERB-PPM, du PPMMB et de l'EEM-MBC, en même temps que des mesures des propriétés océanographiques et des concentrations de nutriments.

Des échantillons prélevés pendant CASES (automne 2002 et expédition d'hiver en 2003-2004; Figures 6 et 13) et l'Étude sur le CSC (automne 2007 jusqu'à l'hiver 2008; Figures 7 et 13) comprenaient quelques-unes des seules observations hivernales de la biodiversité du zooplancton à proximité de la ZPMAN. Ensemble, les données sur la composition de la communauté issues de ces études ont jeté un éclairage sur les stocks d'espèces de zooplancton dans la région, leur répartition, les processus qui contribuent à leur succession saisonnière et leurs réactions aux changements du calendrier et de la composition des producteurs primaires (p. ex., Darnis *et al.* 2008, 2012, 2019, Rózańska *et al.* 2009, Tremblay *et al.* 2011, 2012, Forest *et al.* 2011, Darnis et Fortier 2014, Leu *et al.* 2015). Bien que la plupart des conclusions de l'Étude sur le CSC et de CASES n'aient pas été tirées spécifiquement pour la ZPMAN, les connaissances acquises sur la biodiversité de zooplancton dans le sud de la mer de Beaufort et le golfe Amundsen peuvent placer les données de la ZPMAN en contexte. Par exemple, les analyses de la composition de la communauté de zooplancton recueillies dans le cadre de CASES à l'automne 2002 ont indiqué que la biomasse du mésozooplancton était plus élevée dans la baie Franklin et le long de la côte ouest de la péninsule Parry par rapport aux zones hauturières du golfe Amundsen et au talus du plateau de Beaufort (Darnis *et al.* 2008). La composition en espèces dans la baie Franklin était semblable à celle sur le plateau de Beaufort, et des gradients semblables de composition en espèces entre la côte et le large ont été observés dans les deux zones, coïncidant avec la profondeur et la réduction de la couverture de glace vers la polynie du cap Bathurst (Darnis *et al.* 2008). Des gradients semblables de composition en espèces entre la côte et le large existent peut-être dans la baie Darnley. De plus, il est possible que le zooplancton soit transporté par advection vers la baie Darnley à partir d'une zone adjacente par des courants forts ou des événements énergétiques générés par le vent (remontée/plongée d'eau, forts courants de surface; voir la *Section 5.1*).

Les mesures de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté de zooplancton propre à la ZPMAN et aux eaux adjacentes immédiates sont limitées principalement aux régions extracôtières du nord de la ZPMAN échantillonnées au cours d'une période estivale relativement courte. Des ensembles de données et d'échantillons sur la composition de la communauté de zooplancton et, dans une moindre mesure, des valeurs d'isotopes stables ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) ont été recueillis lors de l'EEMCN, de l'EERB-PPM, du PPMMB et de l'EEM-MBC pour le nord de la baie Darnley, la baie Franklin et le nord du cap Parry (Figures 9 et 10; Niemi *et al.* 2020, W. Walkusz et C. Michel, MPO, données inédites). Les données auxiliaires associées aux échantillons comprennent les profils océanographiques de la température, de la salinité, de l'oxygène dissous, de la fluorescence, de la composition isotopique de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) et des nutriments, ainsi que les observations hydroacoustiques de la biomasse zooplanctonique dans la colonne d'eau réalisées à bord d'un navire. Des analyses de la variabilité spatiale et temporelle de la biodiversité du zooplancton à l'aide des ensembles de données sur les eaux extracôtières sont à venir. L'échantillonnage effectué à des stations situées à moins de 15 milles marins de la ZPMAN en 2013 et en 2014 a permis d'identifier 65 taxons de mésozooplancton, dont 42 taxons de copépodes. Les occurrences d'espèces, ainsi que la biomasse et l'abondance des 10 principales espèces contribuant à la biomasse zooplanctonique sont indiquées dans Niemi *et al.* (2020). L'abondance, la biomasse et la composition en espèces du mésozooplancton variaient d'une année à l'autre, mais indiquaient généralement une dominance numérique des espèces de copépodes, une abondance d'espèces gélatineuses (*Fritillaria* sp. et *Oikopleura* sp.) à l'intérieur de la ZPMAN, une biomasse de mésozooplancton plus élevée dans les baies Franklin et Darnley comparativement à l'intérieur des limites de la ZPMAN, et une augmentation de la biomasse des zones côtières vers les zones extracôtières (Niemi *et al.* 2020). La composition de la communauté de zooplancton mesurée pendant l'EERB-PPM et le PPMMB à proximité de la

ZPMAN est semblable aux assemblages observés sur le plateau du Mackenzie et dans la baie Franklin pendant l'échantillonnage de CASES en 2002 (Darnis *et al.* 2008).

La dissolution de la coquille de ptéropodes à la suite de l'acidification des océans a été évaluée sur des échantillons prélevés près du cap Parry pendant le PPMB en 2014 (Niemi *et al.* 2021). Une gamme de dommages à la coquille a été observée, de minimales à graves, ce qui indique que les espèces présentes dans la région subissent un certain niveau d'eaux corrosives au cours de leur cycle vital, en particulier au stade larvaire. On ne comprend pas encore toutes les conséquences de l'acidification des océans dans l'Arctique, mais elles pourraient avoir une incidence sur les transferts d'énergie si les populations de zooplancton ne sont pas en mesure de s'adapter.

Il manque de données sur la composition, la structure et la fonction des espèces de zooplancton dans les zones côtières et méridionales de la ZPMAN. Des échantillons de zooplancton côtier ont été prélevés à l'aide de traits de chalut horizontaux qualitatifs durant le programme Arctic Coast aux étés 2018 et 2019, mais on ne les a pas encore analysés pour en déterminer la composition taxonomique (D. McNicholl, MPO, comm. pers.).

6.3.2. Stratégies et application

Comme il a été mentionné précédemment, l'hétérogénéité de l'habitat qui existe le long du gradient sud-nord dans la baie Darnley souligne la nécessité d'élaborer un indicateur de surveillance qui peut saisir l'hétérogénéité spatiale de la biodiversité du zooplancton. Comme la composition de la communauté de zooplancton suit les phénomologies saisonnières liées à la dynamique du climat et de la glace de mer, le moment de l'échantillonnage sera un facteur important pour déterminer les types de renseignements fournis par les données. La surveillance de la composition de la communauté de zooplancton et de la biomasse relative peut s'appliquer à la fois au printemps (pour capturer le biote associé à la glace et la migration ascendante des principales espèces de copépodes) et à l'été (coïncidant avec les occurrences estivales des mammifères marins et des espèces de poissons de niveau trophique supérieur dans la ZPMAN). La variabilité du climat sera un facteur important à prendre en compte dans l'évaluation des tendances de la composition de la communauté de zooplancton et de la biomasse relative, car des conditions océanographiques et climatiques très différentes peuvent prévaloir au cours de différentes années d'échantillonnage, même si les dates d'échantillonnage demeurent constantes. Pour cette raison, les indicateurs des conditions environnementales historiques devraient être mesurés en même temps que la composition de la communauté de zooplancton et la biomasse relative.

Des échantillons pour l'analyse taxonomique du zooplancton (fournissant des données sur la biodiversité, l'abondance et la biomasse), qui sont utilisés pour déterminer la composition en espèces, l'abondance relative et la biomasse, peuvent être prélevés à partir de petits navires à l'aide de filets à zooplancton standard, bien que l'échantillonnage en eaux profondes puisse nécessiter l'utilisation d'un treuil ou d'un plus gros navire. La taille des mailles des filets et la vitesse à laquelle les filets sont tirés dans l'eau auront une incidence sur les espèces capturées. Les espèces de zooplancton plus grosses et plus rapides, comme les amphipodes et le krill, peuvent éviter les filets à petites mailles qui sont tirés lentement dans l'eau, alors qu'un filet qui est tiré trop rapidement « poussera » l'eau plutôt que de la filtrer. Selon l'espèce cible choisie, plusieurs filets de différentes tailles peuvent être déployés pour capturer des fractions de différentes tailles. De plus, les spécimens de zooplancton recueillis pour l'analyse de biotraceurs (*Section 6.1*) devraient idéalement être prélevés à partir d'une remontée de filet consacrée à cette fin, car leur élimination des échantillons taxonomiques signifiera qu'ils ne sont pas pris en compte dans les résultats taxonomiques. Les analyses taxonomiques nécessiteront une expertise en laboratoire, ce qui peut être accompli en faisant appel à des services de

consultation spécialisés ou en collaborant avec des partenaires de cogestion et de recherche (p. ex., certains laboratoires du MPO peuvent être en mesure d'effectuer une analyse taxonomique de base). Le niveau de détail taxonomique requis aura une incidence sur le temps et le coût de traitement des échantillons. Un expert devrait être consulté pour déterminer le niveau de détail taxonomique requis pour répondre aux questions relatives à la surveillance. Il est fortement recommandé de prélever des échantillons de la composition de la communauté de zooplancton même si des fonds ne sont pas disponibles pour des analyses taxonomiques complètes. Ils sont relativement faciles à prélever et peuvent être conservés dans de l'éthanol ou du formaldéhyde pour le stockage à long terme, ce qui permettra des analyses rétrospectives des séries chronologiques lorsque des fonds deviendront disponibles ou si un problème survient. Les échantillons taxonomiques archivés ne doivent jamais être congelés.

Il est recommandé d'utiliser les données taxonomiques pour calculer l'abondance et la biomasse relatives des principales espèces de proies zooplanctoniques, afin de pouvoir comparer leur disponibilité relative pour les poissons-proies et les prédateurs de niveau trophique supérieur entre les emplacements et les années. Ces renseignements peuvent être utilisés pour comprendre si les tendances de la biomasse relative, des comportements ou de l'utilisation de l'habitat par les poissons-proies et les espèces de niveau trophique supérieur sont liées à la disponibilité de la nourriture zooplanctonique. Parmi les principaux groupes de zooplancton vivant en eau libre qui jouent un rôle pour le transfert d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs (c.-à-d. les principales espèces-proies), on trouve les copépodes riches en lipides tels que *Calanus* spp. et *Metridia longa*, les amphipodes pélagiques tels que *Themisto* spp. et le krill euphausiacé tel que *Thyanoessa* spp. Les données taxonomiques complètes, si elles sont disponibles, peuvent être utilisées pour estimer l'abondance et la biomasse relatives à l'échelle de la communauté, et pour identifier potentiellement toute nouvelle espèce colonisatrice (voir la *Section 6.9*). Si les ressources ne sont pas disponibles pour des analyses taxonomiques complètes, l'estimation de la biomasse par catégorie de taille du zooplancton (c.-à-d. le poids en vrac) peut tout de même fournir des renseignements utiles pour la surveillance des grands changements dans la structure de la communauté sans qu'il soit nécessaire d'identifier les espèces. Dans un tel cas, il est toujours recommandé de conserver une division représentative de chaque catégorie de taille pour d'éventuelles identifications futures. Un expert devrait être consulté pour décider des catégories de taille qui fourniront les meilleurs renseignements pour la surveillance.

De nouvelles technologies peuvent également être envisagées pour la collecte de données taxonomiques pour les principales espèces. Un système d'imagerie sous-marine peut recueillir des vidéos du zooplancton dans l'ensemble de la colonne d'eau à des endroits distincts. Un modèle d'identification informatique élaboré pour l'Arctique canadien pourrait ensuite être utilisé pour identifier les principales espèces et les principaux stades du cycle vital (Schmid *et al.* 2016, 2018). De telles analyses fournissent des sources de données ponctuelles, tout comme les traits de filet, et nécessiteraient une formation spécialisée et une capacité de calcul pour les analyses.

La collecte de zooplancton et d'amphipodes sous la glace peut nécessiter le déploiement de planeurs, de filets spécialement conçus pour gratter le fond de la glace de mer, de pièges appâtés ou de traits de filet verticaux simplifiés pour le zooplancton. Le déploiement de caméras pourrait fournir des renseignements qualitatifs sur la composition de la communauté sous la glace (p. ex., morue arctique, amphipodes) si des échantillons biologiques n'étaient pas requis pour des analyses taxonomiques ou des biotraceurs trophiques détaillées.

La biomasse du zooplancton peut également être surveillée à l'aide d'un profileur acoustique de zooplancton et de poissons amarré, qui établirait un lien direct entre la présence et la biomasse du zooplancton et les poissons-proies au large ou près des côtes (voir les *Sections 6.5* et *6.6*).

Étant donné que le zooplancton réagit rapidement aux conditions environnementales, à la dynamique de la glace et à la disponibilité des aliments, un échantillonnage intermittent au filet omettra inévitablement des événements saisonniers clés qui modifient la structure de la communauté de zooplancton et sa qualité subséquente pour les prédateurs. Un équipement amarré qui fournit une perspective saisonnière complète est donc précieux pour comprendre la situation et la dynamique des espèces fourragères dans l'écosystème. Ces ensembles de données annuels fournissent des renseignements clés sur la façon dont les conditions de l'année en cours influent sur la suivante. Des instruments d'acoustique active amarrés, notamment des profileurs acoustiques de zooplancton et de poissons, peuvent être utilisés pour évaluer la présence de zooplancton dans la colonne d'eau pendant toute l'année, et les analyses de suivi peuvent fournir des estimations de l'abondance et de la biomasse pour les principaux groupes comme les copépodes, les euphausiacés et les poissons (voir la *Section 6.5*; Berge *et al.* 2020, Hauri *et al.* 2018, Kitamura *et al.* 2017).

La surveillance de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté de zooplancton est étroitement liée à la surveillance des paramètres océanographiques fondamentaux et des concentrations de nutriments (*Section 5.1*), de la glace de mer (*section 5.3*), de la production primaire (*Section 6.2*), de la composition des communautés de poissons côtiers et hauturiers (*Sections 6.5 et 6.6*) et de la biomasse relative des poissons-proies (*Section 6.7*). Le lecteur est encouragé à consulter les autres sections pertinentes pour avoir une vue d'ensemble de la façon dont ces indicateurs interreliés fournissent des renseignements complémentaires et cumulatifs ainsi que les raisons pour lesquelles ils peuvent/doivent être recueillis ensemble. La sélection d'un sous-ensemble de sites de surveillance à long terme et la coordination entre les programmes de surveillance et de recherche seront essentielles pour maximiser l'utilité des données pour détecter les tendances (ou la stabilité) et pour la mise à l'essai d'hypothèses.

6.4. COMPOSITION, STRUCTURE ET FONCTION DE LA COMMUNAUTÉ D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES

Hypothèses ou prédictions de changement

- Les changements et perturbations touchant l'habitat benthique auront une incidence directe sur la composition de la communauté d'invertébrés benthiques.
- Les changements affectant la production primaire pélagique modifieront indirectement la composition, la structure et la fonction de la communauté benthique en altérant le couplage benthique-pélagique.
- La composition et la répartition de la communauté benthique influent sur la répartition et l'état des mammifères marins et des oiseaux de mer qui dépendent des proies benthiques (p. ex., phoque barbu, eiders).

Les communautés benthiques peuvent affecter de manière significative le stockage du carbone (p. ex., Trueman *et al.* 2014), la reminéralisation des matières organiques, le cycle des nutriments dans la colonne d'eau (p. ex., Bourgeois *et al.* 2017), la résilience des communautés (p. ex., Blanchard *et al.* 2011) et l'emplacement d'importantes aires d'alimentation pour les mammifères marins migrants (Bluhm et Gradinger 2008). Bien que les communautés benthiques arctiques réagissent rapidement et de façon opportuniste aux matières organiques fraîchement livrées par les impulsions de la production primaire, elles tirent la majorité de leur alimentation de sources sédimentaires accumulées sur de plus longues échelles de temps (Mincks *et al.* 2005, Renaud *et al.* 2008, Legeżyńska *et al.* 2012, North *et al.* 2014). Par conséquent, les modèles spatiaux de la biomasse et de la composition de la communauté benthique dans les mers arctiques ont tendance à refléter les indicateurs à long terme de

l'approvisionnement alimentaire benthique plutôt que les apports alimentaires saisonniers ou épisodiques (Renaud *et al.* 2008, Kędra *et al.* 2012, Legeżyńska *et al.* 2012, Link *et al.* 2013a). De plus, de nombreux invertébrés benthiques vivent longtemps, ont une mobilité relativement faible (grande fidélité au site) et réagissent différemment que le biote pélagique à des facteurs physiques changeants comme la température, l'acidification des océans, la glace de mer et le type de sédiment selon les seuils physiologiques particuliers de leur espèce (p. ex., Morley *et al.* 2019). Les invertébrés benthiques sont donc de très bons candidats en tant qu'indicateurs de perturbations naturelles et anthropiques. Du point de vue de la surveillance, le jumelage des indices de biodiversité et de fonction du benthos avec ceux des espèces pélagiques de niveau trophique inférieur fournit des renseignements sur les processus allant du bas vers le haut qui façonnent la dynamique du réseau trophique.

La structure et la fonction de la communauté benthique sont pertinentes pour les objectifs de conservation parce qu'elles peuvent refléter des changements aux niveaux inférieurs du réseau trophique qui auront probablement des effets en cascade sur les animaux de niveau trophique supérieur. Les changements climatiques modifient les voies d'acheminement des matières organiques qui alimentent les réseaux trophiques marins benthiques dans l'Arctique et dans le monde entier (Hoegh-Guldberg et Bruno 2010, Kortsch *et al.* 2015). On s'attend à ce que l'amélioration de la production primaire découlant de la hausse des températures de la mer et des périodes plus longues sans glace sur les plateaux arctiques soit en grande partie conservée par les communautés pélagiques, ce qui réduirait l'exportation de matières organiques labiles vers le benthos (Sampei *et al.* 2011, Forest *et al.* 2011, Tremblay *et al.* 2012) et susciterait des inquiétudes quant aux effets des changements climatiques sur le fonctionnement du réseau trophique (Wassmann et Reigstad 2011).

Il a été suggéré dans des documents scientifiques antérieurs (MPO 2015, Schimnowski *et al.* 2017) de surveiller la structure, la fonction et l'énergie de la communauté benthique en tant qu'indicateur des facteurs environnementaux (p. ex., changements des mécanismes d'approvisionnement alimentaire des communautés benthiques, répartition de l'habitat) et des conséquences potentielles des perturbations anthropiques. (p. ex., aménagement du littoral, apports de substances nocives). Les données sur la composition de la communauté benthique pourraient également fournir de l'information sur la disponibilité des proies pour les principales espèces de mammifères marins et de poissons qui consomment des invertébrés benthiques, y compris l'omble chevalier, le béluga, le phoque annelé et le phoque barbu (*Section 6.1*), et être utilisées pour détecter les occurrences potentielles des espèces non indigènes provenant soit de l'expansion naturelle de leur aire de répartition ou de l'introduction d'origine anthropique attribuable au trafic maritime (*Section 6.9*).

6.4.1. Renseignements disponibles

La composition et la répartition de la communauté d'invertébrés benthiques dans les zones côtières de la ZPMAN constituent une lacune importante sur le plan des connaissances, bien que les résidents de Paulatuk qui ont participé à un atelier visant à compiler et à documenter le savoir autochtone sur l'écologie en 2011 aient indiqué que les crabes, les oursins, les palourdes, les moules, les amphipodes, les décapodes, le krill, les anémones de mer et les isopodes étaient courants dans les zones côtières, tandis que les crevettes étaient courantes dans les eaux plus profondes et que de grandes méduses étaient occasionnellement observées au large (Kavik-AXYS Inc. 2012, Figure 13). Les observations ont été réitérées dans le plan de conservation de la collectivité de Paulatuk, appuyé par des identifications par l'entremise du MPO (Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016). Pour combler les lacunes en matière de connaissances, le CCT de Paulatuk a lancé le relevé des invertébrés de Paulatuk afin de caractériser la communauté d'invertébrés dans la baie Darnley, et il est en cours

d'élaboration depuis 2017. Dans le cadre du programme, le CCT de Paulatuk embauche des techniciens locaux qui installent des casiers à crabes et à crevettes dans les zones qu'il a ciblées. Les données recueillies comprennent l'emplacement des pièges, les conditions météorologiques, la durée et la profondeur, l'abondance des prises, les mesures de la largeur de la carapace et les observations de femelles œuvées, ainsi que le nombre d'œufs, si possible.

Des données sur la composition en espèces de l'épifaune benthique des zones côtières de la baie Argo ont été recueillies lors du programme Arctic Coast à l'été 2017 (D. McNicholl, MPO, données inédites). Le relevé a confirmé la présence d'algues coralliennes, des structures incrustées uniques qui agissent comme un habitat et sont considérées comme sensibles à l'acidification des océans.

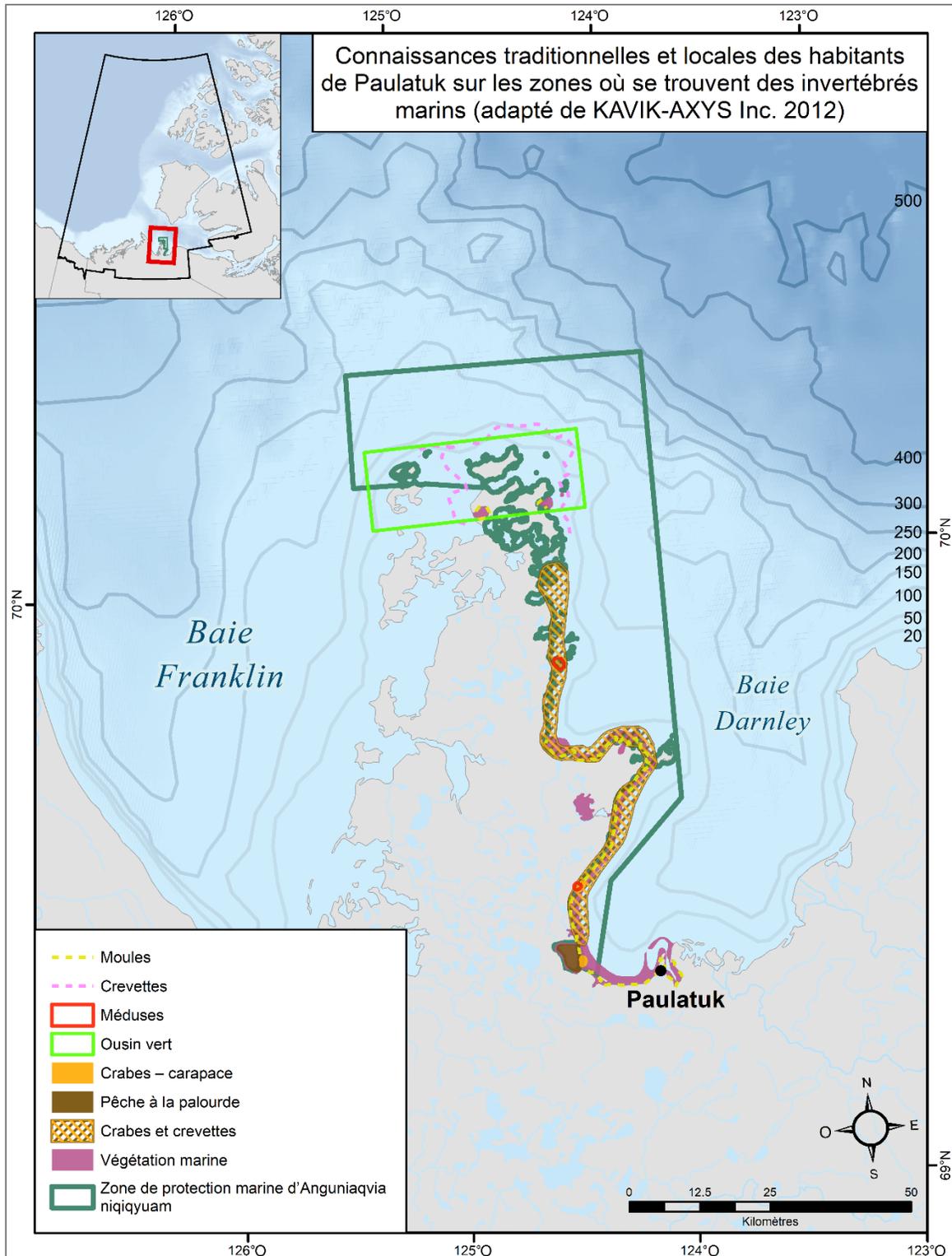


Figure 13. Emplacements des habitats d'invertébrés marins clés et des zones de pêche d'invertébrés à proximité de la ZPMAN selon les connaissances traditionnelles et locales recueillies lors d'un atelier tenu à Paulatuk en 2011. La carte a été adaptée de KAVIK-AXYS Inc. (2012) par J. Friesen et fournie par le groupe de travail sur la ZPMAN.

Les données pertinentes pour cet indicateur en milieu hauturier ont été recueillies par intermittence entre 2003 et 2017 à partir des mêmes programmes au large des côtes qui ont recueilli des données sur la répartition de l'habitat benthique décrite à la *Section 5.3*, c'est-à-dire l'Étude sur le CSC, CASES, l'EEMCN, l'EERB-PPM, le PPMMB et l'EEM-MBC. Les données des relevés quantitatifs sur la composition et la structure de la communauté benthique ont surtout été recueillies dans la partie nord de la baie Darnley, au large du cap Parry et dans la baie Franklin, bien que deux stations aient été échantillonnées dans le sud de la ZPMAN pendant l'EEMCN en 2008 (Figure 6). En général, la biomasse, l'abondance et la composition de la communauté d'invertébrés benthiques ont été mesurées à partir d'échantillons prélevés avec des carottiers à boîte pour les sédiments (surface de 0,5 m²), des bennes non quantitatives de sédiments ou au moyen d'un petit chalut Agassiz (ouverture de filet de 1,5 m).

Les relevés d'invertébrés benthiques les plus exhaustifs effectués dans la ZPMAN et les eaux adjacentes ont été ceux effectués au large des côtes dans le cadre des évaluations environnementales successives menées au moyen du navire de pêche *Frosti* entre 2013 et 2017 (Figure 7; EERB-PPM, PPMMB et EEM-MBC). Les invertébrés endofauniques (ceux qui vivent dans les sédiments) ont été échantillonnés quantitativement à l'aide d'un carottier à boîte pour les sédiments. Les invertébrés épifauniques (ceux qui vivent à la surface des sédiments) ont été recueillis au moyen de la combinaison d'un petit chalut à perche benthique de trois mètres et d'un grand chalut de pêche commerciale à panneaux. Le chalutage a réduit les biais associés à l'échantillonnage de petites surfaces, mais les résultats des relevés par chalutage ne sont pas directement comparables à ceux qui ont été obtenus avec des engins plus petits lors de programmes antérieurs. Les densités de biomasse endofaunique observées le long des stations au nord du cap Parry en 2008 étaient comparables à celles observées pendant le programme mené au moyen du navire de pêche *Frosti* de 2013 à 2018 (toutes deux échantillonnées au moyen d'un carottier à boîte; Conlan *et al.* 2013, Niemi *et al.* 2020). La biodiversité des invertébrés benthiques observée dans le cadre du programme mené au moyen du navire de pêche *Frosti* était plus élevée que celle observée pendant l'Étude sur le CSC (Roy *et al.* 2014, Niemi *et al.* 2020), ce qui est probablement attribuable à la plus grande superficie échantillonnée lors du programme mené au moyen du navire de pêche *Frosti*. Au cours de ce dernier, 400 taxons épifauniques et 352 taxons endofauniques ont été recensés, représentant respectivement 12 et 14 phylums. La richesse taxonomique aux stations échantillonnées à moins de 15 milles marins de la ZPMAN entre 2013 et 2018 variait de 5 à 114 taxons pour l'épifaune et de 14 à 72 taxons pour l'endofaune (Niemi *et al.* 2020). La diversité épifaunique augmentait généralement de la côte au large, tandis que la diversité endofaunique montrait la tendance opposée (Niemi *et al.* 2020).

Les données des programmes d'échantillonnage au large décrits ci-dessus ont été utilisées pour décrire la répartition régionale des communautés d'invertébrés benthiques dans la mer de Beaufort et le golfe Amundsen, et pour étudier les facteurs environnementaux à grande échelle de la variabilité spatiale de la composition des communautés. La composition taxonomique benthique de la région ne semblait pas fortement liée aux indices de l'approvisionnement alimentaire benthique (Conlan *et al.* 2008, Roy *et al.* 2014). Cependant, un flux descendant plus faible de matières organiques pélagiques dans le golfe Amundsen par rapport à la mer de Beaufort (Sallon *et al.* 2011, Sampei *et al.* 2011) a été associé à un couplage benthique-pélagique plus faible et à l'utilisation d'une plus grande diversité de sources de carbone parmi les consommateurs benthiques (Stasko *et al.* 2018). La diversité fonctionnelle trophique des communautés benthiques était la plus grande dans les habitats de la rupture de pente continentale, qui sont soumis à des processus océanographiques dynamiques qui favorisent des impulsions épisodiques de l'approvisionnement alimentaire benthique (A. Ehrman, MPO, données inédites).

6.4.2. Stratégies et application

Il existe une lacune importante dans les connaissances sur la communauté d'invertébrés benthiques et ses associations à un habitat dans la ZPMAN, en particulier pour les régions méridionales et côtières. En raison de l'absence de fortes corrélations linéaires entre les gradients environnementaux à grande échelle et la structure de la communauté benthique dans le sud de la mer de Beaufort et le golfe Amundsen (Conlan *et al.* 2008, Roy *et al.* 2014), la composition, la structure et la fonction de la communauté benthique ne peuvent être prédites de façon fiable à partir d'autres données et doivent être mesurées localement dans la ZPMAN. La composition et la structure de la communauté benthique varieront probablement en fonction de la profondeur, et entre le nord et le sud de la ZPMAN en raison des gradients dans les caractéristiques de l'habitat benthique (p. ex., température, salinité, type de substrat, océanographie physique). Comme c'est le cas pour d'autres indicateurs, un programme d'échantillonnage benthique serait plus efficace s'il était intégré à un vaste régime d'échantillonnage mené à un ensemble de sites de surveillance clés à long terme qui sont répartis aléatoirement entre les types d'habitats. La cartographie de l'habitat benthique sera une condition préalable à la sélection efficace des emplacements d'échantillonnage qui saisissent la variabilité spatiale des caractéristiques de l'habitat benthique et évitent les zones sensibles. De plus, comme la composition, la structure et la fonction de la communauté d'invertébrés benthiques sont fortement liées aux conditions de l'habitat, la mise à l'essai d'hypothèses exigera des renseignements connexes sur la répartition de l'habitat benthique (*Section 5.3*) ainsi que les paramètres océanographiques fondamentaux et les apports en nutriments (*Section 5.1*). De l'information propre à l'emplacement sur le moment de la débâcle (*Section 5.2*), la production primaire pélagique (*Section 6.2*) et la composition de la communauté de zooplancton (*Section 6.3*) permettrait de mettre à l'essai des hypothèses concernant le rôle du couplage benthique-pélagique dans la structuration des niveaux trophiques inférieurs.

L'échantillonnage pour les estimations quantitatives de la biomasse, de l'abondance et de la composition de la communauté benthique pourrait être effectué dans des zones côtières dans le cadre d'un programme de surveillance communautaire fondé sur le remorquage d'un petit traîneau benthique au moyen d'un navire de petite ou moyenne taille muni d'un treuil. Les relevés quantitatifs nécessiteraient un examen attentif des caractéristiques des engins, de la façon de normaliser l'effort de déploiement et des protocoles de sous-échantillonnage des prises. Les techniciens locaux sur le terrain pourraient effectuer un tri grossier en grands groupes fonctionnels ou d'alimentation. Il est également possible d'effectuer des relevés visuels de la composition et de l'abondance de la communauté benthique à l'aide de technologies utilisant des caméras non invasives, comme un traîneau benthique surélevé équipé de caméras spécialisées, des caméras largables ou un VTG. L'opération d'un VTG et l'interprétation des séquences vidéo nécessiteront une collaboration avec des experts qui ont des connaissances et un accès à des logiciels spécialisés, mais seraient particulièrement utiles dans les habitats sensibles ou ceux qui ne peuvent pas être facilement échantillonnés avec de l'équipement entrant en contact avec le fond (p. ex., herbiers de varech, zones rocheuses). L'échantillonnage d'invertébrés benthiques dans des zones extracôtières profondes, en particulier dans le nord de la ZPMAN et dans les eaux adjacentes, nécessitera probablement l'utilisation d'un grand navire. La plupart des stratégies de collecte de données sur la composition de la communauté d'invertébrés benthiques (en contact avec le fond ou non) permettent également de recueillir de l'information sur les poissons benthiques, ce qui contribue à la collecte de données pour l'indicateur de la composition, de la structure et de la fonction des communautés de poissons côtiers et hauturiers (*Section 6.5*). Les stratégies qui emploient des caméras ont l'avantage supplémentaire de recueillir des données sur l'habitat benthique (*Section 5.3*).

Parmi tous les principaux groupes d'espèces pris en compte dans le présent document, les invertébrés benthiques sont peut-être les plus susceptibles d'agir comme de bons indicateurs des effets des perturbations locales parce qu'ils sont étroitement liés à leur habitat. Bon nombre d'entre eux ont une durée de vie relativement longue et une grande fidélité au site, reflétant ainsi les processus à long terme, et ont une tolérance propre à l'espèce aux perturbations, aux pressions et aux menaces potentielles. Il a été conclu dans les documents scientifiques antérieurs sur les indicateurs de surveillance potentiels pour la ZIAN qu'il fallait effectuer des recherches supplémentaires pour déterminer un ensemble d'espèces indicatrices sur lesquelles concentrer les efforts de surveillance (p. ex., dénombrements numériques détaillés, biomasse et biotraceurs sur un sous-ensemble d'espèces cibles). C'est encore le cas aujourd'hui. On ne sait toujours pas quelles espèces présentes dans la ZPMAN sont suffisamment sensibles aux facteurs environnementaux et aux agents de stress anthropiques pour être des indicateurs utiles. Toutefois, il est possible de faire quelques généralisations. Par exemple, les organismes sessiles et à faible mobilité comme les éponges, les coraux mous et les bivalves peuvent être très sensibles aux activités qui perturbent le fond marin (p. ex., Clark *et al.* 2016) et peuvent indiquer les effets potentiels du dragage, de la récolte avec des engins entrant en contact avec le fond, du développement de l'infrastructure côtière (MPO 2014) ou des perturbations naturelles telles que l'entaillage par des quilles de glace. Les algues coralliennes et les organismes qui développent une coquille seront plus sensibles à l'acidification des océans que les organismes au corps mou. Étant donné qu'il n'y a actuellement pas d'information sur la sensibilité propre à chaque espèce, si des espèces cibles sont choisies pour la surveillance, elles devraient représenter une gamme de groupes fonctionnels et de préférences en matière d'habitat afin de saisir les changements potentiels qui se produisent au moyen de différents mécanismes (p. ex., les bivalves filtreurs, les polychètes fouisseurs, les décapodes carnivores mobiles). Les données sur l'abondance relative, les biotraceurs et les groupes d'alimentation fonctionnels qui ont récemment été acquises pour les communautés benthiques près de la ZPMAN (Stasko *et al.* 2017, Niemi *et al.* 2020) pourraient guider un tel processus de sélection générique.

Jusqu'à ce que les sensibilités propres aux espèces soient mieux comprises dans la ZPMAN, il serait peut-être préférable d'utiliser les données sur la composition de la communauté benthique pour calculer des mesures agrégées. Par exemple, des paramètres simples peuvent être calculés pour détecter ou quantifier les effets des perturbations sur la communauté benthique en fonction des sensibilités connues des groupes de taxons généraux (p. ex., l'indice biotique marin de l'AZTI; Borja *et al.* 2000, Culhane *et al.* 2019). Des mesures standard de la biodiversité (p. ex., la richesse, la diversité, la régularité et la densité des espèces) peuvent également être utilisées pour détecter les changements dans la répartition, la structure et la fonction de la communauté benthique qui peuvent être déclenchés par des pressions comme l'érosion côtière (Brown *et al.* 2011), l'enrichissement en nutriments causé par le tourisme ou les effluents d'eaux usées d'origine communautaire (Krumhansl *et al.* 2015, Culhane *et al.* 2019), la réduction ou l'expansion des herbiers de varech (Włodarska-Kowalczyk *et al.* 2009, Kortsch *et al.* 2012) et les changements climatiques (p. ex., Kortsch *et al.* 2012, Renaud *et al.* 2015, Beaugrand *et al.* 2019). La modélisation du caractère convenable de l'habitat peut aider à déterminer quelles espèces benthiques sont le plus menacées par les changements climatiques dans la ZPMAN (Degraer *et al.* 2008, Goldsmit *et al.* 2018), mais les procédures de modélisation peuvent être complexes et exiger comme condition préalable des données de grande qualité sur l'habitat. La modélisation du caractère convenable de l'habitat pourrait donc devenir un outil utile à l'avenir, une fois que la surveillance aura établi des données de référence sur l'habitat benthique et océanographique.

6.5. COMPOSITION, STRUCTURE ET FONCTION DE LA COMMUNAUTÉ DE POISSONS HAUTURIERS

Hypothèses ou prédictions de changement

- La variation interannuelle de la phénologie de la glace, des températures océaniques et de la production primaire modifiera les voies de transmission de l'énergie, favorisant une abondance et une diversité accrues des poissons pélagiques par rapport aux poissons benthiques. De même, la variabilité et les changements de la phénologie de la glace influenceront sur la croissance et le développement des larves de poissons pélagiques, ce qui servira d'indicateur du succès du recrutement.
- Des changements importants touchant la composition ou l'abondance de la communauté de zooplancton influenceront sur l'utilisation de l'habitat par les poissons marins côtiers et hauturiers, leur condition et leur abondance relative.
- Des changements importants affectant l'abondance ou la biomasse relative des espèces de poissons auront des effets en cascade sur la structure du réseau trophique.

Aux fins du présent examen, les poissons hauturiers sont considérés comme ceux qui occupent habituellement des eaux de plus de 20 m de profondeur. La surveillance de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté de poissons hauturiers est pertinente pour les objectifs de conservation pour la ZPMAN parce que ceux-ci constituent certaines des principales proies des mammifères marins, des oiseaux de mer et de l'omble chevalier. Par conséquent, les poissons hauturiers peuvent transmettre du bas vers le haut les influences de la variabilité et des changements environnementaux aux niveaux trophiques supérieurs.

Bien que les poissons-proies soient probablement le sous-ensemble communautaire le plus important à surveiller en ce qui a trait aux conséquences trophiques directes sur les mammifères marins (*Section 6.7*), la surveillance de la composition de la communauté de poissons dans son ensemble fournit des renseignements importants sur la façon dont la variabilité et les changements environnementaux affectent le fonctionnement de l'écosystème. Par exemple, la surveillance à long terme de la structure de la communauté de poissons hauturiers dans la mer de Barents a documenté l'expansion des espèces boréales dans les eaux arctiques en raison des conditions océanographiques changeantes (p. ex., Frainer *et al.* 2017). Les données ont été utilisées pour démontrer que les nouvelles espèces modifient la structure du réseau trophique en créant de nouvelles relations alimentaires et de la concurrence, ce qui entraîne des effets en cascade dans le réseau trophique (p. ex., Pecuchet *et al.* 2020). De plus, on sait peu de choses à l'heure actuelle sur la façon dont les interactions alimentaires entre les poissons qui ne sont pas des proies, le benthos et le zooplancton contribuent à la résilience et à la stabilité globales de l'écosystème. La surveillance de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté de poissons hauturiers dans la ZPMAN et les eaux adjacentes de la baie Darnley et du golfe Amundsen fournirait un ensemble de données permettant de déterminer les événements qui déclenchent des changements possibles observés aux niveaux trophiques supérieurs.

En général, la composition et la structure de la communauté de poissons hauturiers semblent être plus étroitement associées aux gradients de température, de profondeur et de salinité liés à la circulation des masses d'eau (Logerwell *et al.* 2011, Majewski *et al.* 2013, 2017, Norcross *et al.* 2013). L'étendue et le moment de l'englacement sont des contrôles présumés du recrutement de la morue arctique (Bouchard *et al.* 2017, LeBlanc *et al.* 2020), mais on en sait peu sur l'écologie et les exigences liées à l'habitat des larves de poissons d'autres espèces, dont bon nombre sont pélagiques. L'écologie des larves de poissons représente une importante lacune sur le plan des connaissances pour l'ouest de l'Arctique canadien en général.

Des recherches importantes sur la composition, la structure et la fonction de la communauté de poissons hauturiers ont été menées depuis le précédent examen scientifique consultatif par les pairs. La recherche a produit des données de référence sur la biodiversité des poissons, leur abondance relative et la répartition des habitats, ainsi qu'une meilleure compréhension des rôles fonctionnels et trophiques de nombreuses espèces (voir ci-dessous). Cependant, il faut encore effectuer des recherches sur la résilience écologique, les sensibilités, la stabilité temporelle de la structure de l'écosystème et les réponses des espèces clés aux facteurs de stress (Schimnowski *et al.* 2017).

6.5.1. Renseignements disponibles

Les connaissances autochtones déjà documentées et compilées sont limitées pour les espèces de poissons hauturiers qui se trouvent près de la ZPMAN, sauf pour la morue arctique (Kavik-AXYS Inc. 2012, Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016).

À moins de 15 milles marins de la ZPMAN, des relevés de pêche benthiques ont été effectués à six stations au cours de l'expédition de 2008 de l'EEMCN à bord du NGCC *Nahidik* (Figure 6; Lowdon *et al.* 2011), et à 50 stations au cours des expéditions de 2013, 2014 et de 2017 à 2019 de l'EERB-PPM, du PPMMB et de l'EEM-MBC menées au moyen du navire de pêche *Frosti* (Figure 7; A. Majewski, MPO, données inédites, Niemi *et al.* 2020). Un chalutage a été effectué à l'aide d'un chalut à perche benthique de trois mètres et d'une combinaison d'un chalut à perche de trois mètres et d'un chalut à panneaux Atlantic Western IIA plus grand pendant l'EEMCN et le programme mené au moyen du navire de pêche *Frosti*, respectivement. Des données à l'appui sur l'océanographie, la production primaire, les concentrations de nutriments, la biodiversité du zooplancton, la répartition de l'habitat sédimentaire et la composition de la communauté d'invertébrés benthiques ont été recueillies simultanément au cours des deux études.

L'EEMCN a été la première évaluation scientifique de la répartition et de la présence de poissons dans des eaux de plus de 20 m de profondeur dans la baie Darnley. Au moins 25 espèces de poissons ont été recensées (Lowdon *et al.* 2011). La composition de la communauté de poissons variait selon l'emplacement. La morue arctique était dominante dans les prises au chalut au nord du cap Parry, tandis que les chabots (*Cottidae*), les lycodes polaires (*Zoarcidae*) et les épinoches (*Stichaeidae*) dominaient de façon variable aux stations échantillonnées dans les parties plus méridionales des baies Franklin et Darnley (Lowdon *et al.* 2011).

Au cours des évaluations environnementales de 2013, 2014 et 2017 menées au moyen du navire de pêche *Frosti*, au moins 21 espèces de poissons marins ont été capturées à moins de 15 milles marins de la ZPMAN, représentant 18 genres et 11 familles (potentiellement plus, en attente de confirmation génétique des espèces; Niemi *et al.* 2020, A. Majewski, MPO, comm. pers.). La morue arctique était l'espèce la plus abondante dans tous les transects et pour toutes les années, sauf au nord du cap Parry en 2014, lorsque le poisson-alligator arctique (*Aspidophoroides olrikii*) a dominé l'abondance numérique. Le capelan était présent en même temps que la morue arctique à des stations d'échantillonnage dans la baie Franklin et à l'est de la pointe Bennett, mais avec une abondance relativement faible (A. Niemi *et al.* 2020). À l'instar des résultats de l'EEMCN en 2008 (Lowdon *et al.* 2011), les chabots, les lycodes polaires et les épinoches étaient courants dans les zones extracôtières à proximité de la ZPMAN (voir les détails dans Niemi *et al.* 2020). Des relevés hydroacoustiques continus effectués le long de la trajectoire du navire de pêche *Frosti* ont indiqué des densités globales similaires de poissons pélagiques et de gros zooplancton entre 2013 et 2014, avec une légère augmentation au nord-ouest du cap Parry (Niemi *et al.* 2020).

Les rôles fonctionnels de nombreux poissons hauturiers qui se trouvent dans la ZPMAN et les eaux adjacentes sont encore mal compris. L'information sur les rôles trophiques et fonctionnels de certains poissons hauturiers qui sont présents dans la ZPMAN peut être déduite d'études récentes sur la répartition des poissons, les associations à un habitat et la structure du réseau trophique dans la mer de Beaufort et le golfe Amundsen (Majewski *et al.* 2013, 2016, 2017, Giraldo *et al.* 2016, 2018, Stasko *et al.* 2016, 2017). Les poissons hauturiers ont été inclus dans le répertoire des caractéristiques fonctionnelles de l'alimentation des espèces décrites à la *Section 6.4* (Stasko 2017).

McNicholl et ses collaborateurs (2020) ont récemment compilé tous les renseignements disponibles sur la présence et la répartition de poissons anadromes et marins dans la baie Darnley et dans les eaux associées à la ZPMAN. À ce jour, 28 espèces hauturières du bassin du plateau continental ont été observées. Ce document comprend également des renseignements sur les attributs fonctionnels de base de chaque espèce qui peuvent aider à expliquer les causes ou les effets de tout changement observé dans la composition de la communauté.

Mis à part le chalutage pélagique qui a été effectué pendant l'EEM-MBC pour vérifier les observations hydroacoustiques, pratiquement aucun échantillonnage n'a été effectué dans le milieu pélagique des zones extracôtières de la ZPMAN. Les projections modélisées des changements dans la répartition des poissons hauturiers en réponse aux changements des profils spatiaux des paramètres océanographiques et de la production primaire ne sont pas encore disponibles pour la région de la ZPMAN, mis à part les prévisions générales concernant la morue arctique.

6.5.2. Stratégies et application

Comme il a été indiqué précédemment (MPO 2015), la surveillance de la composition et de la structure de la communauté complète de poissons hauturiers exige des relevés plurispécifiques soigneusement planifiés et largement répartis qui saisissent simultanément des données sur l'habitat environnemental. De tels relevés peuvent être difficiles à effectuer dans le cadre d'un programme de surveillance communautaire, car l'échantillonnage nécessite habituellement un navire hauturier de gros tonnage. La collaboration avec des programmes de recherche et de surveillance menés depuis un navire pourrait constituer une approche judicieuse pour recueillir des renseignements sur cet indicateur. Les prélèvements au large dans la baie Darnley pourraient être effectués dans le cadre d'un programme communautaire au moyen de filets maillants déployés en profondeur ou d'un petit traîneau benthique; toutefois, de tels déploiements nécessiteraient un navire muni d'un treuil et des mesures de sécurité strictes et recueilleraient probablement moins d'espèces potentiellement différentes qu'un chalut typique de grande dimension. La plupart des espèces benthiques au large des côtes ne peuvent pas être capturées au moyen de filets maillants, et la profondeur des filets tirés par des treuils serait limitée. Les solutions de rechange possibles aux filets maillants pour capturer les poissons hauturiers comprennent les trémails, les palangres ou les casiers à crabes, mais il faut garder à l'esprit que la capturabilité et les espèces cibles varient selon le type d'engin. Les relevés des poissons côtiers et hauturiers devraient être coordonnés à temps pour l'étude des liens trophiques et pour la complémentarité relative à la présence/absence. Les comparaisons directes de l'abondance et de la biomasse relatives ne sont probablement pas possibles entre les relevés côtiers et hauturiers, car les différences de méthodes et de types d'engins entraîneront des différences dans l'efficacité relative de chaque programme.

L'acquisition d'identifications taxonomiques complètes pour les relevés avec beaucoup de prises peut prendre du temps et coûter cher, mais elle produit de riches données qui peuvent être utilisées pour calculer des mesures composites de la biodiversité (p. ex., l'indice de

diversité de Shannon et l'indice de régularité de Pielou) et de l'abondance relative, effectuer des analyses robustes de la variabilité spatiale et temporelle de la composition de la communauté et détecter la présence de nouvelles espèces. Par ailleurs, il peut être stratégique de choisir un ensemble d'espèces clés représentatives pour la surveillance qui devraient réagir à un éventail de modifications écosystémiques pertinentes pour les objectifs de conservation, ou qui représentent différents groupes fonctionnels clés. Une considération importante pour la sélection des espèces à des fins de surveillance ciblée est leur importance comme proie pour les prédateurs de niveau trophique supérieur, en particulier ceux qui sont importants pour les résidents de Paulatuk, et c'est pourquoi les poissons-proies comme la morue arctique sont considérés comme un indicateur indépendant (*Section 6.7*). Néanmoins, la surveillance des seuls poissons-proies ne permettra qu'une compréhension limitée de la façon dont les poissons contribuent aux fonctions de l'écosystème et du réseau trophique de la ZPMAN, car 1) ils sont sélectionnés sur la base d'une connaissance limitée des régimes alimentaires des prédateurs et peuvent ne pas représenter l'ensemble des espèces consommées, 2) des renseignements sur l'ensemble de la communauté de poissons sont nécessaires pour effectuer des comparaisons significatives de l'abondance relative de chaque espèce de poisson-proie (p. ex., si l'on observe un déclin de l'abondance relative d'une espèce, est-elle remplacée par une autre, ou les tendances de toutes les espèces réagissent-elles de la même façon?) et 3) l'exclusion des espèces qui ne sont pas des proies peut entraîner un manque de renseignements de référence si un changement imprévu de l'écosystème soulève de nouvelles préoccupations concernant d'autres espèces (p. ex., des espèces potentiellement colonisatrices, une baisse de la biodiversité globale due à un changement environnemental). Dans cette optique, les autres espèces potentielles choisies pour la surveillance ciblée devraient être représentatives des différents groupes fonctionnels et des associations à un habitat hauturier. Par exemple, les lycodes polaires, le flétan du Groenland et les chabots sont tous des espèces benthiques qui représentent des proies potentiellement importantes pour le béluga et le phoque annelé (voir la *Section 6.1*), mais qui jouent des rôles trophiques différents (p. ex., Giraldo *et al.* 2016, Stasko *et al.* 2016) et occupent différentes aires d'habitat selon la profondeur, la température et la salinité (Majewski *et al.* 2017).

Les paramètres potentiels pour la surveillance d'un sous-ensemble d'espèces comprendraient la capture par unité d'effort de chaque espèce (une mesure de l'abondance relative), les répartitions et les analyses de suivi de l'énergie/des biotraceurs (*Section 6.1*). Le jumelage des données sur l'abondance relative avec la taille, l'âge ou le sexe permettra de calculer les indices démographiques qui se rapportent à la condition ou à l'état trophique (p. ex., Jennings *et al.* 2002, Shin *et al.* 2005, Harwood *et al.* 2013, Stasko *et al.* 2016), au besoin.

Le profilage acoustique actif par amarrage (semblable à l'hydroacoustique menée à partir d'un navire) permet des comparaisons saisonnières et interannuelles de la répartition globale des poissons, de la biomasse et des mouvements à l'emplacement d'amarrage. Il offre également des possibilités d'intégration entre les disciplines (p. ex., océanographie, production primaire), les niveaux trophiques (le zooplancton, le krill et les poissons sont mesurés en même temps) et les programmes au large des côtes dans la région de la mer de Beaufort et du golfe Amundsen qui utilisent une technologie semblable. L'acoustique active détecte les poissons cibles dans la majeure partie de la colonne d'eau à l'emplacement d'amarrage, pendant toute la période de déploiement. Les poissons près de la surface ou du fond ne peuvent pas être détectés en raison de l'interférence acoustique qui se produit à ces endroits. Par conséquent, les instruments hydroacoustiques amarrés ou installés à bord d'un navire s'appliquent davantage à la surveillance des espèces pélagiques et des larves pélagiques (voir la *Section 6.7*) qu'aux espèces benthiques adultes. Compte tenu de la prévalence de la morue arctique dans la mer de Beaufort, ces outils acoustiques sont particulièrement utiles pour surveiller cette espèce

fourragère clé. L'échantillonnage au filet peut valider les identifications d'espèces effectuées au moyen d'un logiciel acoustique.

6.6. COMPOSITION, STRUCTURE ET FONCTION DE LA COMMUNAUTÉ DE POISSONS CÔTIERS

Hypothèses ou prédictions de changement

- Les changements touchant la composition, la structure et la fonction de la communauté de poissons côtiers refléteront les changements environnementaux généraux de la température, de la salinité, du débit des rivières et de la circulation océanique.
- Des changements importants affectant l'abondance ou la biomasse relative des espèces auront des effets en cascade sur la structure du réseau trophique.

Aux fins du présent examen, les poissons côtiers de la baie Darnley et de la ZPMAN sont considérés comme ceux qui occupent les eaux à partir du rivage jusqu'à une profondeur de 20 m. L'habitat côtier se distingue de l'habitat hauturier par les apports d'eau douce de rivières qui sont habituellement moins salins et augmentent la température et la turbidité (D. McNicholl, MPO, données inédites). Les poissons côtiers constituent des liens avec les réseaux dulcicoles et marins et sont donc un indicateur important des changements dans de multiples environnements. Les poissons anadromes et les poissons-proies sont considérés comme des poissons côtiers présentant un intérêt particulier pour la surveillance et font l'objet d'une discussion indépendante (voir les *Sections 6.7* et *6.8*). Les poissons côtiers sont pertinents pour les objectifs de conservation associés à la ZPMAN parce qu'ils constituent une importante base de proies pour les oiseaux de mer, les poissons et les mammifères marins de niveau trophique supérieur, en particulier le béluga, les phoques et l'omble chevalier, qui ont été déterminés comme étant des espèces clés en raison de leur valeur sur les plans de la culture et de la subsistance (p. ex., Quakenbush *et al.* 2012, Harwood et Babaluk 2014, Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016, Gallagher *et al.* 2017). La communauté de poissons côtiers peut aussi agir comme sentinelle pour les effets en cascade des changements de l'habitat ou du climat parce que la composition, la structure et les attributs fonctionnels des poissons côtiers sont souvent liés aux caractéristiques de l'habitat. Pour cette raison, les documents scientifiques antérieurs sur la ZIAN ont souligné l'importance d'intégrer les données sur la communauté de poissons côtiers aux données océanographiques (MPO 2015, Schimnowski *et al.* 2017). On a suggéré de documenter les espèces de poissons côtiers inhabituelles et les comportements étranges en raison de leur association possible avec des perturbations environnementales (voir aussi la *Section 8*). Certaines données de base sur la composition et la diversité de la communauté de poissons côtiers ont été déterminées avant la désignation de la ZPMAN à partir des connaissances autochtones recueillies par la participation volontaire à des entrevues (McNicholl *et al.* 2017b) et à un atelier (Kavik-AXYS Inc. 2012), et à partir des relevés communautaires de référence des poissons (McNicholl *et al.* 2017a, 2020). Cependant, des recherches supplémentaires sur les interactions trophiques, l'énergie, la structure de la communauté et sa résilience aux facteurs de stress sont nécessaires avant que les espèces ciblées pour la surveillance puissent être déterminées (Schimnowski *et al.* 2017).

La surveillance des paramètres de la structure de la communauté de poissons fournit non seulement un moyen de détecter les changements touchant la communauté de poissons, mais peut également fournir un contexte explicatif pour le comportement animal ou les changements dans la fonction et la structure de l'écosystème. Les répertoires d'espèces sont particulièrement importants pour suivre l'introduction d'espèces envahissantes (p. ex., par le trafic maritime), l'étendue de l'expansion continue de l'aire de répartition (p. ex., les saumons du Pacifique) ou l'utilisation potentielle de l'habitat protégé par des espèces en péril (p. ex., le loup de Béring).

L'intégration des répertoires d'espèces et des abondances relatives peut alors fournir des renseignements pertinents pour une foule d'intérêts de surveillance possibles pertinents pour les objectifs de conservation, comme la compréhension des réactions des espèces à la variabilité environnementale (p. ex., dates de la débâcle, volumes d'eau douce rejetée par les rivières), la surveillance des taux d'établissement des espèces envahissantes ou la mesure de la disponibilité relative de différentes proies pour les mammifères marins et les oiseaux de mer. Le jumelage des données sur l'abondance relative et des données sur la taille, l'âge, le sexe ou les attributs fonctionnels et d'alimentation permettra une surveillance plus détaillée de la structure de la communauté de poissons et pourrait aider à déterminer les causes ou les effets de tout changement observé dans la composition de la communauté. Comme pour tous les paramètres, ceux dont il est question ici ne peuvent être utilisés pour établir des relations de cause à effet qu'une fois que la variabilité naturelle du paramètre est comprise.

6.6.1. Renseignements disponibles

Certaines données historiques de référence sur la composition de la communauté de poissons côtiers dans la baie Darnley sont disponibles à partir des données sur les prises accessoires du programme de surveillance de l'omble chevalier de la rivière Hornaday, qui a débuté en 1990 (*Section 6.8*), et de l'étude sur les captures des Inuvialuits. Les connaissances autochtones communiquées lors d'un atelier tenu en 2011 par les résidents de Paulatuk choisis par le CCT de Paulatuk ont décrit les principales zones où se trouvent les poissons côtiers d'importance locale (plie, hareng du Pacifique, sébaste aux yeux jaunes, poulamon et omble) ainsi que les principales zones de pêche (Kavik-AXYS Inc. 2012; Figure 14). Le plan de conservation de la collectivité de Paulatuk fournit une liste plus complète des espèces de poissons côtiers connues dans la baie Darnley (Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016).

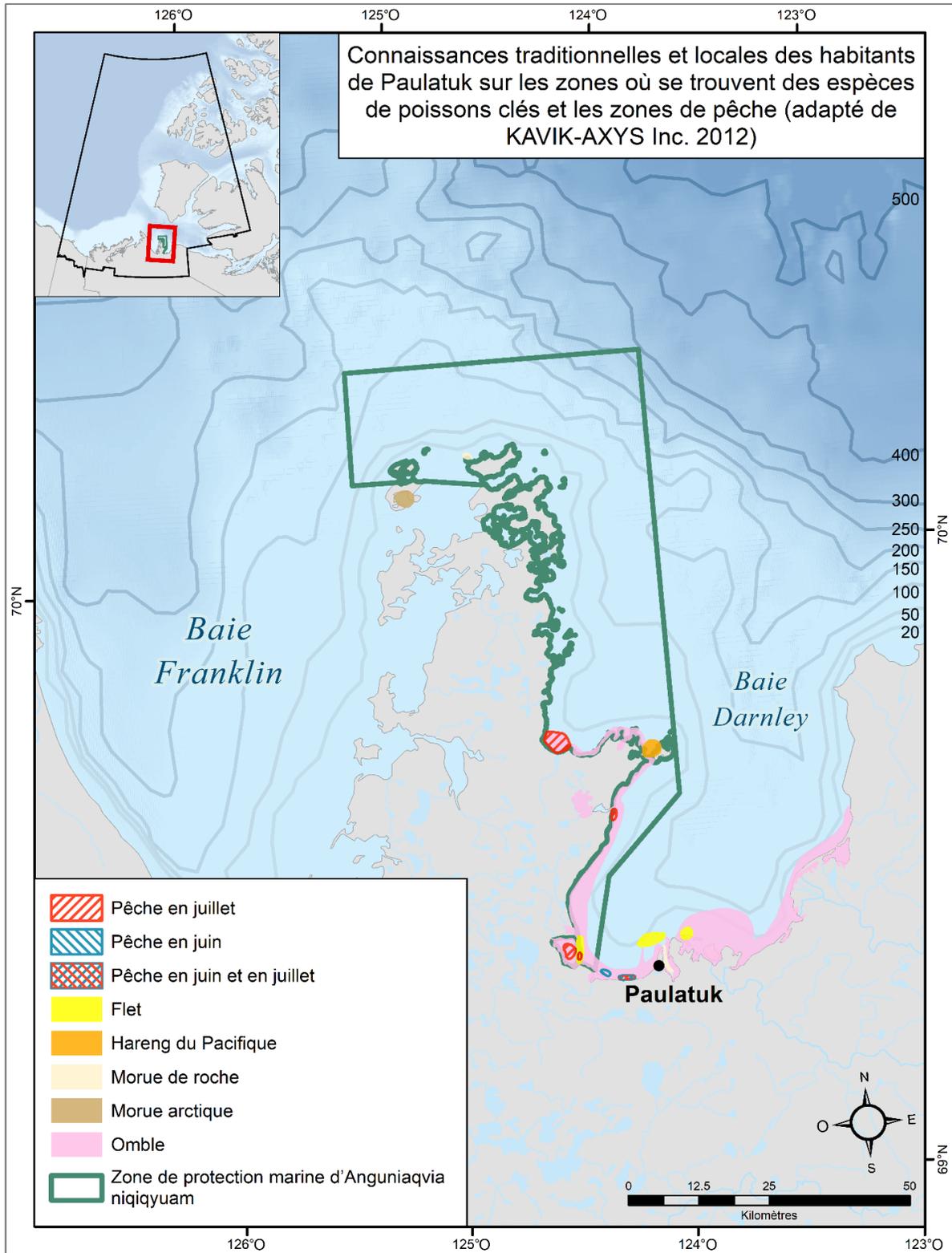


Figure 14. Emplacements des espèces de poissons clés et des zones de pêche de poissons à proximité de la ZPMAN selon les connaissances traditionnelles et locales recueillies lors d'un atelier tenu à Paulatuk en 2011. La carte a été adaptée de KAVIK-AXYS Inc. (2012) par J. Friesen et fournie par le groupe de travail sur la ZPMAN.

Des données substantielles sur la composition et la structure de la communauté de poissons côtiers ont été recueillies au cours des dernières années pour la ZPMAN et les eaux adjacentes, en partie en réponse aux lacunes décelées dans les données de la ZPMAN. Le programme communautaire de surveillance des poissons côtiers dans la baie Darnley (plus tard appelé programme Arctic Coast) a été entrepris pour recueillir des renseignements de base sur l'abondance, la composition en espèces, les interactions trophiques et les associations avec l'habitat des poissons côtiers pour appuyer la surveillance communautaire, la gestion de la ZPM et les liens avec les programmes d'échantillonnage marin au large des côtes (McNicholl *et al.* 2017a). L'échantillonnage a été effectué en juillet et en août à la pointe Bennett (2012, 2014, 2015, 2019), dans le havre Brown à l'extrémité nord du cap Parry (2014, 2015) et dans la baie Argo (2016 à 2019; Figure 15). Le programme Arctic Coast a été élargi pour inclure l'échantillonnage hivernal de poissons, de l'épaisseur de la glace, du franc-bord de la glace, de la profondeur de la neige, de la température et de la salinité dans la baie Argo à l'hiver 2019 (D. McNicholl, MPO, comm. pers.). Des données biologiques détaillées (taille, sexe, maturité) ont été mesurées à partir d'un sous-ensemble de poissons prélevés dans le cadre du programme, et on a sous-échantillonné des tissus pour déterminer l'âge, la génétique et l'alimentation des individus (contenu stomacal et analyses d'isotopes stables). Des sédiments, du zooplancton et des invertébrés benthiques ont été recueillis en même temps que des poissons de 2017 à 2019. La profondeur, la température et la salinité ont également été mesurées aux sites d'échantillonnage au filet afin de fournir des indications sur les associations avec l'habitat des poissons. À l'instar des relevés extracôtiers, l'abondance et la composition en espèces des poissons côtiers étaient variables dans le temps et l'espace. La richesse et la diversité des espèces étaient plus élevées dans la baie Argo qu'à la pointe Bennett et dans le havre Brown, en raison de la présence d'espèces anadromes et euryhalines (McNicholl *et al.* 2017 a, D. McNicholl, MPO, données inédites). Les poissons côtiers qui caractérisent l'habitat côtier, mais qui sont généralement absents des relevés extracôtiers (EEMCN, EERB-PPM et EEM-MBC) comprennent les poissons anadromes (l'omble chevalier, le corégone tschir [anaaktiq/*Coregonus nasus*] et le cisco arctique [*Coregonus autumnalis*]), la plie arctique (*Pleuronectes glacialis*), la stichée arctique (*Stichaeus punctatus*), le capelan en fraie, la morue du Groenland (*Gadus ogac*), l'épinoche à neuf épines (*Pungitius pungitius*; habituellement en eaux douces ou saumâtres seulement), le hareng du Pacifique (piqqaqtitaq/*Clupea pallasii*), l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*), le navaga jaune (*Eleginus gracilis*) et le flet étoilé (*Platichthys stellatus*). On pensait auparavant que les chabots étaient rares dans les eaux côtières de la baie Darnley (Chambers et MacDonell 2012, Paulic *et al.* 2012). La présence de cinq espèces de chabot a depuis été confirmée par des relevés estivaux des poissons côtiers effectués dans le cadre du programme Arctic Coast; le chaboisseau à épines courtes (*Myoxocephalus Scorpius*), le chaboisseau à quatre cornes (kanayuq/*Myoxocephalus quadricornis*) et le tricorne arctique (*Gymnocanthus tricuspis*) étaient fréquemment observés pendant les années d'échantillonnage, tandis que le faux-triangle bardé (*Triglops pingelii*) et l'icèle à deux cornes (*Icelus bicornis*) étaient présents, mais relativement rares. On a observé des signes d'activité de fraie chez le chaboisseau à épines courtes, le chaboisseau à quatre cornes et le tricorne arctique. Des larves de poissons ont été observées dans des habitats de lagunes au sud de la ZPMAN (McNicholl *et al.* 2017). Les premières observations du loup de Béring (*Anarhichas orientalis*), une espèce en péril dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort, et de la sigouine rubanée (*Pholis fasciata*) ont été signalées dans la région en juillet 2019. On ne sait pas trop si ces espèces rares étaient nouvelles dans la région ou si elles étaient habituellement présentes même si elles n'avaient pas été observées auparavant. Il est important de noter que le répertoire d'espèces de poissons compilé à ce jour n'est peut-être pas complet, car les espèces qui vivent dans des habitats spécialisés comme le varech n'ont pas été efficacement ciblées.

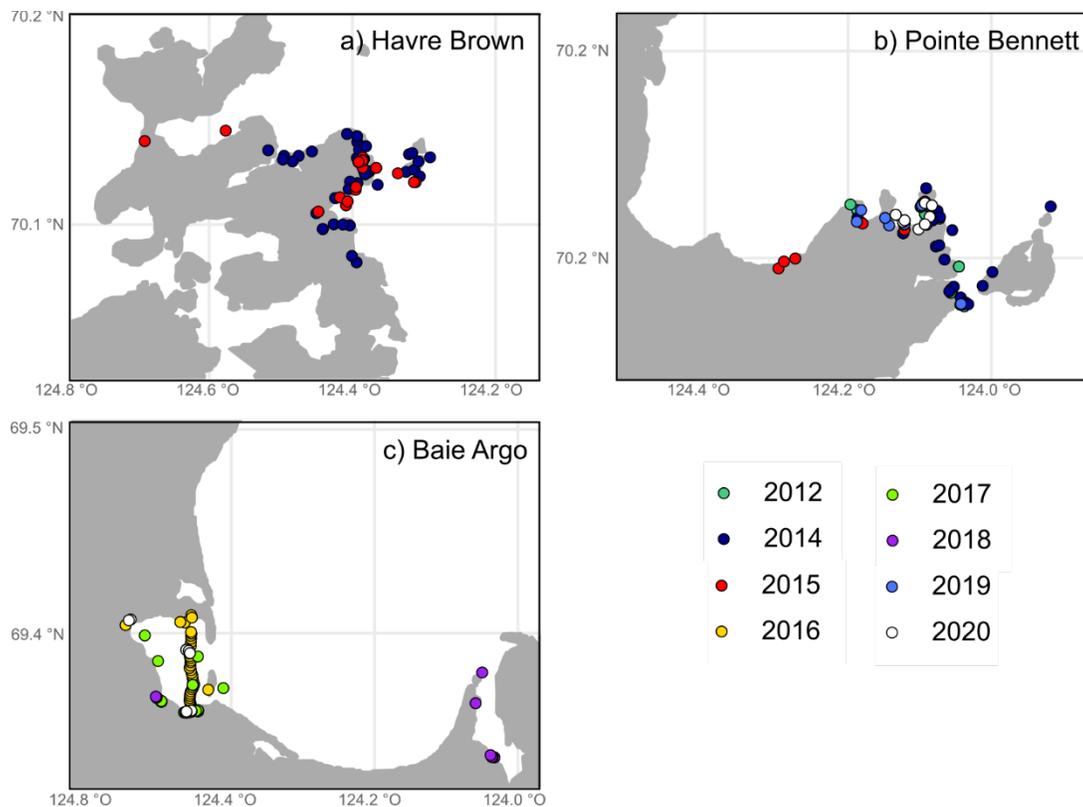


Figure 15. Stations que l'on a échantillonnées pour connaître la composition de la communauté de poissons à proximité de la ZPMAN lors des relevés estivaux des poissons du programme Arctic Coast de 2012 à 2020. Les engins utilisés pour l'échantillonnage étaient des filets-pièges, des filets maillants et des sennes.

Des données limitées sur l'abondance et la composition en espèces des poissons côtiers sont disponibles par l'entremise des relevés extracôtiers de l'EEMCN, de l'EERB-PPM, du PPMMB et de l'EEM-MBC (voir la *Section 6.5* sur les aperçus des études sur les poissons). Un chalutage a été effectué à des stations à 20 m de profondeur dans la baie Argo en 2008 et directement au large de la pointe Bennett en 2013 dans le cadre de l'EEMCN et de l'EERB-PPM, respectivement (Lowdon *et al.* 2011, Niemi *et al.* 2020). Des estimations de l'abondance sont également disponibles à partir des données de rétrodiffusion recueillies au moyen de relevés hydroacoustiques en continu à bord lorsque le navire de pêche *Frosti* a traversé le nord de la ZPMAN en 2013, 2014 et de 2017 à 2019 (Niemi *et al.* 2020).

À ce jour, 25 espèces marines et anadromes côtières et 12 espèces dulcicoles ont été recensées dans les eaux associées à la ZPMAN (Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016, McNicholl *et al.* 2020).

6.6.2. Stratégies et application

Une grande partie des connaissances acquises ces dernières années concerne le sud de la ZPMAN qui n'a pas été examiné lors des processus d'avis scientifique antérieurs. Les données recueillies dans le nord et le sud de la ZPMAN dans le cadre des activités de surveillance côtière du programme Arctic Coast pourraient servir de base de référence pour la surveillance à l'avenir.

Un nombre relativement faible de poissons qui sont généralement considérés comme des espèces hauturières a été capturé dans des sites côtiers au nord de la ZPMAN, où les températures et les salinités de l'environnement côtier sont plus semblables à celles des zones hauturières. Ces observations donnent à penser que la région autour du cap Parry pourrait représenter une zone de transition entre l'habitat côtier et l'habitat de plateau au large des côtes du golfe Amundsen (McNicholl *et al.* 2017a). Cependant, la contribution de l'énergie d'origine côtière aux réseaux trophiques extracôtiers, ou la contribution de l'énergie d'origine marine aux réseaux trophiques côtiers sont encore mal comprises. Certaines années, les relevés des poissons côtiers se sont déroulés en même temps que les relevés des poissons hauturiers effectués dans le cadre de l'EERB-PPM et de l'EEM-MBC (2014, 2017 à 2019). Il est possible d'établir des liens ou de comparer les données sur les poissons côtiers et hauturiers, mais aucune étude directe sur le sujet n'a été menée à ce jour. Des différences distinctes quant à l'échelle et aux méthodes de relevé peuvent rendre les données sur la capture par unité d'effort difficiles à comparer entre les études, mais des indices relatifs comme la richesse spécifique, l'abondance relative, la biodiversité (p. ex., l'indice de diversité de Shannon et l'indice de régularité de Pielou), et des répertoires d'espèces et de types fonctionnels pourraient fournir des comparaisons fructueuses entre les zones côtières et hauturières. Quoi qu'il en soit, chaque programme peut fournir de l'information sur les changements dans son domaine d'étude particulier. Il est important de noter que la diminution de l'abondance des espèces au sein des limites de la ZPMAN n'indique pas nécessairement une valeur sélective plus basse ou une survie plus faible. Les espèces peuvent se relocaliser si les conditions à l'intérieur de la ZPMAN ne conviennent plus à leurs tolérances à la température et à la salinité, à leurs préférences en matière de proies ou à leurs capacités concurrentielles particulières (p. ex., Dulvy *et al.* 2008, Milazzo *et al.* 2013, Frainer *et al.* 2017). Dans de tels cas, l'établissement de liens entre les données côtières et hauturières sera particulièrement utile pour distinguer les déclin de population causés par la relocalisation. Il est fortement recommandé d'établir des liens étroits entre les données des programmes côtiers et hauturiers. Par exemple, la surveillance détaillée de quelques espèces clés qui sont couramment capturées dans les deux programmes fournirait de l'information sur le changement à une échelle spatiale plus grande que ce que les programmes individuels peuvent fournir.

Comme il a été indiqué précédemment (MPO 2015), la surveillance de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté de poissons côtiers exige des relevés plurispécifiques soigneusement planifiés et largement répartis qui saisissent simultanément des données sur l'habitat environnemental. Les relevés estivaux des poissons du programme Arctic Coast ont jeté les bases méthodologiques de la surveillance de cet indicateur. Le programme Arctic Coast a démontré la réussite de la mise en œuvre d'un programme communautaire qui repose sur de petits navires côtiers et une série de protocoles normalisés pour la collecte de poissons, avec des données simultanées sur l'océanographie et d'autres composantes de l'écosystème (zooplancton, invertébrés benthiques et sédiments). L'utilisation de ces ensembles de données existants sera bénéfique pour la surveillance à long terme, jumelée à la sélection d'espèces cibles pour des efforts de surveillance ciblés des fonctions écosystémiques importantes (p. ex., principales espèces fourragères pour les mammifères marins et les oiseaux de mer, celles qui ont des contraintes physiologiques particulières, celles qui représentent un éventail de rôles trophiques/fonctionnels; voir la discussion sur la sélection des espèces cibles à la *Section 6.5*). La surveillance passive à l'aide de caméras ou de profileurs acoustiques amarrés pourrait allonger le registre saisonnier de l'utilisation de l'habitat par les poissons par rapport aux programmes de pêche au filet, mais fournir moins de détails que ce dernier (voir la discussion à la *Section 6.5*). Il faudrait enlever les appareils de technologie passive des zones de moins de 20 m de profondeur avant la formation de la glace de rive à l'automne. L'expansion des programmes de surveillance en hiver, si elle est souhaitée, pourrait donc nécessiter un

échantillonnage au filet à partir de la glace, qui fournirait de l'information qui fait actuellement défaut sur les changements saisonniers de la composition en espèces, de l'abondance et de l'utilisation de l'habitat, malgré une diminution de l'efficacité de la capture par rapport à l'échantillonnage en eau libre.

6.7. ABONDANCE ET BIOMASSE RELATIVES DES PRINCIPAUX POISSONS-PROIES

Hypothèses ou prédictions de changement

- Le succès du recrutement et de la survie des poissons-proies est étroitement lié aux conditions de la glace de mer et à la température de l'eau. En particulier, on prévoit que le recrutement de la morue arctique sera plus élevé pendant les années de débâcle hâtive, et plus faible pendant les années de débâcle tardive.
- Conséquemment à ce qui précède, les changements potentiels de l'abondance ou de la répartition des poissons-proies influenceront sur le comportement, les déplacements et l'état des prédateurs de niveau trophique supérieur qui s'en nourrissent.
- La présence d'oiseaux de mer et de baleines au large du cap Parry est liée à la biomasse des poissons-proies.
- Des changements importants de la composition ou de l'abondance de la communauté de zooplancton influenceront sur l'utilisation de l'habitat par les poissons-proies, leur état et leur abondance relative.

Les poissons-proies sont l'une des principales proies des prédateurs de niveau trophique supérieur qui sont présents dans la ZPMAN. La surveillance de l'abondance et de la biomasse relatives des poissons-proies fournira deux principaux éléments d'information pour les rapports sur les objectifs de conservation de la ZPMAN : 1) elle indiquera s'il y a suffisamment d'aliments de haute qualité disponibles pour les prédateurs de niveau trophique supérieur dans la ZPMAN et 2) les changements dans la disponibilité des proies peuvent expliquer les changements observés dans le comportement des prédateurs, leur état ou leur taux de mortalité. Des documents scientifiques antérieurs suggéraient que les observations locales du moment, de l'emplacement et de l'abondance semi-quantitative de la fraie du capelan sur les plages pourraient être un indicateur pratique pour la surveillance de la présence ou de l'absence du capelan dans la région de la ZPMAN (MPO 2015, Schimnowski *et al.* 2017). Ici, l'avis est mis à jour. Il est recommandé que la surveillance directe de l'abondance et de la biomasse relatives de trois principales espèces fourragères de la ZPMAN soit plus pertinente pour les objectifs de conservation : la morue arctique, le capelan et le lançon du Pacifique. Ces trois espèces sont considérées comme des proies importantes pour le béluga, le phoque annelé, l'omble chevalier, des oiseaux de mer et, dans une moindre mesure, le phoque barbu (voir les *Sections 6.1 et 6.10*).

La morue arctique est sans doute le poisson-proie le plus important de la ZPMAN, car elle représente une source de nourriture très dense et très riche en lipides (p. ex., Harter *et al.* 2013, Hop et Gjørseter 2013) et elle est de loin le poisson le plus abondant dans la région (Lowdon *et al.* 2011, Majewski *et al.* 2017, Niemi *et al.* 2020). Le capelan joue un rôle semblable à celui de la morue arctique dans le réseau trophique en tant que consommateur de niveau trophique intermédiaire et en tant qu'important canal d'énergie planctophage vers le biote de niveau trophique supérieur (McNicholl *et al.* 2016, 2018), mais il est surtout limité aux zones côtières et il est moins abondant que la morue (Lowdon *et al.* 2011, McNicholl *et al.* 2017a, Niemi *et al.* 2020). Le lançon est aussi un poisson pélagique grégaire, mais il passe beaucoup de temps enfoui dans de fins substrats de gravier ou de sable lorsqu'il n'est pas à la recherche de

nourriture, probablement pour éviter la prédation. Par conséquent, le lançon se trouve habituellement de la zone littorale jusqu'à la zone intertidale, inclusivement.

Le capelan, le lançon et d'autres poissons-proies pélagiques pourraient représenter d'importantes sources de proies de rechange pour certains prédateurs, comme le béluga, lorsque la biomasse de la morue arctique est faible (Choy *et al.* 2017, 2020, Loseto *et al.* 2018a). Cependant, aucun autre poisson-proie dans la région n'est actuellement présent en aussi grande abondance que la morue arctique (Majewski *et al.* 2017), et on ne sait toujours pas si d'autres espèces seront suffisantes pour répondre aux besoins énergétiques des espèces de niveau trophique supérieur si l'abondance de la morue arctique diminue. Par exemple, on a pensé que l'augmentation de la consommation de capelan par rapport à la morue arctique était en partie responsable de la baisse des taux de croissance de la nidification chez le guillemot de Brünnich de la baie d'Hudson parce que le capelan représente une masse plus faible par voyage d'alimentation (Gaston *et al.* 2005), malgré des densités énergétiques semblables à celles de la morue (Hop et Gjøsaeter 2013). Le coût énergétique de l'alimentation peut être beaucoup moins élevé pour les mammifères marins, qui n'ont pas besoin de transporter leurs proies jusqu'à un nid pour leurs petits, mais il n'y a pas de recherche sur le sujet pour les populations présentes dans la ZPMAN.

6.7.1. Renseignements disponibles

Les activités d'échantillonnage estival du programme Arctic Coast a permis de recueillir des renseignements sur l'abondance relative (capture par unité d'effort), la taille et l'âge du capelan dans la ZPMAN. L'abondance du capelan variait selon les lieux d'échantillonnage et les années. Le capelan était l'espèce la plus abondamment capturée à la pointe Bennett en 2012 et 2014, dans le havre Brown en 2014 et 2015, et dans la baie Argo en 2016, 2018 et 2019 (McNicholl *et al.* 2017 a, D. McNicholl, MPO, données inédites). Le capelan capturé en juillet 2012, 2014 et 2015 présentait les caractéristiques de la fraie, et des œufs ont été observés collés aux sédiments en 2014 (McNicholl *et al.* 2017a). Le capelan a aussi frayé sur les plages en 2019. Il est à noter que le capelan fraie chaque année, mais qu'il ne peut être observé sur les plages que lorsque les températures de l'air sont au-dessus de la normale, que le temps est calme ou que les plages sont libres de glace (McNicholl *et al.* 2017b). La morue arctique et le lançon n'ont pas été capturés dans le cadre du programme Arctic Coast.

Des données sur l'abondance relative, la biomasse relative et la taille sont disponibles pour la morue arctique, le capelan et le lançon capturés à proximité du nord de la ZPMAN, de la baie Franklin et du golfe Amundsen par les programmes menés au moyen du navire de pêche *Frosti* de 2013, 2014 et de 2017 à 2019 (A. Majewski, MPO, données inédites). La morue arctique était le poisson le plus abondamment capturé dans les stations et transects à proximité de la ZPMAN, sauf au nord du cap Parry en 2014, lorsque le poisson-alligator arctique était plutôt le plus abondant (A. Niemi *et al.* 2020). Le capelan était présent conjointement avec la morue arctique le long de tous les transects d'échantillonnage, sauf dans la baie Wise, mais son abondance relative était plus faible. Le capelan était le plus abondant au large de la pointe Bennett en 2013. L'étendue exacte de l'aire de répartition du capelan et du lançon dans la baie Darnley demeure incertaine (McNicholl *et al.* 2020).

Les observations hydroacoustiques recueillies pendant les expéditions d'hiver de CASE et de l'Étude sur le CSC ont révélé d'importantes concentrations de morue arctique adulte en hiver dans les eaux profondes de la baie Franklin, probablement comme stratégie pour échapper à la prédation par les phoques plongeurs (Benoit *et al.* 2008, 2010, Geoffroy *et al.* 2011). Ces observations donnent à penser que les échancrures côtières peuvent constituer un important habitat de survie hivernale et peut-être de fraie pour la morue arctique, servant à concentrer une source de nourriture à forte densité énergétique pour les mammifères marins prédateurs

pendant l'hiver. De même, des observations hydroacoustiques validées par des échantillons prélevés au filet le long de la trajectoire du navire de pêche *Frosti* pendant l'EERB-PPM (2013) et le PPMMB (2014) ont confirmé que de grands bancs de poissons pélagiques étaient communs à proximité de la ZPMAN pendant l'été, principalement constitués de morue arctique d'âge 0 (A. Niemi *et al.* 2020). Ces abondances estivales étaient les plus importantes dans le nord-ouest de la ZPMAN, près du cap Parry (A. Niemi *et al.* 2020).

Selon de récentes données probantes recueillies à partir de marqueurs alimentaires entre 2011 et 2014, le béluga de l'est de la mer de Beaufort a consommé la plus faible proportion de morue arctique et la plus forte proportion de capelan en 2014, lorsque la biomasse de morue arctique était faible dans la région (Choy *et al.* 2020). Dans certaines régions de l'est de l'Arctique canadien, la consommation de capelan par les prédateurs de niveau trophique supérieur a augmenté au cours des dernières décennies, en partie en raison de la disponibilité croissante de l'espèce attribuable à l'expansion de son aire de répartition ou à l'augmentation locale de son abondance et, en partie, en lien avec le déclin de l'étendue de la glace de mer et la disponibilité de la morue arctique (guillemots de Brünnich : Gaston *et al.* 2003, Provencher *et al.* 2012; béluga : Marcoux *et al.* 2012, Yurkowski *et al.* 2018; omble chevalier, phoque annelé et flétan du Groenland : Ulrich 2013, Yurkowski *et al.* 2018). Ces mêmes prédateurs habitent des zones au sein ou à proximité de la ZPMAN. Cependant, il est important de noter que, contrairement à ce que l'on voit dans l'est de l'Arctique, le capelan est observé dans la baie Darnley depuis au moins 60 ans (McNicholl *et al.* 2017b), les données génétiques et morphologiques suggèrent qu'il s'agit d'une population distincte de l'ouest de l'Arctique plutôt que d'une nouvelle arrivante, et dont on ne sait pas si elle est actuellement en train d'étendre son aire de répartition. Par conséquent, le capelan ne représente pas une nouvelle source de proie, bien qu'il soit incertain à l'heure actuelle si son abondance relative a changé récemment.

L'abondance et la biomasse relatives du lançon sont des lacunes dans les connaissances sur la ZPMAN. Le lançon n'a pas été capturé à proximité de la ZPMAN lors des récents relevés des poissons côtiers et hauturiers (EEMCN, Arctic Coast, EERB-PPM, PPMMB, EEM-MBC). Sa présence est probablement sous-déclarée parce que les méthodes d'échantillonnage normalisées ne sont pas efficaces pour capturer le lançon, qui vit dans les sédiments à l'âge adulte. Les signalements de lançons dans des estomacs de prédateurs abondent pour la ZPMAN, ce qui indique sa présence et son importance pour le réseau trophique. Des larves de lançon ont été observées dans des traits de filet pour le zooplancton pélagique dans la baie Franklin pendant l'EEM-MBC (A. Niemi et A. Majewski, MPO, données inédites).

Il existe peu de données sur l'abondance et la biomasse des stades larvaires de la morue arctique, du capelan et du lançon dans la ZPMAN.

6.7.2. Stratégies et application

Il est possible de surveiller les tendances temporelles de l'abondance ou de la biomasse relative des principaux poissons-proies en comparant les captures par unité d'effort au fil du temps si les relevés utilisent des méthodes normalisées entre les années et les sites.

Cependant, il est peu probable que la seule surveillance des principales espèces fournisse suffisamment de données pour prédire les *conséquences* des changements de leur abondance ou de leur biomasse (voir la discussion à la *Section 6.5*). Par exemple, l'incidence de l'effondrement du stock de capelan sur divers mammifères marins, oiseaux de mer et poissons prédateurs dans la mer de Barents où le capelan représente l'une des espèces fourragères les plus importantes dépendait de la disponibilité d'autres proies (Gjørseter *et al.* 2009). Si des programmes de relevés des poissons sont en place pour surveiller les principales espèces fourragères, la consignation de l'abondance relative des autres poissons capturés dans le cadre des relevés sera bénéfique pour l'ensemble du programme de surveillance. Par conséquent, il

est fortement recommandé que l'abondance et la biomasse des poissons-proies soient surveillées parallèlement aux communautés de poissons côtiers et hauturiers, au moyen des programmes de relevés déjà décrits aux *Sections 6.5* et *6.6*. Les instruments hydroacoustiques amarrés peuvent être particulièrement utiles pour la surveillance des poissons-proies pélagiques (et du zooplancton) tout au long de l'année dans le nord de la ZPMAN, où la présence de mammifères marins et d'oiseaux de mer est censée être liée à la biomasse des poissons-proies (voir la *Section 6.5*).

Les relevés de l'abondance relative du lançon peuvent nécessiter une technique particulière, puisqu'il est évasif aux procédures normalisées d'échantillonnage au filet utilisées pour d'autres poissons. Les sennes de plage et la récolte dans la zone intertidale qui se fait par creusage dans des sédiments mous et caillouteux seront plus efficaces que les filets maillants (p. ex., Robards *et al.* 1999).

Les données des indicateurs des paramètres océanographiques fondamentaux, de la glace de mer et de la neige seront particulièrement pertinentes pour expliquer les tendances de l'abondance et de la biomasse relatives des poissons-proies, et le recrutement est lié aux conditions environnementales pour les trois espèces fourragères. L'étendue et le moment de l'englacement sont des contrôles présumés du recrutement de la morue arctique (*Boreogadus Saida*; Bouchard *et al.* 2017, LeBlanc *et al.* 2020). Le moment et l'emplacement (plage ou fond marin) de la fraie du capelan sont dictés par la température de l'eau (p. ex., Nakashima et Wheeler 2002, Davoren 2013). Dans la baie Darnley, le capelan a tendance à frayer en eau plus profonde lorsque la température de l'air est relativement chaude, ou sur les plages lorsque la température est relativement plus froide, selon les résidents de Paulatuk interrogés dans une étude récente sur les connaissances écologiques traditionnelles (McNicholl *et al.* 2017b). Les observations communautaires de la fraie du capelan sur les plages, qui avaient été précédemment conseillées, peuvent donc être surveillées pour établir un lien entre les stratégies de recrutement et les températures dominantes au cours d'une année donnée. La fraie du lançon se produit habituellement dans la zone intertidale et est influencée par la température de l'eau (Robards *et al.* 1999), mais on sait peu de choses sur les déclencheurs environnementaux pour le lançon du Pacifique dans l'Arctique.

Comprendre si un poisson-proie particulier devient une composante plus importante du régime alimentaire des prédateurs de niveau trophique supérieur est peut-être, à ce stade, une question de recherche plutôt qu'un objectif de surveillance. Cependant, la surveillance des régimes alimentaires des prédateurs en même temps que celle de l'abondance et de la biomasse relatives des poissons-proies, ainsi que la mesure des biotraceurs trophiques chez les prédateurs et les proies (*Section 6.1*), fourniraient les renseignements nécessaires pour répondre à cette question à long terme. Il n'est pas recommandé de surveiller la présence et l'abondance relative des poissons-proies dans les estomacs de mammifères marins ou la nourriture d'oiseaux sans surveiller l'abondance relative des populations côtières et hauturières et des poissons qui sont eux-mêmes des proies. Les mammifères marins peuvent être des prédateurs très sélectifs et efficaces, de sorte que le contenu stomacal peut être stable même si l'abondance des proies diminue, du moins jusqu'à ce qu'il y ait un problème. Le contenu stomacal ne servira pas d'indicateur d'alerte précoce. De plus, sans données sur les communautés de poissons, il sera impossible de déterminer si les changements de l'alimentation des mammifères marins sont attribuables à la préférence des prédateurs ou à la disponibilité des proies.

6.8. ABONDANCE RELATIVE, UTILISATION DE L'HABITAT ET STRUCTURE DES POPULATIONS DE POISSONS ANADROMES

Hypothèses ou prédictions de changement

-
- La variabilité et le changement du moment de la débâcle et de l'englacement et la perturbation de l'habitat côtier auront une incidence sur l'utilisation de l'habitat dans la ZPMAN par les poissons anadromes.
 - L'utilisation de l'habitat dans la ZPMAN par les poissons anadromes sera affectée par la disponibilité des proies qui est liée aux concentrations de nutriments, aux apports d'eau douce et à la disponibilité d'un habitat côtier baigné d'eau saumâtre, ainsi que par l'emplacement et la fréquence des remontées et plongées d'eau.

L'omble chevalier et le corégone tschir — des poissons anadromes — ont une grande valeur sur les plans de la culture et de la subsistance pour les résidents de Paulatuk. Les eaux marines littorales de la baie Darnley, qui comprennent certaines parties méridionales de la ZPMAN, fournissent un habitat d'alimentation d'été pour l'omble chevalier et le corégone tschir (p. ex., Kavik-AXYS Inc. 2012, Harwood et Babaluk 2014). Les documents scientifiques antérieurs sur les indicateurs de surveillance pour la ZIAN n'ont pas examiné ceux qui se rapportaient spécifiquement aux poissons anadromes (MPO 2015) parce qu'ils ne sont habituellement pas pêchés au large du cap Parry et parce que l'objectif de conservation proposé pour la ZIAN à l'époque n'accordait aucune importance à ces espèces. Depuis, l'omble chevalier a été défini comme une espèce clé qui présente un intérêt pour les objectifs de conservation associés à la ZPMAN. L'omble chevalier et le corégone tschir ont été inscrits sur la liste des priorités communautaires ciblées par le groupe de travail sur la ZPMAN (Annexe A).

La surveillance de l'abondance relative, de l'utilisation de l'habitat et de la structure de la population de poissons anadromes est pertinente pour la ZPMAN parce que certains des principaux sites d'alimentation et de pêche de subsistance en été sont situés dans les limites de la ZPMAN, y compris la baie Argo et Tippituyak. Toutefois, la ZPMAN représente une faible proportion de l'habitat marin estival et des zones de pêche de l'omble chevalier (Figure 14; Kavik-AXYS Inc. 2012, Harwood et Babaluk 2014, Gallagher *et al.* 2017, E. Lea, MPO, comm. pers.). L'omble chevalier qui utilise un habitat d'alimentation estival dans les limites de la ZPMAN fait probablement partie de stocks plus importants qui proviennent des rivières Hornaday et Brock (Roux *et al.* 2011, Boguski *et al.* 2016, Harris *et al.* 2016) et dépend, en tant que population, des aires d'alimentation estivales dans les régions littorales de la baie Darnley. Le principal corridor marin pour l'omble chevalier local se trouve le long de la rive est de la baie Darnley, vers le nord jusqu'à la pointe Pearce, où des remontées d'eau fréquentes entraînent une augmentation de la productivité marine qui crée une aire d'alimentation particulièrement importante (Harwood et Babaluk 2014). La majorité de la pêche de subsistance de l'omble chevalier se fait actuellement le long de la côte est de la baie Darnley en été, à l'embouchure de la rivière Hornaday pendant la montaison à la fin de l'été, et dans les habitats d'eau douce pendant l'hiver (Kavik-AXYS Inc. 2012, Gallagher *et al.* 2017). L'évaluation de la durabilité de la pêche des populations de poissons anadromes exige des renseignements détaillés sur les espèces (p. ex., données sur les prises, capture par unité d'effort, âge, taille, croissance, état), qui sont déjà recueillis pour l'omble chevalier dans le cadre d'un programme d'évaluation des stocks et d'un plan de gestion s'y rapportant. Ces programmes peuvent fournir des renseignements sur l'utilisation de l'habitat, les pressions exercées par la pêche et le cycle vital, qui sont importants pour évaluer si les activités ou les perturbations dans la ZPMAN ont une incidence sur l'ensemble des populations d'omble chevalier, et peut-être fournir des renseignements sur le corégone tschir par capture accessoire. Toutefois, le seul fait de se fier aux données sur les prises et l'évaluation des populations ne permettrait pas de comprendre comment les poissons anadromes utilisent la ZPMAN et ne fournirait pas de renseignements détaillés sur les espèces autres que l'omble chevalier. Pour cette raison, on recommande une surveillance supplémentaire de l'abondance relative des poissons anadromes et de leur utilisation de l'habitat dans la ZPMAN en plus des données recueillies en lien avec la pêche, et

que les renseignements sur la structure de la population acquis dans le cadre du programme d'évaluation des stocks existant soient utilisés pour informer les tendances observées dans la ZPMAN.

6.8.1. Renseignements disponibles

Les stocks d'omble chevalier des rivières Hornaday et Brock sont cogérés par le CCT de Paulatuk, le CMGP, le MPO et Parcs Canada par l'entremise du groupe de travail sur l'omble chevalier de Paulatuk. Les données pertinentes pour l'évaluation de l'omble chevalier dans la baie Darnley sont actuellement recueillies chaque année dans le cadre de deux programmes communautaires : 1) un programme de surveillance normalisé qui est en place depuis 1990, dirigé par le CMGP et le MPO et administré par des surveillants recrutés sur place qui travaillent dans un délai défini et avec une cible de taille d'échantillon; 2) une étude sur la pêche de subsistance administrée par le CCT de Paulatuk depuis 1998. Les données sur l'omble chevalier recueillies dans le cadre des programmes sont compilées et résumées chaque année par le MPO, puis communiquées au CCT de Paulatuk et au groupe de travail sur l'omble chevalier de Paulatuk pour appuyer le plan de gestion de l'omble chevalier de Paulatuk (E. Lea, MPO, comm. pers.), qui a été mis en œuvre en 1998 (Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016). L'étude sur la pêche administrée par le CCT de Paulatuk est liée au programme de surveillance de l'omble chevalier, mais les deux sont indépendants de l'étude sur les captures des Inuvialuits, qui a recueilli des renseignements sur les captures de subsistance tout au long de l'année dans l'ensemble de la RDI (voir l'Annexe D). Des données sur la présence/l'absence, l'abondance et la biologie sont également disponibles pour plusieurs poissons anadromes (omble chevalier, corégone tschir et cisco arctique) par l'entremise des relevés estivaux des poissons du programme Arctic Coast qui étaient axés sur un échantillonnage au filet normalisé à la pointe Bennet, dans le havre Brown et dans la baie Argo en 2012 et de 2014 à 2019 (voir la *Section 6.6*; McNicholl *et al.* 2017a). Les données sur le contenu stomacal provenant du programme Arctic Coast indiquent que le corégone tschir a tendance à dépendre davantage des sources d'alimentation côtières et à consommer plus d'invertébrés terrestres que l'omble chevalier et le cisco arctique. Certaines données de surveillance propres au corégone tschir sont disponibles auprès de programmes normalisés d'échantillonnage au filet qui ont eu lieu de 2016 à 2018 dans le cadre d'une collaboration entre le CCT de Paulatuk et la Fédération mondiale de la faune. Les données de surveillance du corégone tschir n'ont pas été synthétisées à ce jour, mais le plan de conservation de la collectivité de Paulatuk le considère comme étant abondant à l'échelle locale (Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016).

Les données historiques pertinentes à l'évaluation des stocks d'omble chevalier sont disponibles auprès d'une pêcherie commerciale d'omble chevalier qui a été exploitée à Paulatuk de 1968 à 1986. La pêche a été fermée en 1987 en raison de préoccupations au sujet de la diminution des prises de subsistance, des prises commerciales et de la taille des poissons. En réponse, des pêches d'essai au moyen de filets multimaillles ont été menées sur la rivière Brock (1987), sur la rivière Horton (1988), dans la baie Balaena (1989) et dans la baie Tom Cod (1989) pour trouver d'autres sources d'omble pour les résidents (examiné dans Gallagher *et al.* 2017). Le programme de surveillance de l'omble chevalier de la rivière Hornaday a ensuite été établi en 1990 et a continué de recueillir des données biologiques, sur les prises de subsistance et sur la capture par unité d'effort (à partir de 1997) à l'embouchure de la rivière Hornaday pendant la montaison à la fin de l'été (Gallagher *et al.* 2017). En 2011, la surveillance a été élargie pour inclure les prises sur le ruisseau Lasard près de l'embouchure de la rivière Brock en raison de l'augmentation des efforts de pêche des résidents de Paulatuk dans cette région. Les données d'une étude par marquage ont également laissé entendre que les déplacements de l'omble et le mélange des stocks entre les rivières Hornaday et Brock

étaient plus importants que ce que l'on soupçonnait auparavant (Roux *et al.* 2011 Harwood et Babaluk 2014), ce qui a été confirmé depuis (Boguski *et al.* 2016, Harris *et al.* 2016). La surveillance des prises à Tippitiuyak a été ajoutée au programme en 2012. Les programmes normalisés de surveillance de l'omble chevalier ont donc permis de recueillir des données sur les prises de subsistance à l'embouchure de la rivière Hornaday (1990 à 2019), au ruisseau Lasard (2011 à 2019) et à Tippitiuyak (2012 à 2019), y compris le nombre de prises, la capture par unité d'effort, les données biologiques, les observations d'« omble bleu » (un morphotype apparemment différent de ceux qui sont associés à la rivière Hornaday et d'origine inconnue) et des échantillons de tissus (à noter que tous les types de données n'ont pas été recueillis à tous les endroits ni à toutes les années). Les données disponibles provenant de sources historiques combinées et de programmes de surveillance de l'omble chevalier sont résumées dans Gallagher *et al.* (2017). Les évaluations de population dérivées des données sur l'âge, la taille et la capture par unité d'effort disponibles à partir de sources combinées, jusqu'en 2013, n'ont pas indiqué de signes de surpêche au cours des dernières années (Gallagher *et al.* 2017, Zhu *et al.* 2017). Une évaluation plus poussée des données recueillies dans le cadre du programme de surveillance à Tippitiuyak au sein de la ZPMAN de 2012 à 2019 a révélé que les indicateurs biologiques et les captures par unité d'effort sont demeurés relativement stables (C. Gallagher, MPO, comm. pers.).

En plus du programme normalisé de surveillance de l'omble chevalier, les études communautaires administrées par le CCT de Paulatuk permettent de recueillir des renseignements sur les prises de poissons anadromes déclarées par les pêcheurs de subsistance actifs, habituellement chaque mois, d'avril à décembre. Les études documentent l'espèce, le nombre d'individus pêchés, le lieu de la prise, la date de la prise et d'autres observations jugées pertinentes par le pêcheur. Lea et ses collaborateurs (2020) présentent le plus récent résumé de l'information sur les prises d'omble chevalier provenant des études communautaires, de 2003 à 2013. Les données des études sur les prises estivales d'omble chevalier sont évaluées par région, notamment pour la rivière Hornaday, l'ouest de la baie Darnley et l'est de la baie Darnley. La partie ouest de la baie Darnley comprend des lieux de pêche qui se trouvent à l'intérieur des limites de la ZPMAN.

Les données sur la capture par unité d'effort et la taille de l'omble chevalier et du cisco arctique pêchés dans la ZPMAN sont disponibles auprès du programme Arctic Coast qui a effectué des activités d'échantillonnage estival de 2014 à 2019.

6.8.2. Stratégies et application

Les relations de cause à effet entre les activités ou les perturbations au sein de la ZPMAN et les populations de poissons anadromes ne peuvent être établies sans un examen des populations et de leur habitat dans leur ensemble. L'omble chevalier dans la baie Darnley bénéficie actuellement de la protection offerte par le plan de gestion de l'omble chevalier de Paulatuk, des programmes de surveillance connexes et de l'évaluation périodique des stocks. De même, le corégone tschir et d'autres poissons anadromes présents dans la ZPMAN sont actuellement surveillés par le programme Arctic Coast (voir la *Section 6.6*). La surveillance réussie de l'abondance relative, de l'utilisation de l'habitat et de la structure de la population de poissons anadromes sera mieux appuyée par une collaboration étroite avec les programmes communautaires de surveillance et de recherche qui recueillent des renseignements dans toute la baie Darnley. La poursuite des programmes de surveillance existants, ou l'apport de données semblables aux séries de données existantes, jumelées aux observations communautaires, est probablement la meilleure stratégie pour surveiller la structure des populations des principales espèces de poissons anadromes dans la ZPMAN.

Il existe deux principales lacunes dans les connaissances sur les poissons anadromes présents dans la ZPMAN, qui pourraient être comblées par des efforts de surveillance supplémentaires dans la ZPMAN, soit les régimes alimentaires et l'utilisation de l'habitat. Les deux sont susceptibles d'être influencés par les conditions environnementales, en particulier les événements de remontée d'eau qui ont une incidence sur la répartition des proies et le moment de la débâcle et de l'englacement qui influence le moment de la migration. Les données sur l'utilisation de l'habitat pourraient être dérivées du programme sur le terrain conçu pour la surveillance de la communauté de poissons côtiers (*Section 6.6*), si les spécifications et l'emplacement des engins sont conçus pour être efficaces pour les espèces anadromes. Une liste élargie de paramètres biologiques pourrait être recueillie pour les poissons anadromes capturés dans le cadre de programmes de terrain propres à la ZPMAN afin de contribuer aux analyses potentielles de la structure des populations, au besoin, y compris la capture par unité d'effort, l'âge (otolithes), la taille selon l'âge et l'état. Du contenu stomacal et des tissus pour les biotraceurs trophiques devraient être recueillis pendant ces programmes afin de délimiter les liens trophiques entre l'omble chevalier et ses proies (*Section 6.1*). Les observations communautaires sur le moment de la montaison et de la dévalaison pourraient également servir à mesurer les influences environnementales sur l'utilisation de l'habitat marin et le cycle vital. L'utilisation de l'habitat par les poissons anadromes sera étroitement associée aux indicateurs liés au contexte environnemental, en particulier les paramètres océanographiques fondamentaux et les concentrations de nutriments (*Section 5.1*) et le moment de la débâcle et de l'englacement (*Section 5.2*). Cet indicateur a un historique relativement long et des renseignements de base détaillés comparativement à d'autres indicateurs biologiques abordés dans le présent document, et tout nouveau programme d'échantillonnage conçu pour appuyer la surveillance des poissons anadromes devrait être étroitement coordonné avec les programmes existants.

6.9. PRÉSENCE ET MOMENT DE L'ARRIVÉE D'ESPÈCES POTENTIELLEMENT COLONISATRICES

Hypothèses ou prédictions de changement

- L'arrivée de nouvelles espèces de poissons et d'invertébrés dans la baie Darnley à la suite de l'expansion naturelle de leur aire de répartition sera associée au changement et à la variabilité des conditions océanographiques (température, salinité, circulation) et de la couverture de glace de mer et aux conséquences connexes sur la répartition de la production primaire et des espèces fourragères.
- L'augmentation du transport maritime entraînera un risque accru d'introduction d'espèces d'invertébrés envahissantes dans la ZPMAN.
- L'établissement d'une nouvelle espèce colonisatrice peut avoir des répercussions sur les prédateurs de niveau trophique supérieur par la compétition directe ou indirecte pour les proies ou l'habitat (si le nouveau colonisateur fait partie du niveau trophique supérieur), en redirigeant les voies de transfert d'énergie ou en modifiant la disponibilité relative des proies (si le colonisateur fait partie du niveau trophique inférieur), ou par une augmentation de l'habitat.

L'occurrence croissante d'une nouvelle espèce dans une zone géographique hors de son aire de répartition actuelle, appelée expansion naturelle de l'aire de répartition, sert d'indicateur utile pour le changement écologique. L'évolution des conditions environnementales peut influencer l'expansion de l'aire de répartition d'une espèce dans une nouvelle région géographique (p. ex., les saumons du Pacifique) et le moment des événements du cycle vital, qui peuvent tous deux entraîner des interactions entre les espèces qui ne se sont peut-être pas produites auparavant.

Ces changements reflètent donc les effets plus vastes des changements écologiques en réponse à des facteurs environnementaux. Par exemple, la modélisation a laissé voir que les espèces de zooplancton du genre *Calanus* qui sont habituellement boréales (*C. finmarchicus* et *C. marshallae*) ne peuvent actuellement pas compléter leur cycle vital dans les eaux arctiques. Les régimes thermiques modifiés projetés pour l'avenir pourraient toutefois fournir des conditions de croissance suffisantes pour la colonisation future (Ji *et al.* 2012). L'expansion naturelle de l'aire de répartition est le résultat de la réponse d'une espèce pour respecter ses besoins particuliers en matière d'habitat (p. ex., température de l'eau) ou de proies, ou les deux. L'expansion naturelle de l'aire de répartition est différente de l'expansion artificielle ou envahissante, parce qu'elle est entraînée par les besoins de l'espèce en matière d'habitat plutôt que par l'intervention humaine.

Une expansion envahissante implique habituellement une espèce non indigène qui est arrivée par l'entremise d'une intervention humaine. L'introduction d'espèces envahissantes est une préoccupation croissante dans les eaux arctiques, où l'augmentation de la température de l'eau et de l'activité de navigation, ainsi que la diminution de la couverture de glace, peuvent favoriser l'établissement d'espèces non indigènes transportées dans les eaux de ballast des navires ou par des organismes attachés aux coques de navires (Goldsmit *et al.* 2014, Chan *et al.* 2015).

Aux fins du présent document, les espèces envahissantes et celles dont l'aire de répartition prend de l'expansion sont considérées comme des espèces potentiellement colonisatrices pour deux raisons : 1) les efforts de surveillance requis pour les détecter et leurs effets sont semblables; 2) les préoccupations relatives aux conséquences écologiques de l'arrivée et de l'établissement d'une nouvelle espèce sont semblables, qu'il s'agisse de colonisateurs envahissants ou naturels. Le groupe de travail sur la ZPMAN (Annexe A) a déterminé que la compréhension de la présence et de l'importance d'espèces envahissantes et de la colonisation possible de saumons dans la ZPMAN constituait une priorité de surveillance (Annexe A). Cette priorité est pertinente pour les objectifs de conservation associés à la ZPMAN, particulièrement en ce qui a trait à la façon dont les espèces potentiellement colonisatrices peuvent interagir avec les espèces résidentes, et si ces interactions seront préjudiciables aux espèces résidentes, à l'intégrité de l'écosystème de la ZPMAN ou à l'alimentation des principaux prédateurs de niveau trophique supérieur.

6.9.1. Renseignements disponibles

Ces dernières années, des saumons du Pacifique ont été plus abondants dans la baie Darnley et dans l'ouest de l'Arctique canadien en général (Dunmall *et al.* 2018). Bien que la cause directe de leur présence ne soit pas claire, l'expansion de leur aire de répartition vers l'est dans l'Arctique canadien est probablement liée à une combinaison de la recherche d'un habitat et de proies de prédilection. Quatre des cinq espèces de saumon du Pacifique ont été recensées dans la baie Darnley (saumon kéta [*Oncorhynchus keta*], saumon rouge [*Oncorhynchus nerka*], saumon rose [*Oncorhynchus gorbuscha*] et saumon chinook [*Oncorhynchus tshawytscha*]), le saumon kéta étant le plus commun (McNicholl *et al.* 2020). Les saumons du Pacifique grandissent dans des habitats d'eau douce et migrent vers le milieu marin où ils passent la majeure partie de leur vie (cinq à sept ans) jusqu'à ce qu'ils atteignent la maturité sexuelle. Lorsqu'ils sont prêts à frayer, ils remontent une rivière à la fin de l'été et à l'automne, et meurent après leur reproduction.

Selon les observations locales, le premier saumon du Pacifique dans la baie Darnley a été pêché dans la rivière Hornaday en 2008 (L. Ruben, Paulatuk, obs. pers.), et pendant les 10 années suivantes, des saumons ont été pêchés à l'occasion dans le cadre de pêches de subsistance ciblant d'autres espèces à la fin de l'été et à l'automne. En 2019, de nombreux saumons ont été pêchés dans la région de la baie Darnley, suivant une tendance similaire de

prises exceptionnellement élevées dans les Territoires du Nord-Ouest cette année-là, et les premiers saumons ont été déclarés dans les eaux de la ZPMAN (K. Dunmall et D. McNicholl, MPO, données inédites). Il existe de nombreuses lacunes dans les connaissances concernant l'utilisation de l'habitat et le succès de la fraie, ainsi que la possibilité d'interactions avec d'autres poissons dans la baie Darnley. Les pêcheurs de Paulatuk ne ciblent généralement pas les saumons à des fins de subsistance, contrairement à l'omble chevalier et au corégone tschir.

L'expansion possible de l'aire de répartition d'autres espèces de poissons et d'invertébrés dans la ZPMAN n'a pas encore été étudiée. Étant donné que l'on a que récemment commencé à compiler un répertoire complet des espèces de poissons et d'invertébrés non récoltés présentes dans la baie Darnley, il peut être difficile de déterminer si une espèce de niveau trophique inférieur nouvellement observée représente une espèce potentiellement colonisatrice, ou simplement la première détection d'une espèce qui occupait la ZPMAN depuis un certain temps. Par exemple, les premiers signalements de la sigouine rubanée et du loup de Béring dans la baie Darnley ont eu lieu en juillet 2019, mais on soupçonne qu'il s'agit de premières observations plutôt que de preuves d'une espèce potentiellement colonisatrice (McNicholl *et al.* 2020). La modélisation du caractère convenable de l'habitat pour l'ensemble de l'Arctique canadien laisse entendre que les habitats côtiers dans le sud du golfe Amundsen pourraient convenir à l'établissement de certains invertébrés envahissants qui sont considérés comme présentant un risque élevé d'introduction par le transport maritime (Goldsmid *et al.* 2018). Toutefois, aucune modélisation propre à la baie Darnley n'a été effectuée, et aucune espèce d'invertébrés envahissante connue n'a encore été observée dans la ZPMAN.

6.9.2. Stratégies et application

Il est possible de surveiller la présence et le moment de l'arrivée d'espèces potentiellement colonisatrices en évaluant les listes d'espèces recensées au moyen de relevés annuels conçus pour surveiller la composition et la structure des communautés de poissons hauturiers, d'invertébrés benthiques et de poissons côtiers (*Sections 6.3 à 6.5*), si des données taxonomiques détaillées sont recueillies lors de chaque relevé. Des données taxonomiques détaillées permettraient d'établir la présence/l'absence ainsi que des estimations de l'abondance relative pour toute espèce potentiellement colonisatrice détectée. Dans ce cas, la surveillance des espèces potentiellement colonisatrices représenterait un indicateur à valeur ajoutée, car il suffirait de réutiliser les données déjà recueillies pour d'autres indicateurs. Les données sur l'abondance relative, recueillies de façon qualitative ou quantitative, pourraient être utilisées pour suivre les tendances de l'abondance et déterminer si une espèce potentiellement colonisatrice est de plus en plus répandue. L'abondance relative peut être importante pour prédire si l'espèce est susceptible d'avoir une incidence importante sur l'écosystème de la ZPMAN. Un protocole devrait être élaboré pour la déclaration et la conservation des spécimens qui semblent inhabituels par les techniciens expérimentés pendant les prélèvements sur le terrain (p. ex., photos de référence, préservation dans le formol) afin que les espèces potentiellement colonisatrices puissent être vérifiées par des experts, même si aucune analyse taxonomique détaillée n'est prévue. Les observations anecdotiques d'espèces potentiellement colonisatrices devraient être consignées pour une étude future éventuelle. Dans la mesure du possible, l'habitat dans lequel l'espèce potentiellement colonisatrice a été observée devrait être consigné, afin de permettre des inférences quant à l'espèce indigène avec laquelle elle peut interagir et, éventuellement, d'élaborer des mesures d'intervention si cela devient nécessaire.

En dehors des relevés taxonomiques détaillés, l'ADN environnemental (ADNe) peut être utilisé pour détecter la présence d'espèces potentiellement colonisatrices et peut être intégré dans un programme de surveillance communautaire (Larson *et al.* 2020). L'utilisation de l'ADNe pour l'estimation de la biodiversité et la détection d'espèces envahissantes a déjà été mise à l'essai

dans les eaux arctiques et pourrait améliorer l'efficacité de la biosurveillance dans l'Arctique, bien qu'elle doive encore être normalisée (Lacoursière-Roussel *et al.* 2018) et nécessitera une vérification subséquente sur le terrain.

Le groupe de travail sur la ZPMAN a déterminé que la surveillance de la colonisation potentielle de la ZPMAN et des rivières avoisinantes par des saumons du Pacifique constitue une priorité. Il est recommandé de poursuivre une étroite collaboration avec les programmes existants qui documentent le nombre annuel de saumons du Pacifique observés et leur emplacement. La compréhension de l'utilisation de l'habitat par les saumons du Pacifique et de leurs interactions avec l'omble chevalier est un sujet de recherche ciblée plutôt que de surveillance, mais les données de surveillance seront utiles à cet égard. Dans le cas des espèces potentiellement colonisatrices qui utilisent la ZPMAN pendant une partie de l'année seulement, comme les saumons, la documentation du moment de l'arrivée ou du départ tel qu'observé par les résidents ou les programmes de surveillance pourrait fournir des indices sur les causes de leur migration dans la région.

La modélisation du caractère convenable de l'habitat et l'évaluation des risques peut aider à déterminer la probabilité qu'une espèce potentiellement colonisatrice puisse s'établir et prospérer dans la ZPMAN (p. ex., Goldsmit *et al.* 2018, 2019). Comme il a été mentionné à la *Section 5.3*, des renseignements de grande qualité sur les conditions de l'habitat local sont un préalable à la modélisation du caractère convenable de l'habitat, ce qui en fait un outil potentiel pour l'avenir une fois que la surveillance aura établi les conditions de référence de l'habitat.

Il est impossible de déterminer les effets d'une nouvelle espèce colonisatrice sans documenter les tendances chez les espèces avec lesquelles elle peut interagir (p. ex., changement de la composition du régime alimentaire de prédateurs, changements de l'abondance d'espèces indigènes potentiellement concurrentes). Cet indicateur sera donc étroitement associé à d'autres indicateurs liés à l'intégrité biologique et du réseau trophique, mais les indicateurs exacts dépendront de l'espèce potentiellement colonisatrice détectée.

6.10. PRÉSENCE ET ABSENCE D'OISEAUX DE MER ET DE LEURS PROIES

Le refuge d'oiseaux migrateurs du cap Parry abrite des colonies de nidification de guillemots de Brünnich et, dans une moindre mesure, de guillemots à miroir, qui sont uniques dans le sud de la mer de Beaufort (Johnson et Ward 1985). La zone au large du cap Parry est considérée comme un important habitat d'alimentation marin qui soutient des colonies de nidification pendant l'été, ainsi que plusieurs espèces de sauvagines migratrices en halte migratoire pendant le printemps et l'automne. La conservation et la gestion des oiseaux de mer relèvent d'ECCC, par l'entremise du Service canadien de la faune (SCF), et ne relèvent pas techniquement de la compétence de gestion des ZPM du MPO.

Toutefois, sur le plan écologique, les oiseaux de mer font partie intégrante du réseau trophique marin en tant que prédateurs mobiles du niveau trophique supérieur qui dépendent de poissons-proies et d'invertébrés benthiques (p. ex., Hobson et Welch 1992, Gaston *et al.* 2003). La protection des oiseaux de mer est plus efficace lorsqu'elle touche à la fois les aires de reproduction terrestres et les habitats d'alimentation marins adjacents (Mallory *et al.* 2019). La protection de l'habitat d'alimentation des oiseaux de mer et des mammifères marins faisait partie de la raison pour laquelle on a recommandé l'inclusion de la zone extracôtière du cap Parry dans la ZPMAN (MPO 2011). La disponibilité d'eaux productives et d'une abondance de poissons-proies pélagiques semble sous-tendre le succès des colonies d'oiseaux de mer dans l'Arctique (p. ex., Provencher *et al.* 2012, Divoky *et al.* 2015, Harwood *et al.* 2015c, Mallory *et al.* 2019). Dickson et Gilchrist (2002) ont avancé l'hypothèse que les possibilités d'alimentation pourraient être la raison pour laquelle les colonies de guillemots de Brünnich nicheurs ne se

trouvent qu'au cap Parry, dans l'ouest de l'Arctique, malgré la disponibilité d'habitats de falaise appropriés au promontoire Nelson, sur l'île Banks. Les proies des oiseaux de mer peuvent également indiquer un changement dans l'écosystème marin, car l'approvisionnement des nids peut refléter la disponibilité relative des sources de nourriture en réponse à des facteurs environnementaux à grande échelle (Gaston *et al.* 2003, Provencher *et al.* 2012, Divoky *et al.* 2015, Mallory *et al.* 2019). La surveillance de la présence et de l'absence d'oiseaux de mer et de leurs proies est donc reconnue comme étant pertinente pour évaluer si le nord de la ZPMAN demeure une zone productive pour l'alimentation des animaux du niveau trophique supérieur, mais il est recommandé de reporter la surveillance pour les raisons décrites ci-dessous.

6.10.1. Renseignements disponibles

Des renseignements sur la présence/l'absence et le régime alimentaire sont disponibles pour la ZPMAN à partir des connaissances autochtones. Lors d'un atelier tenu à Paulatuk en 2011, des membres bien informés de la collectivité choisis par le CCT ont signalé l'emplacement de plusieurs aires de nidification d'oiseaux de mer et l'observation de restes d'invertébrés benthiques (crabes et crevettes) autour de certains sites de nidification (Kavik-AXYS Inc. 2012).

En plus du savoir autochtone, des données sur la présence/l'absence et l'abondance sont disponibles pour le refuge d'oiseaux migrateurs du cap Parry à partir de recensements intermittents effectués tous les ans ou tous les cinq ans par le SCF (D. Hogan, SCF, comm. pers.).

Il n'existe pratiquement pas de données détaillées sur la recherche de nourriture par les oiseaux de mer migrateurs dans la région du cap Parry ou dans la ZPMAN en général. Dans l'ouest de la mer de Beaufort, des programmes de surveillance à long terme de deux colonies de guillemots à miroir ont démontré qu'un changement de régime alimentaire, passant principalement de la morue arctique à des chabots, était associé à des baisses de la croissance, de l'état et de la survie des oisillons (Divoky *et al.* 2015, Harwood *et al.* 2015c). Dans les deux cas, l'approvisionnement des nids avec des chabots a coïncidé avec la faible disponibilité de la morue arctique en raison de sa répartition changeante (île Cooper, Alaska) et de son abondance relativement faible (île Herschel, Yukon) [Divoky *et al.* 2015, Harwood *et al.* 2015]. Des transitions semblables entre la morue arctique et le capelan ont été observées dans l'approvisionnement des nids de colonies de guillemots de Brünnich dans l'est de l'Arctique canadien en réponse au changement de l'abondance relative de poissons-proies pélagiques, mais les conséquences énergétiques demeurent inconnues (Gaston *et al.* 2003, 2005, Provencher *et al.* 2012).

6.10.2. Stratégies et application

Il est recommandé d'envisager des stratégies précises pour la surveillance de la présence ou de l'absence d'oiseaux de mer et de leurs proies après l'élaboration du plan de cogestion du refuge d'oiseaux migrateurs du cap Parry (en cours). À ce moment-là, le groupe de travail sur la ZPMAN pourrait réexaminer la meilleure façon d'intégrer un indicateur pour les oiseaux de mer dans le plan de surveillance de la ZPMAN. D'ici là, les proies des oiseaux de mer dans l'environnement marin peuvent faire l'objet d'une surveillance intrinsèque au moyen des indicateurs décrits pour les communautés d'invertébrés benthiques, de poissons hauturiers et de poissons-proies (*Sections 6.4, 6.5 et 6.7*). Les données sur l'abondance relative des proies au large du cap Parry peuvent être utilisées plus tard pour vérifier l'hypothèse selon laquelle la disponibilité des proies est liée à l'approvisionnement, à l'état ou à la présence des nids d'oiseaux de mer (voir la *Section 6.5*). L'accès aux données des relevés de population intermittents du SCF au cap Parry peut être demandé en tout temps.

6.11. PRÉSENCE/ABSENCE, MOMENT DE L'ARRIVÉE/DU DÉPART, UTILISATION DE L'HABITAT ET COMPOSITION DES GROUPES DE MAMMIFÈRES MARINS

Hypothèses ou prédictions de changement

- Les changements dans les interactions océan-glace de mer-atmosphère qui influent sur la répartition et l'abondance du zooplancton et des poissons-proies influenceront simultanément sur la présence ou l'absence, l'utilisation de l'habitat et la composition des groupes de mammifères marins dans la ZPMAN.
- Les changements de l'étendue de la glace de mer et du moment de la débâcle et de l'englacement influenceront sur le moment de l'arrivée et du départ des mammifères marins migrants dans la ZPMAN, ainsi que sur la répartition du phoque annelé et du phoque barbu et leur utilisation de l'habitat.
- L'augmentation des activités humaines dans la région (trafic maritime, bruit anthropique sous-marin, activités industrielles) aura une incidence sur les déplacements des mammifères marins et leur utilisation de l'habitat.

Les objectifs de conservation pour la ZPMAN mettent l'accent sur la conservation de l'habitat marin et des espèces fourragères qui soutiennent les espèces clés de niveau trophique supérieur. L'habitat des mammifères marins dans l'Arctique est menacé par la variabilité du climat et les changements climatiques qui modifient les caractéristiques de la glace de mer, la répartition des espèces, la disponibilité des proies et la structure trophique et qui entraînent l'acidification des océans (Laidre *et al.* 2008, Huntington 2009, Choy *et al.* 2017), ainsi que par l'augmentation des activités anthropiques comme la mise en valeur des hydrocarbures, l'aménagement et l'exploitation d'infrastructures et de ports, et le trafic maritime (p. ex., Richardson *et al.* 1987, Harwood *et al.* 2012, Quakenbush *et al.* 2012, MPO 2014, Reeves *et al.* 2014). Au-delà de la consignation de la présence et de l'absence de mammifères marins dans la ZPMAN, la surveillance du moment de leur arrivée et de leur départ, de leur utilisation de l'habitat et de la composition de leurs groupes est la première et la plus pratique étape pour évaluer si l'habitat marin dans la région de la ZPMAN répond aux besoins de chaque espèce. Ces données fourniront les renseignements contextuels nécessaires pour suivre les changements éventuels de l'utilisation de l'habitat au fil du temps par différents segments de population et pour étudier la possibilité d'éviter les activités anthropiques (p. ex., Richardson *et al.* 1987, Halliday *et al.* 2019). Par ailleurs, les données sur les conditions environnementales, les caractéristiques de la glace de mer, la composition des communautés de proies et d'autres variables de l'habitat seront particulièrement importantes pour déduire les raisons sous-jacentes des changements éventuels dans l'utilisation de l'habitat.

Six composantes valorisées de l'écosystème ont été déterminées dans la ZPMAN lors d'un examen par des scientifiques et le Comité directeur de la ZIAN en fonction des connaissances autochtones compilées pour la baie Darnley par les détenteurs de connaissances de Paulatuk (MPO 2014). Les composantes valorisées de l'écosystème comprenaient trois mammifères marins ayant une grande valeur sur les plans de la culture et de la subsistance pour les Inuvialuits : le béluga (qilalugaq/*Delphinapterus leucas*), le phoque annelé (natchiq/*Phoca hispida*) et le phoque barbu (ugyuk/*Erignathus barbatus*; MPO 2011, 2014, Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016). La baleine boréale (arviq/*Balaena mysticetus*) n'a pas été désignée comme une composante valorisée de l'écosystème dans le cadre du processus d'examen officiel, mais elle est incluse dans l'examen actuel parce qu'elle présente un intérêt pour les résidents de Paulatuk (voir l'Annexe A pour les priorités communautaires ciblées par le groupe de travail sur la ZPMAN), qu'il existe des données de base substantielles à son sujet et

que son utilisation de l'habitat est souvent associée à d'autres indicateurs de la productivité de l'écosystème (voir l'examen ci-dessous). Une analyse de sensibilité dans Laidre *et al.* (2008) laisse entendre que le béluga et la baleine boréale étaient considérés comme « modérément sensibles » aux changements climatiques en raison de leur grande fidélité au site, de leur comportement migratoire et de leurs faibles taux de croissance potentiels. Le phoque annelé et le phoque barbu étaient considérés comme étant très sensibles à la perte de l'habitat de glace de mer, mais ils étaient par ailleurs classés comme étant moins sensibles en raison de la grande taille de leur population circumpolaire, de leurs besoins flexibles en matière d'habitat et d'alimentation, et de leurs taux de croissance potentiels élevés (Laidre *et al.* 2008).

De brèves descriptions de l'écologie des espèces de mammifères marins qui utilisent la ZPMAN et les eaux avoisinantes sont fournies ici à titre de contexte. Pour les résumés détaillés qui dépassent la portée de cet examen, voir Chambers et MacDonell (2012), Paulic *et al.* (2012), et Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* (2016).

Les Inuvialuits capturent traditionnellement des bélugas de l'est de la mer de Beaufort à des fins de subsistance alors que ces derniers migrent de la mer de Béring vers leur territoire d'été dans l'ouest de l'Arctique canadien. Des bélugas entrent habituellement dans la baie Darnley de la mi-juillet à la fin d'août ou au début de septembre. Les résidents de Paulatuk les chasseront à partir d'un certain nombre d'endroits autour de la baie, y compris le havre Brown, la baie Johnny Green, le lac Fish, la baie Argo, l'île Egg et Tippitiuyak. La dernière estimation de la population de béluga de l'est de la mer de Beaufort était d'environ 39 000 individus (MPO 2000). Les niveaux de capture sont actuellement considérés comme étant durables (Harwood *et al.* 2015a).

Le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada a désigné la baleine boréale comme une espèce préoccupante (COSEPAC 2009). Les individus des populations des mers de Béring, des Tchoukches et de Beaufort migrent chaque année de leur lieu d'hivernage dans la mer de Béring vers les eaux canadiennes de la mer de Beaufort et le golfe Amundsen pour se nourrir pendant l'été (p. ex., Quakenbush *et al.* 2012). Lors d'un atelier tenu en 2011 pour documenter et compiler les connaissances autochtones, des membres compétents de la collectivité choisis par le CCT de Paulatuk ont déclaré voir des baleines boréales se nourrir dans la baie Darnley chaque année en juillet ou en août, parfois en groupes allant jusqu'à 12 individus (Kavik-AXYS Inc. 2012). On a signalé que des baleines boréales étaient parfois observées au large de l'embouchure de la rivière Hornaday et près du rivage, mais elles ne semblaient pas entrer dans la baie Argo (Kavik-AXYS Inc. 2012).

Le phoque annelé est le pinnipède le plus abondant et le plus répandu dans la ZPMAN et les eaux adjacentes, et il est considéré par les Inuvialuits comme une source de nourriture et de fourrure (Kavik-AXYS Inc. 2012, Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016). Contrairement au béluga et à la baleine boréale, le phoque annelé est présent toute l'année dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort. Le phoque annelé utilise la glace de mer pour construire des abris subnivaux protecteurs de la fin de mars au début d'avril (de préférence sur la glace de rive), puis suivent une période d'allaitement (de six semaines en moyenne) et une période d'accouplement avant la période de mue de juin (p. ex., Smith 1987, Smith 1991). Le phoque annelé utilise également la glace de mer comme plateforme pour la recherche de nourriture pélagique pendant l'été et l'automne (p. ex., Smith 1987, Smith 1991, Kavik-AXYS Inc. 2012). Par conséquent, on s'attend à ce que le phoque annelé soit particulièrement sensible à la perte continue de l'habitat de glace de mer à mesure que le climat se réchauffe (Laidre *et al.* 2008). Bien qu'il soit rare pour le phoque annelé de mettre bas ou de se hisser sur la terre ferme, certaines populations à l'extérieur de l'ouest de l'Arctique sont connues pour le faire et peuvent indiquer une possibilité d'adaptation à la réduction de la glace de mer printanière (examiné dans Laidre *et al.* 2008, Lydersen *et al.* 2017). Cependant, le fait

de se réfugier sur la terre ferme n'est probablement pas une solution possible pour l'élevage des petits en raison de l'augmentation de la prédation et des contraintes de thermorégulation (Lydersen *et al.* 2017).

Le phoque barbu est moins commun et moins bien étudié que les trois autres principales espèces de mammifères marins. Les Inuvialuits apprécient le phoque barbu pour sa fourrure et son cuir, ainsi que pour leur alimentation et celle des chiens (Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016). Le phoque barbu est présent dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort et le golfe Amundsen toute l'année, et aucune donnée probante n'a été publiée concernant ses habitudes migratoires régulières. Les individus dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort et le golfe Amundsen ont tendance à se trouver près des glaces mobiles, des chenaux côtiers et des polynies dans les eaux peu profondes du plateau continental (p. ex., Stirling *et al.* 1977, 1993). La glace est un habitat important pour la mise bas et le repos (Smith 1991, Stirling *et al.* 1993) du phoque barbu, bien qu'il arrive à l'occasion qu'il se hisse aussi sur la terre ferme (examiné dans Laidre *et al.* 2008).

6.11.1. Renseignements disponibles

Les Inuvialuits capturent des mammifères marins de façon durable depuis des siècles et ont acquis une compréhension approfondie de leur utilisation de l'habitat, de leurs comportements et de leurs habitudes migratoires (Kavik-AXYS Inc. 2012, Ostertag *et al.* 2018). L'examen des données de base fourni ci-dessous s'appuie sur les données scientifiques disponibles et les connaissances autochtones propres à la baie Darnley, qui ont été transmises et documentées par des membres compétents de la collectivité choisis par le CCT de Paulatuk au cours d'un atelier tenu en 2011 (Kavik-AXYS Inc. 2012), et par les connaissances autochtones incluses dans le plan de conservation publié par la collectivité de Paulatuk (Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016). L'examen ci-dessous ne couvre pas la quantité importante de renseignements non publiés que possèdent les détenteurs de connaissances traditionnelles et locales, qui éclaireront davantage la conception finale du plan de surveillance pendant le processus d'élaboration conjointe.

Des relevés aériens des populations de mammifères marins ont été effectués par intermittence dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort depuis les années 1970. Même si les relevés ciblaient généralement une espèce particulière, les mammifères marins non ciblés ont également été dénombrés de façon opportuniste. Les données proviennent de relevés aériens de la population effectués entre 1971 et 1975 entre la frontière de l'Alaska et la baie Darnley (p. ex., Fraker 1979, 1981, Stirling *et al.* 1993, Hoover *et al.* 2016), et représentent quelques-unes des seules données de relevés aériens recueillies au printemps (de mars à mai) pour cette région. Les relevés aériens subséquents ne couvraient que les eaux canadiennes de la mer de Beaufort aussi loin à l'est que le cap Bathurst, y compris ceux effectués de juillet à septembre 1980 (Norton et Harwood 1985, Richardson *et al.* 1987, voir la liste des études dans Harwood *et al.* 2010), à la fin de juillet 1992 (p. ex., Harwood et Norton 1996), à la fin de juillet de 2007 à 2009 (p. ex., Harwood *et al.* 2010, 2015a), en juin de 2011 à 2013 (p. ex., Hoover *et al.* 2016) et plus récemment à la fin de juillet 2019 (M. Marcoux, MPO, données inédites). Hoover et ses collaborateurs (2016) résument des renseignements détaillés sur la plupart des relevés aériens effectués dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort jusqu'en 2012, couvrant des régions aussi loin à l'est que le cap Bathurst (2016).

Compte tenu de l'importance du béluga dans les régimes alimentaires traditionnels, des données substantielles ont été recueillies au cours des dernières décennies sur sa présence ou son absence, le moment de son arrivée, son utilisation de l'habitat et la composition de ses groupes dans la baie Darnley, et dans la RDI en général. Le document de Kavik-AXYS Inc. (2012) fournit une description des connaissances autochtones sur les schémas de migration

typiques du béluga et la composition des groupes dans la région de la ZPMAN, qui ont été transmises par des membres compétents de la collectivité durant un atelier en 2011. Selon les données des relevés aériens des années 1970, le béluga avait tendance à utiliser des zones de banquise épaisse près de la rupture de pente continentale au printemps, tout en évitant les eaux libres et la glace de rive (Asselin *et al.* 2011). On a émis l'hypothèse que l'utilisation de l'habitat de la rupture de pente continentale était associée à la recherche de nourriture (Asselin *et al.* 2011, Hornby *et al.* 2017), car cette zone est propice aux agrégations de morue arctique de fond (Geoffroy *et al.* 2011, Majewski *et al.* 2016), une espèce fourragère importante pour le béluga (p. ex., Loseto *et al.* 2009, Choy *et al.* 2017, 2020). Des analyses de la répartition estivale à partir des relevés aériens ultérieurs (2007 à 2009) et de la répartition et du comportement de plongée à partir d'études par télémétrie (1993, 1995, 1997, 2004 et 2005, 2018 et 2019) ont appuyé l'hypothèse selon laquelle la répartition du béluga dans les eaux extracôtières et côtières était liée à des facteurs indiquant des conditions d'alimentation favorables (Hauser *et al.* 2014, Hornby *et al.* 2017, L. Loseto, MPO, données inédites). Des études de marquage et télémétrie satellitaire du béluga ont été menées en 1993 (n = 4), 1995 (n = 16), 1997 (n = 7), 2004 (n = 9), 2005 (n = 4), 2018 (n = 14) et 2019 (n = 40) au moyen d'individus marqués dans l'estuaire du fleuve Mackenzie. Les résultats des études par télémétrie du béluga des années 1990 sont publiés dans Richard *et al.* (1997, 2001), tandis que ceux de 2004 et 2005 sont publiés dans Hauser *et al.* (2014). Les résultats des études par marquage effectuées en 2018 et 2019 sont en préparation et ne sont pas encore publiés (L. Loseto, comm. pers.). Les données de marquage ont révélé une variation importante des habitudes de déplacement entre les individus. Certains individus se sont déplacés vers le nord dans le détroit Prince of Wales, le détroit de McClure ou le détroit du Vicomte de Melville, tandis que d'autres ont circulé entre l'estuaire du Mackenzie et les eaux extracôtières de la mer de Beaufort ou du golfe Amundsen pendant plusieurs semaines (Richard *et al.* 1997, 2001, Hauser *et al.* 2014, L. Loseto, MPO, données inédites). Tous les bélugas de l'est de la mer de Beaufort marqués pour les études l'ont été dans l'estuaire du Mackenzie et aucun d'entre eux n'est entré dans la baie Darnley, peut-être comme un artéfact de biais dans l'emplacement et le moment de la capture aux fins du marquage, ce qui soulève de nouvelles questions sur la structure de la population de béluga de l'est de la mer de Beaufort. Les bélugas n'entrent pas dans la baie Darnley chaque année. Les individus échantillonnés après leur capture dans la baie Darnley présentaient des concentrations de mercure et des valeurs d'isotopes stables plus faibles que ceux capturés à l'île Hendrickson, et les individus marqués près de l'île Hendrickson n'entraient pas dans la baie Darnley, ce qui a suscité des questions à savoir si les bélugas qui utilisent la baie Darnley constituent une cohorte distincte de ceux pour lesquels il existe des données de marquage (Paulic *et al.* 2012, Ruben *et al.* 2013). Néanmoins, les données de marquage ont permis de déterminer de vastes divisions de l'habitat liées à la taille et au sexe qui s'appliquent aux bélugas qui utilisent la ZPMAN : les femelles accompagnées d'un baleineau et les petits mâles choisissent un habitat côtier d'eau libre, tandis que les gros mâles privilégient un habitat d'eau profonde près de la lisière de glace ou sous l'épaisse glace de mer (Barber *et al.* 2001, Loseto *et al.* 2006). Les ségrégations fondées sur la taille et le sexe dans l'utilisation de l'habitat concordent avec les observations des résidents de Paulatuk, qui ont déclaré que les bélugas qui entrent dans la ZPMAN à la fin de juillet sont principalement des femelles avec des baleineaux et quelques petits mâles, alors qu'un groupe d'adultes plus gros reste dans les eaux plus profondes au large de la péninsule Parry (Kavik-AXYS Inc. 2012). Un groupe de mâles pour la plupart gros peut entrer dans la baie Darnley plus tard au cours de l'été (appelés « traînards »; Kavik-AXYS Inc. 2012). Les embouchures des rivières Hornaday et Brock sont considérées par les résidents de Paulatuk comme des aires d'alimentation importantes pour le béluga, tandis que la baie Argo peut aussi être utilisée pour le frottement sur des roches visant à faciliter la mue (Kavik-AXYS Inc. 2012, Paulic *et al.* 2012). Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer pourquoi les bélugas pénètrent dans la baie Darnley,

comprendre l'importance des comportements observés de frottement et de mue, et déterminer si ces habitats de frottement devraient présenter un intérêt pour la surveillance. Un nombre sans précédent de bélugas a été observé et capturé près d'Ulukhaktuk en 2014, où, d'après ce qu'on en savait, des bélugas ne venaient que sporadiquement (Loseto *et al.* 2018). Bien que l'événement n'ait pas été directement lié à la ZPMAN, on a cru que les déplacements inhabituels des bélugas étaient attribuables à la disponibilité des proies liée aux conditions environnementales à grande échelle géographique (Loseto *et al.* 2018a), ce qui aurait probablement une incidence sur les déplacements dans la ZPMAN.

La surveillance annuelle fondée sur les captures de béluga de l'est de la mer de Beaufort dans la RDI est effectuée dans le cadre du programme de surveillance communautaire des poissons et des mammifères marins du CMGP dirigé par la collectivité (anciennement appelé « programme de surveillance du béluga »; Harwood *et al.* 2002, CMGP 2013, Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016) associé au programme de surveillance et de recherche sur la santé du béluga. Le programme de surveillance du béluga a été établi en 1980 conjointement par le MPO et les CCT des six collectivités de la RDI afin de consigner des renseignements sur les captures, et de collecter des données biologiques et des échantillons sur les individus débarqués. Depuis 1987, il est dirigé par le CMGP. C'est l'un des plus anciens programmes de surveillance dans l'Arctique canadien. Des données antérieures sur les captures de béluga sont également disponibles auprès des programmes de surveillance des captures menés dans l'estuaire du Mackenzie par le Service des pêches et des sciences de la mer du gouvernement du Canada (1973 à 1975) et l'industrie pétrolière et gazière (1977 à 1982; résumées dans Harwood *et al.* 2002). À l'heure actuelle, les surveillants du béluga embauchés par les CCT locaux en partenariat avec la CMGP (Harwood *et al.* 2002) se rendent chaque été dans des camps traditionnels de chasse à la baleine où ils travaillent avec les chasseurs pour recueillir des renseignements sur le moment et les conditions de la capture, consigner des observations sur les caractéristiques physiques des individus capturés, et prélever des échantillons de tissus pour analyse ultérieure par les scientifiques du MPO et leurs collègues (p. ex., Harwood *et al.* 2015a, Loseto *et al.* 2018). Par conséquent, les données sur le lieu et la date de la capture, le sexe, la longueur, le volume de l'abdomen, la largeur de la nageoire de la queue, l'épaisseur de la graisse, la couleur et les observations des chasseurs sont disponibles pour les bélugas capturés dans la baie Darnley depuis 1989 (Harwood *et al.* 2020) (veuillez noter que les données ne représentent pas nécessairement tous les individus débarqués, car le programme est volontaire) et en plus des indicateurs de santé (p. ex., Osertag *et al.* 2019, Choy *et al.* 2022). Des rapports détaillant la méthodologie utilisée et résumant les données recueillies dans le cadre des programmes de surveillance des captures sont disponibles pour 1970 à 2015 (Harwood *et al.* 2020).

Une étude par marquage sur la baleine boréale est menée par le Department of Fish and Game de l'Alaska depuis 2006, en collaboration avec l'Alaska Eskimo Whaling Commission, les Whaling Captor's Associations of Barrow, Kaktovik, Gambell et Savoonga, les CCT d'Aklavik et de Tuktoyaktuk, le North Slope Borough, le Barrow Arctic Science Consortium, le MPO et le Greenland Institute of Natural Resources. Des cartes des déplacements de la baleine boréale sont disponibles sur le site Web du [Department of Fish and Game de l'Alaska](#). Entre 2006 et 2017, il y a eu 52 observations de baleines boréales marquées dans les eaux extracôtières du golfe Amundsen et de la baie Darnley de mai à septembre, et 16 observations de baleines marquées (toutes des mâles juvéniles) qui sont entrées dans les limites de la ZPMAN (données inédites du Department of Fish and Game de l'Alaska). Les analyses des données de l'étude par marquage et des relevés aériens effectués dans les eaux canadiennes ont révélé que la baleine boréale forme de vastes groupes d'alimentation estivale peu structurés entre le début d'août et le début d'octobre, se déplaçant, dans une certaine mesure, entre des zones peu profondes où ses proies zooplanctoniques sont concentrées en raison des conditions

océanographiques (Harwood *et al.* 2010, 2017b, Walkusz *et al.* 2012). Les aires d'alimentation les plus importantes dans le sud des eaux canadiennes de la mer de Beaufort semblaient se trouver dans les eaux peu profondes (20 à 50 m) au large de la péninsule de Tuktoyaktuk et près du cap Bathurst (Harwood *et al.* 2010, Walkusz *et al.* 2012). Des groupes en quête de nourriture qui reviennent annuellement ont également été observés dans les eaux peu profondes près des canyons du Mackenzie et du Kugmallit, dans les eaux côtières près du versant nord du Yukon, dans la zone de plateau de la mer de Beaufort, dans le détroit du Vicomte de Melville, dans la baie Franklin et, à l'occasion, dans la baie Darnley (Department of Fish and Game de l'Alaska, données inédites, EERB-PPM/EEM-MBC, observations inédites). La composition des groupes différait parmi les aires d'alimentation, les individus juvéniles s'aventurant rarement à l'est du cap Bathurst (Harwood *et al.* 2017b). Entre 1987 et 2016, quatre baleines boréales adultes et sous-adultes ont été trouvées échouées dans la baie Darnley par des chasseurs de Paulatuk et de Sachs Harbour, l'une se trouvant dans les limites de la ZPMAN (Harwood *et al.* 2017a).

Les données des relevés aériens sur le phoque annelé et le phoque barbu ne sont disponibles qu'entre juin 1974 et 1979 (L. Harwood, MPO, comm. pers.). Les relevés indiquaient une répartition relativement omniprésente du phoque annelé dans la ZPMAN, avec des densités légèrement plus élevées dans les eaux extracôtières (Stirling *et al.* 1982, L. Harwood, MPO, comm. pers.). Des phoques barbues ont été observés à des densités plus faibles, principalement au nord de la pointe Bennett (Stirling *et al.* 1982). Ces constatations concordent avec les observations régulières des résidents de Paulatuk (Kavik-AXYS Inc. 2012). Le plan de conservation de la collectivité de Paulatuk indique qu'une surveillance supplémentaire de la reproduction et de l'état des phoques a été effectuée à Paulatuk entre 1992 et 1994, à Sachs Harbour entre 1987 et 1989, en 1992, et entre 2003 et 2007, et à Ulukhaktok entre 1992 et 2014 (Paulatuk Hunters and Trappers Committee *et al.* 2016, Smith 1987). L'état physique des phoques annelés capturés près d'Ulukhaktok a diminué de façon importante entre 1992 et 2011, et il a été corrélé avec la débâcle tardive (Harwood *et al.* 2012b). Les renseignements recueillis près de Sachs Harbour et d'Ulukhaktok peuvent être utiles pour fournir un contexte si des changements relatifs à la présence ou à l'absence du phoque annelé, au moment de son arrivée ou à la composition de ses groupes sont observés dans la ZPMAN (Insley *et al.* 2021).

Plusieurs études de marquage et de suivi par télémétrie ont été menées pour mieux comprendre les déplacements du phoque annelé et son utilisation de l'habitat dans la ZPMAN et le golfe Amundsen. Des phoques annelés adultes et sous-adultes ont été marqués au cap Parry en 2001 et 2002 ($n = 8$) et près d'Ulukhaktok en 1999, 2000 et 2010 ($n = 17$; décrit dans Harwood *et al.* 2012a, 2015b). Des relevés aériens et des données sur le marquage ont permis de réitérer les habitudes de déplacement signalées par les Autochtones (Kavik-AXYS Inc. 2012) et ont révélé qu'elles étaient liées au sexe, à la classe d'âge, à la saison et à la phénologie de la glace (Smith *et al.* 1982, Harwood *et al.* 2012a, 2015b, Yurkowski *et al.* 2016). Pendant la saison des eaux libres, le phoque annelé occupait de vastes domaines vitaux pour la recherche de nourriture, y compris le golfe Amundsen, le détroit Prince of Wales et le détroit du Vicomte de Melville (p. ex., Harwood *et al.* 2015b, Yurkowski *et al.* 2016b). À la fin de l'automne, les phoques adultes se déplaçaient dans les eaux côtières où la glace de rive était stable afin d'établir des territoires de reproduction plus restreints, tandis que les sous-adultes migraient habituellement vers l'ouest jusqu'à la mer des Tchouktches (Harwood *et al.* 2012a, 2015b, Yurkowski *et al.* 2016b). On pensait que la migration automnale des sous-adultes était motivée par les possibilités de recherche de nourriture (p. ex., Smith 1987, examiné dans Harwood *et al.* 2012a, Yurkowski *et al.* 2016). Des relevés aériens ont révélé une diminution de l'abondance du phoque annelé et du phoque barbu au milieu des années 1970 (Stirling *et al.* 1982) qui a été corroborée par les résidents de Paulatuk (Kavik-AXYS Inc. 2012).

Outre les relevés aériens effectués dans les années 1970, les renseignements sur l'abondance, la structure des populations et les déplacements du phoque barbu sont limités pour la région de la ZPMAN (Paulic *et al.* 2012). Les résidents de Paulatuk considèrent l'ouest du golfe Amundsen, la baie Franklin et les zones littorales de la pointe Pearce et du havre Brown comme un habitat important pour le phoque barbu (Kavik-AXYS Inc. 2012). Des phoques barbues se reposent habituellement près de la pointe Bennett (Kavik-AXYS Inc. 2012).

L'information sur la présence et l'absence, le moment d'arrivée, l'emplacement et la composition des groupes de mammifères marins peut également être extraite des données de surveillance acoustique (voir la *Section 7*) et des statistiques sur les captures. Des renseignements sur le nombre de mammifères marins capturés dans la région de la baie Darnley, leur emplacement et les observations connexes ont été recueillis dans le cadre de l'étude sur les captures des Inuvialuits (1988 à 1997 et 2016 à 2019) et sont disponibles auprès du Secrétariat mixte ([Inuvialuit Harvest Study — Joint Secretariat](#) [en anglais seulement]). Les données recueillies dans le cadre de l'étude sur les captures des Inuvialuits de 1988 à 1997 pour Paulatuk ont été publiées par le Secrétariat mixte (2003). Les fichiers de formes SIG des densités d'abondance, de la diversité et des points chauds calculés à partir de toutes les données de surveillance par satellite disponibles jusqu'en 2018 sont disponibles par groupe d'espèces et saison dans Yurkowski *et al.* 2018b.

6.11.2. Stratégies et application

Des programmes de surveillance communautaires continus peuvent adéquatement fournir des renseignements sur la présence et l'absence du béluga, du phoque annelé et du phoque barbu, ainsi que sur leur emplacement et la composition de leurs groupes. Toutefois, ces opérations sont biaisées en faveur des préférences des chasseurs (p. ex., sexe, taille corporelle, indicateurs de santé) et de l'emplacement des territoires de chasse traditionnels. Les efforts de surveillance seraient renforcés par la mise en œuvre d'une méthode normalisée de déclaration des observations d'espèces de mammifères marins non capturées dans la ZPMAN et les eaux adjacentes, ce qui renforcerait l'utilisation parallèle des connaissances autochtones et des données scientifiques. Une option prometteuse est l'application Arctic Marine Observer, que l'on a développée conjointement avec la Direction des sciences du MPO et les chasseurs de béluga de Paulatuk, de Tuktoyaktuk et d'Inuvik dans le but de recueillir des observations normalisées, quoiqu'opportunistes, sur la présence de mammifères marins, la composition de leurs groupes, leur comportement et leur habitat, ainsi que des photographies et les coordonnées GPS connexes (S. Ostertag, MPO, données inédites). L'administration de l'application, y compris toutes les données connexes, a depuis été transférée au Secrétariat mixte des Inuvialuits. L'application a été peu utilisée par les collectivités du delta, mais elle l'a été largement par les résidents de Paulatuk (K. Hansen-Craik, Secrétariat mixte, données inédites). Une telle application améliorerait particulièrement les données disponibles pour surveiller l'utilisation de l'habitat par la baleine boréale près de la ZPMAN, étant donné que cette espèce n'est généralement pas capturée par les résidents de Paulatuk. Les programmes intermittents de marquage et de suivi par satellite et les relevés aériens qui comprennent la ZPMAN sont susceptibles de fournir des renseignements clés sur les déplacements à plus grande échelle et, jumelés à des données sur les conditions environnementales et la répartition des espèces fourragères, pourraient aider à distinguer les facteurs qui attirent les mammifères marins dans la région. Les méthodes de marquage de courte durée (environ trois semaines), récemment mises à l'essai dans la baie Kugmallit (L. Loseto, MPO, données inédites, 2018, 2019) peuvent combler les lacunes en matière de connaissances sur les déplacements, l'utilisation de l'habitat à petite échelle et le comportement du béluga dans la baie Darnley, et éventuellement sur sa réaction au trafic maritime. Cependant, il faut reconnaître que le marquage et le suivi par satellite et les relevés aériens sont coûteux, difficiles et possiblement impossibles à effectuer

chaque année. La surveillance acoustique passive des vocalisations peut également être utilisée pour surveiller la présence de mammifères marins et peut fournir de l'information sur l'utilisation de l'habitat lorsqu'elle est jumelée à un échantillonnage passif des paramètres océanographiques (p. ex., comme démontré pour le béluga dans l'estuaire du Mackenzie dans Scharffenberg *et al.* 2019). Il convient de noter que la surveillance acoustique, bien que potentiellement puissante, présente certaines limites (*voir la Section 7.1*).

Les objectifs de conservation pour la ZPMAN ne mettent pas l'accent sur la santé des mammifères marins, mais des paramètres liés à leur santé peuvent fournir un contexte supplémentaire pour comprendre les données recueillies dans le cadre d'un programme de surveillance. Si la santé des mammifères marins est intégrée dans le plan de surveillance, il est recommandé de l'uniformiser avec le programme existant de surveillance et de recherche sur la santé du béluga. Des paramètres liés à la santé élaborés à l'aide du savoir autochtone et des connaissances scientifiques ont été recueillis dans le cadre du programme de surveillance et de recherche sur la santé du béluga dans la ZPM de Tarium Niryutait depuis 2015 (Ostertag *et al.* 2018), et dans tous les emplacements de surveillance du béluga dans la RDI, y compris la baie Darnley, depuis 2017 (données inédites du CMGP).

Il convient de noter que la surveillance de la présence et de l'absence, du moment d'arrivée, de l'utilisation de l'habitat et de la composition des groupes des mammifères marins ne permettra pas d'évaluer directement si les objectifs de conservation sont atteints, comme le suggéraient les documents scientifiques précédents (MPO 2015, Schimnowski *et al.* 2017). La santé, la démographie ou les déplacements des populations peuvent changer sous l'influence de pressions exercées hors de la ZPMAN, en particulier pour les espèces de mammifères marins qui migrent ou qui ont de vastes domaines vitaux (p. ex., Loseto *et al.* 2018b). Néanmoins, la surveillance au sein de la ZPMAN pourrait révéler des « signaux d'alarme » qui justifient une étude plus approfondie. L'accès à l'information provenant d'études sur les populations ou de relevés menés à plus grande échelle sera important pour fournir le contexte nécessaire afin d'évaluer si les mesures prises dans la ZPMAN contribueront aux mesures de conservation. Comme on l'a souligné dans un document scientifique précédent (Schimnowski *et al.* 2017), les quatre principales espèces de mammifères marins dont il est question ici diffèrent sur le plan de leur état trophique et de leur rôle dans l'écosystème, ainsi que de leur sensibilité aux changements/perturbations de l'habitat (Laidre *et al.* 2008). Lorsqu'on utilise les données de surveillance pour évaluer les raisons possibles d'un changement, il faut tenir compte des différences dans le cycle vital, la migration, l'utilisation de l'habitat, l'alimentation, la physiologie et d'autres facteurs qui peuvent attirer chaque espèce dans la région.

7. INDICATEURS LIÉS AUX AGENTS DE STRESS ET AUX MENACES

7.1. BRUIT SOUS-MARIN D'ORIGINE ANTHROPIQUE

Hypothèses ou prédictions de changement

- Les mammifères marins, en particulier le béluga, seront touchés par le bruit sous-marin généré par des navires, de sorte que leurs déplacements et leur utilisation de l'habitat dans la ZPMAN seront influencés par la prévalence du bruit sous-marin d'origine anthropique.

Le bruit sous-marin d'origine anthropique peut nuire à la communication entre les mammifères marins (Protection de l'environnement marin arctique 2019), à la détection des proies et des prédateurs et, dans le cas des baleines, à l'écholocation. Le béluga semble particulièrement sensible à la pollution sonore sous-marine causée par le trafic maritime. Il adapte ses comportements de communication en réponse au bruit des navires, et ses réactions d'évitement des gros et des petits navires semblent différentes (Halliday *et al.* 2017a, 2019). Le trafic

maritime dans l'Arctique canadien augmente à mesure que la glace de mer diminue, et l'un des principaux couloirs de navigation du passage du Nord-Ouest traverse l'embouchure de la baie Darnley, juste au nord de la ZPMAN (Dawson *et al.* 2018). La baie Wise, du côté ouest du cap Parry, sert de port et de zone de rassemblement sécuritaire pour les navires de gros tonnage tout au long de l'été. Le bruit sous-marin d'origine anthropique est également généré par les barges de ravitaillement, les navires de recherche et le transport local au moyen de petits navires appartenant à des résidents. Un avis scientifique antérieur indiquait que le bruit sous-marin constituait une pression principale éventuelle pour l'écosystème de la ZPMAN (MPO 2014), et le groupe de travail sur la ZPMAN a déterminé qu'il s'agissait d'une préoccupation prioritaire de surveillance (Annexe A). Par conséquent, la surveillance des effets potentiels du bruit sous-marin d'origine anthropique sur les comportements et les vocalisations des mammifères marins est directement applicable pour s'assurer que l'intégrité de la ZPMAN en tant qu'habitat d'alimentation marin n'est pas perturbée par les activités humaines. Les renseignements obtenus sont directement applicables à l'élaboration de stratégies de gestion visant à protéger les mammifères marins contre les effets du bruit sous-marin d'origine anthropique, par exemple, par l'établissement de routes de navigation qui évitent les zones sensibles ou par l'adoption d'un règlement pour le ralentissement des navires ou la présence d'observateurs des mammifères marins à bord (McWhinnie *et al.* 2018, Pine *et al.* 2018).

À titre d'avantage supplémentaire, les observations acoustiques peuvent contribuer à la surveillance de la présence ou de l'absence, du moment d'arrivée et de l'emplacement des mammifères marins qui vocalisent (*Section 6.11*; Halliday *et al.* 2017b, Scharffenberg *et al.* 2019). La surveillance du bruit ambiant dans l'océan permettra en outre de caractériser le paysage sonore naturel de la région, où des bruits sont générés sur une vaste gamme de fréquences par le mouvement de la glace, la poudrière soufflant sur la glace, les craquements dus aux contraintes thermiques, la formation de crêtes, la débâcle, les bulles d'air générées par le déferlement de la mer ou le ressac côtier. Ces sons peuvent parfois masquer des sources sonores biologiques et anthropiques.

7.1.1. Renseignements disponibles

La première surveillance acoustique passive dans le golfe Amundsen a été effectuée dans les années 1980, et avait mis un accent particulier sur le bruit associé à la glace dans l'océan (Waddell et Farmer 1988, Xie et Farmer 1991, 1992).

La surveillance acoustique passive axée sur la biologie n'a commencé que récemment près de la ZPMAN dans le cadre d'une initiative menée par la Wildlife Conservation Society (WCS) du Canada. Le bruit sous-marin a été enregistré à longueur d'année par un hydrophone amarré près de la limite nord de la ZPMAN en 2018-2019 et depuis 2019. Trois enregistrements acoustiques saisonniers ont également été effectués de juillet à septembre 2019 dans le sud de la ZPMAN. Les enregistrements servent à quantifier le bruit de fond ambiant, à surveiller les mammifères marins et les poissons et à comprendre l'incidence du bruit généré par les navires sur la vie marine ([WCS Canada : Arctic Noise](#) [en anglais seulement]). Dans un contexte régional, une surveillance acoustique passive à longueur d'année se fait près de Sachs Harbour depuis 2014, et le paysage sonore estival a récemment été caractérisé dans les environs d'Ulukhaktok (Halliday *et al.* 2020a) et dans la baie de Kugmallit dans la ZPM de Tarium Niryutait (Halliday *et al.* 2020b).

7.1.2. Stratégies et application

Un réseau d'enregistreurs acoustiques passifs (hydrophones) amarrés peut être utilisé pour caractériser le paysage sonore sous-marin et, lorsqu'il est intégré aux données de surveillance des navires, il peut être utilisé pour suivre les réponses de communications des mammifères

marins au bruit sous-marin généré par les navires, comme cela a été fait avec succès dans la ZPM de Tarium Niryutait (Halliday *et al.* 2017a, 2019, 2020b). Les données sur le trafic maritime pour la région peuvent être achetées auprès des services de suivi du système d'identification automatique. Il pourrait être plus stratégique de soutenir le programme de surveillance acoustique actuellement lancé dans la baie Darnley.

L'hétérogénéité spatiale des sources de bruit des navires et la portée à laquelle les hydrophones peuvent détecter le bruit devraient être prises en compte au moment de choisir l'emplacement des enregistreurs acoustiques. Les bruits sous-marins d'origine anthropique seront dominés par les bruits de petits navires appartenant à des résidents dans le sud de la ZPMAN, tandis que de gros navires hauturiers constitueront une source de bruit plus importante au nord. Dans la mesure du possible, l'installation d'enregistreurs acoustiques sur les observatoires déployés pour recueillir des données sur l'océanographie, les flux de carbone, les profils de glace ou les agrégations de poissons et de zooplancton réduirait au minimum les coûts et les efforts associés au déploiement et à la récupération tout en maximisant la production de données par effort (voir les *Sections 5.1, 5.3, 6.3 et 6.5*). La période pendant laquelle les enregistreurs acoustiques sont déployés devrait couvrir au moins la durée de la saison d'eau libre, mais serait idéalement à longueur d'année pour capturer les brises-glaces et les activités hivernales des mammifères marins (phoques et peut-être baleine boréale).

7.2. CONCENTRATIONS DE CONTAMINANTS DANS L'ENVIRONNEMENT ET CHEZ LES MAMMIFÈRES MARINS

Hypothèses ou prédictions de changement

- Les tendances positives ou négatives des concentrations de contaminants chez les mammifères marins migrateurs refléteront les expositions environnementales ou alimentaires à l'échelle des déplacements migratoires, tandis que celles des mammifères marins résidents seront plus étroitement liées aux concentrations de contaminants dans l'environnement de la ZPMAN et chez les espèces fourragères disponibles localement.
- Les concentrations de contaminants persistants (p. ex., le mercure) chez les mammifères marins dépendront du niveau trophique et seront influencées par la stratégie d'alimentation (où les concentrations chez le béluga > le phoque annelé > le phoque barbu > la baleine boréale), qui peuvent être aggravées par les influences des changements climatiques sur le transport des contaminants dans le système et sur le réseau trophique et la disponibilité de la nourriture.

Les contaminants ou les polluants sont des termes utilisés pour désigner une série de composés ou de produits chimiques qui sont étrangers à un environnement local et causent des dommages. À ce titre, la surveillance des contaminants est une approche permettant de s'attaquer aux répercussions des activités humaines sur l'intégrité de l'environnement marin. Souvent, les contaminants préoccupants qui sont surveillés sont classés dans la catégorie des « contaminants TBP » parce qu'ils sont a) *toxiques* et causent des blessures ou des dommages b) *bioaccumulables* dans les organismes au fil du temps, ce qui entraîne une bioamplification dans la chaîne trophique et c) *persistants* dans l'environnement, ne sont pas facilement décomposés et, dans le cas de l'Arctique, sont souvent transportés vers les régions froides du nord à partir du sud. Ces trois propriétés sont souvent utilisées pour déterminer les produits chimiques dont la production devrait être éliminée ou restreinte en vertu de conventions comme la Convention de Stockholm. Les contaminants TBP comprennent les composés organiques halogénés, bromés et fluorés et la forme organique du mercure (méthylmercure). Toutefois, certains contaminants ne présentent pas toutes ces propriétés, mais sont préoccupants en

raison des dommages qu'ils peuvent causer, comme les radionucléides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les métaux et les microplastiques.

Les mammifères marins, souvent en raison de leur longue vie, de leur niveau trophique élevé et de leurs grandes réserves de gras, sont vulnérables aux contaminants TBP comme les biphényles polychlorés (BPC) et le mercure (à noter que le mercure se lie aux protéines, tandis que les BPC se lient aux lipides). Les contaminants TBP se rendent dans l'Arctique par l'air et l'eau (douce et marine) où ils pénètrent à la base du réseau trophique, s'accumulent dans les organismes individuels et se bioamplifient pour atteindre des niveaux préoccupants (PSEA 2011, Loseto et Ross, 2011). Par conséquent, les mammifères marins sont des indicateurs idéaux des tendances des contaminants et, selon le type de contaminant, fournissent un contexte sur le devenir et les voies de transport qui peuvent éclairer les stratégies d'atténuation. La principale voie d'exposition des mammifères marins aux contaminants TBP et aux microplastiques passe par le régime alimentaire (Bradney *et al.* 2019). Les concentrations de contaminants chez les mammifères marins ont donc une valeur ajoutée en tant que biotraceurs trophiques et sont particulièrement puissantes lorsqu'elles sont combinées à d'autres biotraceurs trophiques (voir la *Section 6.1*). D'autres composés comme les HAP et les radionucléides peuvent causer des dommages par contact direct (p. ex., blessure aiguë par contact avec la peau ou les yeux ou par inhalation) en plus d'être potentiellement ingérés, bien qu'ils soient métabolisés rapidement par rapport aux contaminants TBP. En raison des différentes propriétés physicochimiques, comme la solubilité dans les lipides et l'eau, chaque contaminant est réparti différemment dans l'air, l'eau et les sédiments. De même, le terme « microplastiques » est un terme fourre-tout qui comprend des particules de tailles, de formes, de composition chimique et de classe de polymères diverses. Ces propriétés influencent la prévalence de différents composés de microplastiques dans différents habitats (p. ex., les eaux de surface, les sédiments, Rochman *et al.* 2019), qui influent sur le risque d'exposition de chaque espèce de mammifère marin.

Par conséquent, il est essentiel de comprendre la stratégie d'alimentation des mammifères marins et leur habitat d'alimentation pour caractériser le risque causé par l'exposition alimentaire aux contaminants. Les liens trophiques et les contaminants sont importants à considérer ensemble dans la conception du plan de surveillance (voir la *Section 6.1*, Loseto et Ross 2011). Parmi les quatre mammifères marins présent dans la ZPMAN, le béluga et le phoque annelé se nourrissent à un niveau trophique semblable (Yurkowski *et al.* 2016a, Choy *et al.* 2020). Toutefois, les concentrations de mercure et de composés organiques halogénés sont généralement trois fois plus élevées chez le béluga que chez le phoque annelé (Gaden *et al.* 2009, Loseto *et al.* 2008a, Noël *et al.* 2018, Houde *et al.* 2019) parce qu'un régime alimentaire composé d'invertébrés et de petits poissons soumet le phoque annelé à un risque d'exposition plus faible que celui auquel est soumis le béluga. La baleine boréale présente des niveaux d'exposition plus faibles que le béluga et le phoque annelé parce qu'elle se nourrit de petits invertébrés et de zooplancton des niveaux trophiques inférieurs. La stratégie d'alimentation et le régime alimentaire du phoque barbu entraînent une voie d'exposition différente qui amplifie le risque d'exposition à des contaminants liés ou associés aux sédiments qui peuvent varier en concentration selon l'espèce fourragère.

La surveillance du devenir et du transport d'un groupe choisi de composés dans la ZPMAN est pertinente pour les objectifs de conservation parce qu'elle traite de la perturbation causée par les activités humaines et peut fournir une base de référence pour mesurer les répercussions futures imprévues (p. ex., événements localisés, rejet d'anciens contaminants par la fonte du pergélisol). Toutefois, il faut reconnaître que les contaminants peuvent ne pas provenir de la ZPMAN ou ne pas nécessairement pointer vers des processus qui se déroulent à l'intérieur de ses limites. Il est recommandé de surveiller les concentrations de contaminants chez les

mammifères marins, car ils représentent le mieux le risque d'exposition en raison de leur longue vie et de leur position comme prédateurs de niveau trophique supérieur. De plus, on recommande de surveiller les concentrations de contaminants chez leurs principales proies afin de fournir des renseignements sur les voies de transmission des contaminants par l'entremise du régime alimentaire. Étant donné que les concentrations de contaminants chez les mammifères marins migrateurs peuvent refléter une exposition à l'extérieur de la ZPMAN, il est important de comprendre les processus liés aux proies et au réseau trophique de soutien à la lumière des répercussions des changements climatiques sur le réseau trophique et le transport des contaminants.

7.2.1. Renseignements disponibles

Les données sur les contaminants chez les mammifères marins présents dans la RDI, en particulier pour les contaminants organiques et le mercure, remontent aux années 1980 (Lockhart *et al.* 2005, Stern *et al.* 2005, Addison *et al.* 2005, 2009, 2014, Loseto *et al.* 2015, Noël *et al.* 2018, Smythe *et al.* 2018, Houde *et al.* 2019). La surveillance des contaminants se poursuit depuis les années 1970 pour le phoque annelé à Sachs Harbour et à Ulukhaktok, depuis 1993 à Paulatuk et depuis les années 1980 pour le béluga dans toute la RDI, grâce à de multiples initiatives et partenariats entre les collectivités, le CMGP, le MPO et ECCC, et au soutien reçu par l'entremise du Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord du Canada (Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada). Le programme de surveillance communautaire des poissons et des mammifères marins (anciennement le programme de surveillance du béluga) recueille des tissus depuis 1980 et représente l'un des plus anciens programmes de surveillance dans la RDI. Les tendances relatives au mercure et aux polluants organiques persistants ont été résumées pour les espèces marines d'intérêt présentes dans l'Arctique canadien (Braune *et al.* 2005, 2015, Brown *et al.* 2018). Les bélugas, les phoques annelés et les ours blancs de la mer de Beaufort présentent des concentrations de mercure plus élevées que les individus d'autres régions de l'Arctique canadien (Braune *et al.* 2015, Brown *et al.* 2019).

En ce qui concerne le béluga, les 20 dernières années de surveillance des contaminants et de recherche sur les effets toxiques ont été effectuées à partir de l'île Hendrickson, un lieu de boucherie principal pour les chasseurs de Tuktoyaktuk qui débarquent leurs captures à proximité et les dépècent sur l'île avant de retourner à Tuktoyaktuk (Waugh *et al.* 2018). Les tendances des concentrations de mercure chez le béluga ont montré des fluctuations considérables, les niveaux ayant atteint un sommet à la fin des années 1990 et au début des années 2000, alors qu'ils étaient plus élevés que ceux mesurés chez les autres populations de béluga au Canada (Lockhart *et al.* 2005). Au cours des dernières années, les concentrations de mercure chez le béluga ont diminué (Loseto *et al.* 2015) et sont demeurées stables (Stern *et al.* 2017). Les tendances relatives aux anciens contaminants, comme les BPC, n'ont pas montré de diminution au fil du temps (Noël *et al.* 2018), malgré l'interdiction de l'utilisation de 12 contaminants TBP bien connus par la Convention de Stockholm. Certains composés bromés et fluorés présentent des tendances mixtes associées aux congénères, mais les concentrations demeurent extrêmement faibles (Smythe *et al.* 2018). L'absence d'une tendance à la baisse des composés anciens a également été observée chez le phoque annelé à Sachs Harbour et à Ulukhaktok, où les concentrations dans la région sont généralement plus élevées que dans d'autres collectivités canadiennes (Houde *et al.* 2019). Bien que ce ne soit pas significatif, il y a eu une augmentation de 0,7 % par année du Hg dans le foie de phoques annelés et une diminution de 2,3 % du Hg dans les muscles de phoques annelés au fil du temps (1972 à 2017, Houde *et al.* 2020). Les concentrations de mercure chez les phoques annelés capturés à Ulukhaktok étaient plus élevées après de courtes et de longues saisons sans glace (Gaden

et al. 2009). Des travaux récents ont démontré des relations entre le phoque annelé et des facteurs climatiques comme l'oscillation arctique (Houde *et al.* 2020).

Un examen minutieux de l'écologie de l'alimentation, de l'utilisation de l'habitat et des concentrations de mercure chez le béluga de l'est de la mer de Beaufort a révélé des relations importantes déterminées par des associations de taille, de sexe et d'âge (Loseto *et al.* 2006, 2008a, 2009). Par exemple, les bélugas mâles de grande taille qui utilisaient des habitats hauturiers « risqués » ayant de fortes concentrations de glace de mer avaient un régime alimentaire riche en morue arctique et des niveaux de mercure plus élevés que les bélugas de petite taille qui utilisaient des habitats côtiers (Loseto *et al.* 2008a, 2009, Choy *et al.* 2020). Ces observations des déplacements et des stratégies de recherche de nourriture influencés par la taille, le sexe et l'âge doivent être prises en compte lors de la surveillance des tendances des contaminants (Loseto *et al.* 2008a, Douglas *et al.* 2012).

Au début des années 2000, la collectivité de Paulatuk a chassé le béluga plus fréquemment et en plus grand nombre, probablement en raison de l'accessibilité accrue liée aux tendances changeantes de la glace de mer et à la prolongation des saisons d'eau libre (Harwood *et al.* 2015a, Loseto *et al.* 2018b). Bien que les bélugas capturés dans la baie Darnley proviennent de la même population de l'est de la mer de Beaufort que ceux capturés près de l'île Hendrickson, des recherches effectuées en 2005 ont montré des différences dans les concentrations de mercure, les marqueurs alimentaires et d'autres mesures biologiques (Loseto *et al.* 2008a). Cela a soulevé de nouvelles questions au sujet de la variabilité de la population et de son utilisation de l'habitat. À la suite des nouvelles questions soulevées par la collectivité de Paulatuk, un programme de prélèvement de tissus axé sur les contaminants a été lancé en 2011. En 2012, le CCT de Paulatuk et le MPO ont obtenu des fonds pour commencer à surveiller les concentrations de mercure dans les bélugas capturés ainsi que les biomarqueurs alimentaires (c.-à-d. les isotopes stables et les acides gras) dans le cadre du projet intitulé « Bélugas de Paulatuk : la santé et le savoir ». Bien que le Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord ait cessé de financer le projet en 2015, la surveillance des contaminants s'est poursuivie avec l'appui du MPO et du CMGP. Au total, on a analysé des tissus de bélugas (foie, peau, muscles) pendant 11 ans pour déterminer les concentrations de mercure (1993, 2005, 2011 à 2016, 2018, 2019, 2020). On n'a pas pu prélever d'échantillons en 2017 parce qu'aucun béluga n'a été capturé, et des données supplémentaires sont en attente pour 2018 à 2020. Les concentrations de mercure chez le béluga qui ont été mesurées à Paulatuk étaient généralement semblables aux concentrations mesurées près de l'île Hendrickson, contrairement à ce qui a été observé en 2005 (Ruben *et al.* 2015). Aucune tendance n'a été observée dans les concentrations de mercure mesurées de 2005 à 2015 (n = six ans), mais les ajouts récents de données pour 2018 à 2020 permettront une analyse décennale.

Comme les vertébrés peuvent métaboliser les HAP, les concentrations chez les espèces de niveau trophique supérieur, comme le béluga, sont extrêmement faibles (Muir *et al.* 1992). Des échantillons de bélugas capturés en 2005 près des îles Hendrickson et Kendal, dans la ZPM de Tarium Niruyait, ont été analysés pour trouver 37 composés d'HAP, qui n'étaient pas tous détectables (Wetzel *et al.* 2007). Des échantillons de bélugas ont également été évalués pour déterminer la prévalence des effets métaboliques associés à l'exposition (adduits à l'ADN liés aux HAP) et ont indiqué une exposition et des effets faibles à nuls (Poirier *et al.* 2018). Toutefois, des traces d'HAP ont été décelées dans plusieurs échantillons de phoques annelés du havre Tuktoyaktuk analysés (Wetzel *et al.* 2007).

L'accident nucléaire de Fukushima en 2011 a incité l'analyse d'échantillons de bélugas de l'est de la mer de Beaufort capturés près de l'île Hendrickson afin d'évaluer les niveaux d'exposition au rayonnement avant (2010) et après (2011) l'accident. Le principal radionucléide posant

problème était le césium 137 (¹³⁷Cs), qui a une période radioactive de 30 ans et est un substitut du potassium dans les systèmes biologiques, ce qui rend facile son accumulation dans les plantes et les animaux. Les résultats ont révélé que l'accident de Fukushima n'a pas entraîné d'augmentation de la radioactivité provenant du panache atmosphérique de l'accident (Stocki *et al.* 2016). Il est important de noter que même si le panache atmosphérique de Fukushima s'est propagé vers l'ouest de l'Arctique, sans effets mesurés sur le béluga, il existe aussi un panache aquatique qui n'a pas été évalué.

Des tractus gastro-intestinaux et des excréments ont été prélevés sur sept bélugas capturés à l'île Hendrickson, près de Tuktoyaktuk, afin d'étudier l'ingestion potentielle de microplastiques par la population de béluga de l'est de la mer de Beaufort (Moore *et al.* 2019). Des microplastiques ont été détectés dans les tractus gastro-intestinaux de chaque individu échantillonné, mais ils n'étaient pas de taille suffisante pour causer des obstructions intestinales et on pensait qu'ils provenaient du transfert trophique par des proies plutôt que d'une consommation délibérée (Moore *et al.* 2019). Cinq espèces de poissons prises au cours de l'été 2017 et 2018 à la pointe Shingle dans la ZPM de Tarium Niryutait et au large de la mer de Beaufort ont été analysées pour détecter la présence de microplastiques, y compris la morue arctique (*Boreogadus saida*), le navaga jaune (*Eleginus gracilis*), le cisco arctique (*Coregonus autumnalis*), le chaboisseau à quatre cornes (*Myoxocephalus quadricornis*) et le capelan (*Mallotus villosus*) [Moore 2020]. Des microplastiques ont été détectés chez les cinq espèces de poissons; en moyenne, 21 % de tous les échantillons examinés contenaient des polymères de plastique, avec une abondance moyenne de $1,42 \pm 0,44$ particule par individu. Aucune particule de plus de cinq millimètres n'a été trouvée, et 78 % des particules observées étaient des fibres (Moore 2020). Des échantillons d'invertébrés benthiques, de poissons et de zooplancton ont été prélevés près de la ZPMAN ou à l'intérieur de celle-ci dans le cadre du programme Arctic Coast et de l'EEM-MBC à l'aide de méthodes propices à d'éventuelles études sur les microplastiques (D. McNicholl, A. Majewski, A. Ehrman et A. Niemi, MPO, comm. pers.). D'autres recherches sont nécessaires pour déterminer la prévalence des microplastiques dans les proies des mammifères marins et le potentiel de transfert trophique.

7.2.2. Stratégies et application

L'échantillonnage de tissus pour le mercure et les contaminants organiques devrait être intégré aux activités de prélèvement existantes sur le terrain, comme les programmes de surveillance des captures, ou encore aux programmes d'échantillonnage conçus pour les indicateurs liés à l'intégrité biologique et du réseau trophique dans le cadre du programme de surveillance (p. ex., Sections 6.1, 6.7 et 6.8). Cet indicateur représente donc une « valeur ajoutée » des programmes d'échantillonnage.

De nombreuses approches normalisées de mesure des contaminants existent et ont été adoptées dans les programmes d'échantillonnage existants. Il est recommandé d'échantillonner les principaux tissus des mammifères marins capturés dans la ZPMAN, soit les muscles, le foie et la peau, pour la surveillance du mercure (le foie reflète la charge de mercure au cours de toute la vie tandis que la peau et les muscles reflètent des expositions alimentaires plus récentes) et la graisse et le foie pour la surveillance des contaminants organiques. Il est à noter que les charges de contaminants mesurées chez les mammifères marins peuvent refléter des processus qui se déroulent à l'extérieur de la ZPMAN, mais elles fourniront tout de même un contexte pour comprendre la santé et la vulnérabilité des mammifères marins, et pour le transport des contaminants jusqu'à la ZPMAN. Par conséquent, il est recommandé de mesurer la même série de contaminants chez quelques espèces fourragères clés afin de comprendre le risque d'exposition alimentaire au sein de la ZPMAN, qui peut être particulièrement important pour les mammifères marins résidents (p. ex., le phoque barbu) et pour déterminer l'exposition

relative des mammifères marins migrateurs à l'intérieur et à l'extérieur de la ZPMAN. Compte tenu de la variabilité connue du comportement alimentaire et, par conséquent, de l'exposition aux contaminants, il est important de recueillir des données à l'appui sur la taille, le sexe et l'âge, ainsi que des renseignements sur les biotraceurs trophiques (isotopes stables, acides gras) pour les mammifères marins et les espèces fourragères. Des appareils d'échantillonnage spécialisés ne sont pas nécessaires pour la collecte des échantillons et la conservation dans des congélateurs coffres courants est suffisante.

Les contaminants présents dans les échantillons de tissus présentent de faibles taux de dégradation pendant l'entreposage et peuvent donc être recueillis, archivés et analysés plus tard si des fonds ne sont pas immédiatement disponibles. Il est impossible de prédire le moment d'apparition et la présence d'une menace future. L'archivage de tissus pour d'éventuelles analyses futures est conforme à une approche prospective de la surveillance, permettant des études rétrospectives qui peuvent reconstituer les niveaux de contaminants avant qu'une menace n'apparaisse (voir aussi la *Section 5.3* sur l'archivage de sédiments en vue d'une éventuelle exposition future aux contaminants dans l'environnement).

L'évaluation de la menace possible que représentent les plastiques dans les océans pour les espèces marines a été inscrite comme une priorité par le groupe de travail sur la ZPMAN. Il convient de noter que cela reste une question de recherche et qu'il n'est pas certain qu'elle doive être incluse comme objectif de surveillance. Peu de recherches ont encore été publiées sur la prévalence des microplastiques dans le milieu marin de l'ouest de l'Arctique, en particulier chez les animaux de niveau trophique supérieur. Les répercussions sur la santé de l'ingestion de microplastiques aux concentrations observées dans les écosystèmes naturels demeurent incertaines pour les animaux de niveau trophique supérieur (p. ex., Carbery *et al.* 2018, examiné dans Moore *et al.* 2019). Des groupes de travail d'experts (p. ex., programme de surveillance et de recherche dans l'Arctique) sont en train d'élaborer des méthodes normalisées de prélèvement d'échantillons de microplastiques chez les mammifères marins qui sont facilement contaminés. En raison de la taille des mammifères marins, diverses approches ont été utilisées, notamment la prise de portions d'intestin, l'examen de l'estomac et l'utilisation de matières fécales. Récemment, le programme de surveillance du béluga à l'île Hendrickson dans la ZPM de Tarrum Nirvutait s'est concentré sur le prélèvement de matières fécales lorsqu'elles sont disponibles, et a commencé à offrir cette option dans toutes les trousse de surveillance du béluga. Ces méthodes peuvent être modifiées pour tenir compte des approches mises à jour et peuvent comprendre l'échantillonnage de l'extrémité du côlon contenant des matières fécales (Moore *et al.* 2019). Il est important de noter qu'on sait peu de choses sur les taux de bioaccumulation ou d'excrétion de ces composés, ou s'ils présentent un problème. Il est recommandé que les tissus ou les matières fécales échantillonnés pour mesurer les concentrations de microplastiques soient archivés en vue d'une analyse future lorsque des fonds seront disponibles et que l'on comprendra mieux leurs effets.

Au moment de choisir la série de contaminants organiques à surveiller, il faut tenir compte de ceux qui sont actuellement surveillés dans la ZPM de Tarrum Nirvutait. La capacité d'établir des comparaisons entre le mercure, les contaminants organiques et les microplastiques dans deux ZPM qui représentent deux environnements très différents peut s'avérer utile lorsqu'il est question des sources et du devenir des contaminants.

7.3. AUTRES CONSIDÉRATIONS RELATIVES AUX MENACES

Le plan de surveillance axé sur l'avenir devrait demeurer souple afin d'intégrer de nouveaux indicateurs des menaces anthropiques prévisibles. Autrement, il est probable qu'il manque de données pour produire une base de référence crédible par rapport à laquelle les effets d'une menace peuvent être mesurés (p. ex., forage en mer, exploitation minière près des côtes,

construction portuaire ou dragage). Par exemple, même si cela dépassait la portée du présent examen, l'évaluation des agents pathogènes et des parasites chez les mammifères marins a été ciblée au cours de la réunion consultative scientifique de 2020 comme un indicateur potentiellement important à intégrer dans le futur plan de surveillance, puisque la santé des mammifères marins aura d'importantes conséquences de haut en bas sur le réseau trophique de la ZPMAN. Si elle est choisie à l'avenir, la normalisation avec les indicateurs de santé qui ont été évalués et approuvés pour la surveillance dans la ZPM de Tarium Nirjutait devrait être une considération clé.

Les indicateurs recommandés pour fournir le contexte environnemental (*Section 5*) et ceux qui indiquent l'intégrité biologique et du réseau trophique (*Section 6*) demeureront applicables à l'évaluation des objectifs de conservation, peu importe les menaces particulières qui peuvent avoir une incidence sur l'écosystème. Toutefois, il est recommandé que les indicateurs liés aux agents de stress et aux menaces (*Section 7*) soient traités comme étant modulables; leur applicabilité devrait être réévaluée régulièrement, et des indicateurs devraient être ajoutés ou supprimés à mesure que les menaces deviennent imminentes ou sont résolues. Certains peuvent être semi-permanents, comme la surveillance des agents pathogènes chez les mammifères marins capturés. D'autres ne s'appliquent que pendant quelques années pour la surveillance d'une activité à court terme.

8. ÉVÉNEMENTS ÉCOLOGIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX INHABITUELS

Il devrait exister un moyen par lequel les résidents peuvent consigner et fournir une documentation (photographies, etc.) des observations qui semblent importantes sur le plan écologique ou qui indiquent un changement écosystémique, mais qui sont rares et ne se situent pas dans une autre catégorie d'indicateurs. Il est également utile d'enregistrer les conditions environnementales inhabituelles, car elles peuvent donner un aperçu des événements écologiques. Ces données seraient généralement considérées comme non quantitatives et ne constitueraient pas un indicateur en soi, mais elles seraient utilisées pour signaler les préoccupations potentielles qui nécessitent un examen plus approfondi, pour fournir un contexte qui pourrait être important pour comprendre d'autres données recueillies ou pour stimuler la recherche dans un domaine. Il sera important de définir ce qui est et n'est pas considéré comme un événement inhabituel pour déterminer les types de renseignements consignés.

Les événements écologiques et environnementaux inhabituels qui se produisent à l'extérieur de la ZPMAN peuvent également être pertinents pour la planification ou pour fournir un contexte pour les observations au sein de la ZPMAN, comme les comportements inhabituels des mammifères marins ou leur mortalité, ou l'abondance anormalement élevée d'une espèce en particulier. Le fait de disposer d'un point de contact au sein des collectivités pour signaler et enregistrer ces observations parallèlement à d'autres indicateurs dans le plan de surveillance permettra de veiller à ce que l'information soit disponible pour fournir un contexte lorsque les données sont analysées.

9. CONNECTIVITÉ ENTRE LES INDICATEURS ET LES PROGRAMMES

Aucun indicateur de surveillance abordé ici n'est censé être autonome. Comme les différentes composantes de l'écosystème sont reliées, les indicateurs destinés à les surveiller le sont aussi. Bien que des indicateurs individuels puissent être suffisants pour mettre à l'essai des hypothèses concernant les tendances temporelles ou spatiales pour une seule composante de l'écosystème, aucun ne peut fournir suffisamment d'information pour mettre à l'essai des hypothèses sur les facteurs sous-jacents d'un changement ni des contextes plus vastes des conséquences des changements. Par conséquent, la sélection des indicateurs qui seront inclus

dans le plan de surveillance pour la ZPMAN devrait tenir compte de la façon dont les indicateurs individuels peuvent s'appuyer les uns sur les autres dans un cadre de mise à l'essai d'hypothèses. Les données disponibles devraient permettre non seulement de désigner les corrélations potentielles, mais aussi de tester et de rejeter des hypothèses concurrentes. Par exemple, si l'abondance de l'omble chevalier diminue, les données disponibles devraient permettre de distinguer plusieurs explications possibles, comme la disponibilité des proies (surveillée par la composition de la communauté de poissons côtiers), la concurrence potentielle avec les espèces nouvellement arrivées (surveillée par la présence d'espèces potentiellement colonisatrices), les niveaux de capture (surveillés par les programmes communautaires de surveillance des prises), les conditions environnementales inadéquates au cours d'une année donnée (surveillées par une série d'indicateurs environnementaux de base) ou un cycle naturel de la démographie de la population (surveillé par des évaluations intermittentes des stocks à long terme).

Les contraintes sur le plan du temps, des ressources, du financement, du personnel et de l'expertise soulignent la nécessité que le plan de surveillance soit mis en œuvre efficacement. Un écueil courant des programmes de surveillance à long terme est leur prolongation excessive. L'examen actuel démontre que des données substantielles susceptibles d'appuyer le plan de surveillance de la ZPMAN ont été recueillies dans la région et continueront de l'être. Cependant, il y a des lacunes évidentes dans les données, et la collecte de données a été discontinuée. Une plus grande interconnexion est nécessaire entre les frontières perçues de l'écosystème (p. ex., les zones côtières et extracôtières), les composantes écosystémiques, les programmes de recherche et de surveillance et les organisations. L'accès à l'information et le regroupement des renseignements au-delà des frontières seront à la fois un défi et une occasion. La mise à profit des programmes de recherche et de surveillance mis en œuvre hors du contrôle direct des organismes de gestion de la ZPMAN constituera une stratégie clé pour certains indicateurs. Dans certains cas, il sera essentiel d'accéder aux données et aux renseignements recueillis à une échelle spatiale supérieure à celle de la ZPMAN pour accroître la portée et la valeur contextuelle des données de surveillance (p. ex., pour le béluga et la baleine boréale, des espèces migratrices). Dans d'autres cas, le partenariat avec des programmes de collecte de données établis optimisera l'efficacité en ce qui concerne l'expertise, le temps et le financement (p. ex., programme Arctic Coast, programmes de surveillance de l'omble chevalier des rivières Hornaday et Brock). La poursuite ou le lancement d'analyses de surveillance pertinentes à partir d'échantillons existants (p. ex., poissons) et de données (p. ex., cartes des glaces, renseignements sur les prises) peuvent être une stratégie clé pour établir des conditions de référence, accumuler des données de surveillance et élaborer des recherches pour mieux comprendre le réseau et fournir un contexte écologique fondamental pour la surveillance.

10. PRINCIPALES SYNERGIES ET ÉCONOMIES POUR LES PROGRAMMES D'ÉCHANTILLONNAGE

- La transition entre les eaux intérieures désalinisées de la baie Darnley et les eaux océaniques entourant le cap Parry régit la disponibilité de l'habitat pour certaines communautés d'organismes marins. Tous les indicateurs ne s'appliqueront pas à l'ensemble de la ZPMAN et, dans bien des cas, les stratégies et les indices les mieux adaptés pour surveiller un indicateur peuvent différer entre les régimes écosystémiques du nord et du sud. Il peut être stratégique d'élaborer des sous-composantes du plan de surveillance pour le nord et le sud, ou pour les zones hauturières et côtières, en prenant soin d'utiliser des méthodes comparables pour étudier la connectivité entre les diverses sous-régions.

-
- L'échantillonnage des indicateurs ci-dessous peut et doit être intégré dans un seul programme d'échantillonnage sur le terrain.
 - Paramètres océanographiques fondamentaux et concentrations de nutriments (*Section 5.1*)
 - Producteurs primaires associés à la glace, vivant sous la glace et vivant en eau libre (*Section 6.2*)
 - Apports en eau douce et liens terrestres (*Section 5.5*)
 - Composition, structure et fonction de la communauté de zooplancton (*Section 6.3*) aux sites principaux.
 - L'échantillonnage pour établir la composition, la structure et la fonction des communautés d'invertébrés benthiques (*Section 6.4*) et de poissons benthiques côtiers et hauturiers (*Section 6.5*) peut être effectué au moyen d'un seul programme d'échantillonnage selon le type d'engin choisi (p. ex., un petit traîneau benthique avec un cul de chalut capturera les deux types d'organismes si les caractéristiques du filet sont ajustées pour le faire). Même si différents engins d'échantillonnage sont choisis pour les poissons et les invertébrés benthiques, un échantillonnage aux mêmes endroits maximisera l'établissement de liens entre les communautés. Idéalement, les paramètres océanographiques fondamentaux (profils CTP) seraient mesurés à des emplacements d'échantillonnage biologique. Dans la mesure du possible, les caractéristiques de l'habitat des sédiments (*Section 5.3*) devraient également être échantillonnées aux emplacements d'échantillonnage des poissons benthiques et des invertébrés.
 - Les données sur la composition des sédiments recueillies pour éclairer l'indicateur sur la répartition de l'habitat benthique (taille des grains de sédiments, teneur en matières organiques, pigments benthiques, $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$, rapport carbone-azote) peuvent également être utilisées pour fournir des renseignements sur le couplage benthique-pélagique (*Section 6.2*), la circulation de l'eau et les vitesses de courant (*Section 5.1*), les changements côtiers (*Section 5.6*) et l'étendue et la dominance des nutriments d'origine terrestre dans les zones côtières (*Section 5.5*).
 - L'échantillonnage des biomarqueurs trophiques (*Section 6.1*) peut se produire simultanément lorsque l'échantillonnage porte sur la composition, la fonction et la structure des communautés de producteurs primaires (*Section 6.2*), de zooplancton (*Section 6.3*), d'invertébrés benthiques (*Section 6.4*), de poissons côtiers et hauturiers (*Section 6.5*), de poissons-proies (*Section 6.6*) et de poissons anadromes (*Section 6.7*). L'échantillonnage des biomarqueurs trophiques chez les mammifères marins peut se faire au moment de la capture si les chasseurs sont disposés à fournir des échantillons (*Section 6.11*).
 - Des observatoires amarrés peuvent abriter des instruments qui fourniront des renseignements sur de multiples indicateurs simultanément, y compris la totalité ou un sous-ensemble des paramètres océanographiques fondamentaux, les observations hydroacoustiques de poissons pélagiques, du zooplancton et de la glace en dérive, la surveillance acoustique du bruit de fond, les vocalisations de poissons et de mammifères marins et le bruit sous-marin d'origine anthropique.
 - Il est possible de maximiser l'efficacité de l'échantillonnage et l'utilité des données en collaborant avec les programmes pour échantillonner des emplacements uniformes d'une saison ou d'une année à l'autre pour de multiples indicateurs. Une approche par étapes pourrait être adoptée, où un ensemble de principaux sites de surveillance à long terme est établi pour l'échantillonnage à l'échelle temporelle la plus fréquente, et un ou des ensembles de sites supplémentaires sont surveillés moins fréquemment. L'archivage et la conservation des échantillons (p. ex., séchage, congélation ou conservation au moyen de
-

produits chimiques) sont une option pour la plupart des indicateurs lors des années où des fonds pour les analyses de surveillance ne sont pas immédiatement disponibles. De plus, l'archivage de quelques échantillons « supplémentaires » permettrait d'effectuer des analyses rétroactives futures pour répondre à de nouvelles questions de surveillance ou utiliser de nouvelles technologies. Cependant, l'archivage d'échantillons peut nécessiter de l'espace. Les choix d'archivage, tant en termes de contenu qu'en termes de provenance, doivent être soigneusement considérés pour maximiser l'incidence tout en minimisant les besoins en espace. Les tissus d'animaux, les sédiments et l'ADNe archivés sont probablement les plus prometteurs.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les personnes suivantes d'avoir fourni des renseignements ou du texte relatifs à des renseignements publiés et non publiés sur la ZPMAN et les eaux adjacentes, ainsi que des commentaires quant à la rédaction du document (par ordre alphabétique) : Steven Alexander, Burton Ayles, Jasmine Brewster, Valerie Cypihot, Mike Dempsey, Jane Eert, Colin Gallagher, Lois Harwood, Kimberly Howland, John Iacozza, Stephen Insley, Ellen Lea, Andrew Majewski, Marianne Marcoux, Neda Mehdipour, Laura Murray, Andrea Niemi, Kate Snow, Nadja Steiner, Erica Wall, Dustin Whalen, et David Yurkowski. Merci à Shannon MacPhee pour ses commentaires sur la surveillance du réseau d'aires marines protégées, à Kayla Hansen-Craik du Secrétariat mixte pour la vérification de l'information sur les programmes de surveillance communautaire, à Kayla Gagliardi pour son soutien à la rédaction, au groupe de travail sur la ZPMAN pour la permission d'utiliser plusieurs figures également contenus dans leur projet de plan de surveillance non publié, et aux participants du SCAS pour leurs commentaires.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Addison, R.F., Muir, D.C.G., Ikonomou M.G., Harwood, L., Smith, T.G. 2009. Hexachlorocyclohexanes (HCH) in ringed seal (*Phoca hispida*) from Ulukhaktok (Holman), NT: trends from 1978 to 2006. *Sci. Tot. Environ.* 407 (18) : 5139–5146.
- Allen, B.M., and Angliss, R.P. 2011. Alaska marine mammal stock assessments, 2010. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-223 : 292 p.
- AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) 2011. AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Oslo, Norway. xiv + 193 p.
- AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). 2017. Adaptation actions for a changing Arctic: Perspectives from the Bering-Chukchi-Beaufort region. Oslo, Norway. xiv + 255 p.
- Addison, R.F., Ikonomou, M.G., Fernandez, M.P., and Smith, T.G. 2005. PCDD/F and PCB concentrations in Arctic ringed seals (*Phoca hispida*) have not changed between 1981 and 2000. *Sci. Total Environ.* 351–352: 301–311. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.04.051.
- Addison, R.F., Muir, D.C., Ikonomou, M.G., Harwood, L., Smith, T.G., and Alikamik, J. 2014. Temporal trends in “legacy” organochlorine contaminants in blubber of ringed seals (*Phoca hispida*) from Ulukhaktok, NT, Canada between 1972 and 2010. *Sci. Total Environ.* 466–467: 564–576. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.07.079.
- Amstrup, S.C., and Gardner, C. 1994. Polar bear maternity denning in the Beaufort Sea. *J. Wildl. Manage.* 58(1): 1–10.

-
- Ardyna, M., Gosselin, M., Michel, C., Poulin, M., and Tremblay, J.-É. 2011. Environmental forcing of phytoplankton community structure and function in the Canadian High arctic: Contrasting oligotrophic and eutrophic regions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 442: 37–57. doi:10.3354/meps09378.
- Arrigo, K. R., Perovich, D. K., Pickart, R. S., Brown, Z. W., van Dijken, G. L., Lowry, K. E., Mills, M.M., Palmer, M.A., Balch, W.M., Bahr, F., Bates, N.R., Benitez-Nelson, C., Bowler, B., Brownlee, E., Ehn, J.K., Frey, K.E., Garley, R., Laney, S.R., Lubelczyk, L., Mathis, J., Matsuoka A., Mitchell, B.G., Moore, G.W.K., Ortega-Retuerta, E., Pal, S., Polashenski, C.M., Reynolds, R.A., Schieber, B., Sosik, H.M., Stephens, M., and Swift, J.H. 2012. Massive phytoplankton blooms under Arctic sea ice. *Science* 336(6087): 1408.
- Asselin, N.C., Barber, D.G., Stirling, I., Ferguson, S.H., and Richard, P.R. 2011. Beluga (*Delphinapterus leucas*) habitat selection in the eastern Beaufort Sea in spring, 1975-1979. *Polar Biol.* 34 (12) : 1973 –1988. doi:10.1007/s00300-011-0990-5.
- Barber, D.G., Asplin, M.G., Gratton, Y., Lukovich, J. V, Galley, R.J., Raddatz, R.L., and Leitch, D. 2010. The International Polar Year (IPY) Circumpolar Flaw Lead (CFL) system study: Overview and the physical system. *Atmos.-Ocean* 48(4): 225–243. doi:10.3137/OC317.2010.
- Barber, D.G., Saczuk, E., and Richard, P.R. 2001. Examination of beluga-habitat relationships through the use of telemetry and a geographic information system. *Arctic* 54(3): 305–316. doi:10.14430/arctic790.
- Basedow, S.L., Tande, K.S., and Zhou, M. 2010. Biovolume spectrum theories applied: spatial patterns of trophic levels within a mesozooplankton community at the polar front. *J. Plankton Res.* 32(8): 1105–1119. doi:10.1093/plankt/fbp110.
- Beaugrand, G., Conversi, A., Atkinson, A., Cloern, J., Chiba, S., Fonda-Umani, S., Kirby, R.R., Greene, C.H., Goberville, E., Otto, S.A., Reid, P.C., Stemmann, L., and Edwards, M. 2019. Prediction of unprecedented biological shifts in the global ocean. *Nat. Clim. Chang.* 9(3): 237–243. doi:10.1038/s41558-019-0420-1.
- Benoit, D., Simard, Y., and Fortier, L. 2008. Hydroacoustic detection of large winter aggregations of Arctic cod (*Boreogadus saida*) at depth in ice-covered Franklin Bay (Beaufort Sea). *J. Geophys. Res. Ocean.* 113(6). doi:10.1029/2007JC004276.
- Benoit, D., Simard, Y., Gagné, J., Geoffroy, M., and Fortier, L. 2010. From polar night to midnight sun: Photoperiod, seal predation, and the diel vertical migrations of polar cod (*Boreogadus saida*) under landfast ice in the Arctic Ocean. *Polar Biol.* 33(11): 1505–1520. doi:10.1007/s00300-010-0840-x.
- Blais, M., Ardyna, M., Gosselin, M., Dumont, D., Bélanger, S., Tremblay, J.É., Gratton, Y., Marchese, C., and Poulin, M. 2017. Contrasting interannual changes in phytoplankton productivity and community structure in the coastal Canadian Arctic Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 62(6): 2480–2497. doi:10.1002/lno.10581.
- Blanchard, J.L., Law, R., Castle, M.D., and Jennings, S. 2011. Coupled energy pathways and the resilience of size-structured food webs. *Theor. Ecol.* 4: 289–300. doi:10.1007/s12080-010-0078-9.
- Bluhm, B.A., and Gradinger, R. 2008. Regional variability in food availability for Arctic marine mammals. *Ecol. Appl.* 18 (2) : S77–S96.

-
- Boguski, D. A., Gallagher, C.P., Howland, K. L., et Harris, L. N. 2016. [Analyse d'identification génétique des stocks et de la pêche de stocks mélangés d'omble chevalier \(*Salvelinus alpinus*\) dans la baie Darnley, dans les Territoires du Nord-Ouest](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2015/023. v + 18 p.
- Borja, A., Franco, J., and Pérez, V. 2000. A marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Mar. Pollut. Bull.* 40(12): 1100–1114. doi:10.1016/S0025-326X(00)00061-8.
- Bouchard, C., Geoffroy, M., LeBlanc, M., Majewski, A., Gauthier, S., Walkusz, W., Reist, J.D., and Fortier, L. 2017. Climate warming enhances polar cod recruitment, at least transiently. *Prog. Oceanogr.* 156: 121–129. doi:10.1016/j.pocean.2017.06.008.
- Bourgeois, S., Archambault, P., and Witte, U. 2017. Organic matter remineralization in marine sediments: A Pan-Arctic synthesis. *Global Biogeochem. Cycles* 31(1): 190–213. doi:10.1002/2016GB005378.
- Bradney, L., Wijesekara, H., Palansooriya, K.N., Obadamudalige, N., Bolan, N.S., Ok, Y.S., Rinklebe, J., Kim, K.H., and Kirkham, M.B. 2019. Particulate plastics as a vector for toxic trace-element uptake by aquatic and terrestrial organisms and human health risk. *Environ. Int.* 131: 104937. doi:10.1016/j.envint.2019.104937.
- Braune, B.M., Outridge, P.M., Fisk, A.T., Muir, D.C.G., Helm, P.A., Hobbs, K., Hoekstra, P.F., Kuzyk, Z.A., Kwan, M., Letcher, R.J., Lockhart, W.L., Norstrom, R.J., Stern, G.A., and Stirling, I. 2005. Mercury in marine biota of the Canadian Arctic: An overview of spatial and temporal trends. *Sci. Total Environ.* 351–352: 4–56. doi:10.1016/j.scitotenv.2004.10.034.
- Braune, B., Chételat, J., Amyot, M., Brown, T., Clayden, M., Evans, M., Fisk, A., Gaden, A., Girard, C., Hare, A., Kirk, J., Lehnher, I., Letcher, R., Loseto, L., Macdonald, R., Mann, E., McMeans, B., Muir, D., O'Driscoll, N., Poulain, A., Reimer, K., and Stern, G. 2015. Mercury in the marine environment of the Canadian Arctic: Review of recent findings. *Sci. Total Environ.* 509-510: 67-90.
- Brewster, J.D., Giraldo, C., Swanson, H., Walkusz, W., Loewen, T.N., Reist, J.D., Stern, G.A., and Loseto, L.L. 2016. Ecological niche of coastal Beaufort Sea fishes defined by stable isotopes and fatty acids. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 559: 159–173. doi:10.3354/meps11887.
- Brodeur, R.D., Mills, C.E., Overland, J.E., Walters, G.E., and Schumacher, J.D. 1999. Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change. *Fish. Oceanogr.* 8(4): 296–306. doi:10.1046/j.1365-2419.1999.00115.x.
- Brown, T.M., Edinger, E.N., Hooper, R.G., and Belliveau, K. 2011. Benthic marine fauna and flora of two nearshore coastal locations in the western and central Canadian Arctic. *Arctic* 64(3): 281–301. doi:10.14430/arctic4119.
- Brown, T.M., Macdonald, R.W., Muir, D.C.G., and Letcher, R.J. 2018. The distribution and trends of persistent organic pollutants and mercury in marine mammals from Canada's Eastern Arctic. *Sci. Total Environ.* 618 : 500–517.
- Carbery, M., O'Conner, W., Thavamani, P. 2018. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environ. Int.* 115 : 400–409.
- Campbell, K., Mundy, C.J., Barber, D.G., and Gosselin, M. 2015. Characterizing the sea ice algae chlorophyll a-snow depth relationship over Arctic spring melt using transmitted irradiance. *J. Mar. Syst.* 147: 76–84. doi:10.1016/j.jmarsys.2014.01.008.

-
- Carmack, E., Barber, D., Christensen, J., Macdonald, R., Rudels, B., and Sakshaug, E. 2006. Climate variability and physical forcing of the food webs and the carbon budget on panarctic shelves. *Prog. Oceanogr.* 71(2–4): 145–181. doi:10.1016/j.pocean.2006.10.005.
- Chambers, C., and MacDonell, D. 2012. The Ecological Overview and Assessment Report for the Anuniaqvia niqiyuam Area of Interest. North/South Consultants Inc., Winnipeg, MB. x + 117 p.
- Chan, F.T., Macisaac, H.J., and Bailey, S.A. 2015. Relative importance of vessel hull fouling and ballast water as transport vectors of nonindigenous species to the Canadian Arctic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 72(8): 1230–1242. doi:10.1139/cjfas-2014-0473.
- Chavarie, L., Reist, J.D., Guzzo, M.M., Harwood, L., and Power, M. 2019. Influences of environmental variation on anadromous Arctic charr from the Hornaday River, NWT. *Hydrobiologia* 840(1): 157–172. doi:10.1007/s10750-018-3828-0.
- Choy, E.S., Rosenberg, B., Roth, J.D., and Loseto, L.L. 2017. Inter-annual variation in environmental factors affect the prey and body condition of beluga whales in the eastern Beaufort Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 579: 213–225. doi:10.3354/meps12256.
- Choy, E.S., Campbell, K.L., Berenbrink, M., Roth, J.D., and Loseto, L.L. 2019. Body condition impacts blood and muscle oxygen storage capacity of free-living beluga whales (*Delphinapterus leucas*). *J. Exp. Biol.* 222(11): jeb191916. doi:10.1242/jeb.191916.
- Choy, E., Giraldo, C., Rosenberg, B., Roth, J., Ehrman, A., Majewski, A., Swanson, H., Power, M., Reist, J., and Loseto, L. 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.
- Clark, M.R., Althaus, F., Schlacher, T.A., Williams, A., Bowden, D.A., and Rowden, A.A. 2016. The impacts of deep-sea fisheries on benthic communities: A review. *ICES J. Mar. Sci.* 73: i51–i69. doi:10.1093/icesjms/fsv123.
- Cochrane, S.K.J., Denisenko, S.G., Renaud, P.E., Emblow, C.S., Ambrose, W.G.J., Ellingsen, I.H., and Skarðhamar, J. 2009. Benthic macrofauna and productivity regimes in the Barents Sea - Ecological implications in a changing Arctic. *J. Sea Res.* 61(4): 222–233. doi:10.1016/j.seares.2009.01.003.
- Conlan, K., Aitken, A., Hendrycks, E., McClelland, C., and Melling, H. 2008. Distribution patterns of Canadian Beaufort Shelf macrobenthos. *J. Mar. Syst.* 74(3–4): 864–886. doi:10.1016/j.jmarsys.2007.10.002.
- Conlan, K., Hendrycks, E., Aitken, A., Williams, B., Blasco, S., and Crawford, E. 2013. Macrofaunal biomass distribution on the Canadian Beaufort Shelf. *J. Mar. Syst.* 127: 76–87. doi:10.1016/j.jmarsys.2013.07.013.
- Connelly, T.L., Deibel, D., and Parrish, C.C. 2012. Elemental composition, total lipid content, and lipid class proportions in zooplankton from the benthic boundary layer of the Beaufort Sea shelf (Canadian Arctic). *Polar Biol.* 35(6): 941–957. doi:10.1007/s00300-011-1142-7.
- Connelly, T.L., Deibel, D., and Parrish, C.C. 2014. Trophic interactions in the benthic boundary layer of the Beaufort Sea shelf, Arctic Ocean: Combining bulk stable isotope and fatty acid signatures. *Prog. Oceanogr.* 120: 79–92. doi:10.1016/j.pocean.2013.07.032.

-
- COSEPAC (Comité sur la situation des espèces en péril au Canada). 2009. [Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la baleine boréale *Balaena mysticetus* population des mers de Béring, des Tchouktches et de Beaufort et population de l'est du Canada et de l'ouest du Groenland au Canada – Mise à jour](#). Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, ON. vii + 29 p.
- Coupel, P., Ruiz-Pino, D., Sicre, M.A., Chen, J.F., Lee, S.H., Schiffrine, N., Li, H.L., and Gascard, J.C. 2015. The impact of freshening on phytoplankton production in the Pacific Arctic Ocean. *Prog. Oceanogr.* 131: 113–125. doi:10.1016/j.pocean.2014.12.003.
- Culhane, F.E., Briers, R.A., Tett, P., and Fernandes, T.F. 2019. Response of a marine benthic invertebrate community and biotic indices to organic enrichment from sewage disposal. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 99(8): 1721–1734. doi:10.1017/S0025315419000857.
- Darnis, G., Barber, D.G., and Fortier, L. 2008. Sea ice and the onshore-offshore gradient in pre-winter zooplankton assemblages in southeastern Beaufort Sea. *J. Mar. Syst.* 74(3–4): 994–1011. doi:10.1016/j.jmarsys.2007.09.003.
- Darnis, G., Robert, D., Pomerleau, C., Link, H., Archambault, P., Nelson, R.J., Geoffroy, M., Tremblay, J.-É., Lovejoy, C., Ferguson, S.H., Hunt, B.P. V, and Fortier, L. 2012. Current state and trends in Canadian Arctic marine ecosystems: II. Heterotrophic food web, pelagic-benthic coupling, and biodiversity. *Clim. Change* 115(1): 179–205. doi:10.1007/s10584-012-0483-8.
- Darnis, G., and Fortier, L. 2014. Temperature, food and the seasonal vertical migration of key arctic copepods in the thermally stratified Amundsen Gulf (Beaufort Sea, Arctic Ocean) GE. *J. Plankton Res.* 36(4): 1092–1108. doi:10.1093/plankt/fbu035.
- Darnis, G., Wold, A., Falk-Petersen, S., Graeve, M., and Fortier, L. 2019. Could offspring predation offset the successful reproduction of the arctic copepod *Calanus hyperboreus* under reduced sea-ice cover conditions? *Prog. Oceanogr.* 170: 107–118. doi:10.1016/j.pocean.2018.11.004.
- Davoren, G.K. 2013. Divergent use of spawning habitat by male capelin (*Mallotus villosus*) in a warm and cold year. *Behav. Ecol.* 24(1): 152–161. doi:10.1093/beheco/ars147.
- Dawson, J., Pizzolato, L., Howell, S.E.L., Copland, L., and Johnston, M.E. 2018. Temporal and spatial patterns of ship traffic in the Canadian arctic from 1990 to 2015. *Arctic* 71(1): 15–26. doi:10.14430/arctic4698.
- Degraer, S., Verfaillie, E., Willems, W., Adriaens, E., Vincx, M., and Van Lancker, V. 2008. Habitat suitability modelling as a mapping tool for macrobenthic communities: An example from the Belgian part of the North Sea. *Cont. Shelf Res.* 28(3): 369–379. doi:10.1016/j.csr.2007.09.001.
- Dempson, J.B., Shears, M., Furey, G., and Bloom, M. 2008. Resilience and stability of north Labrador Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, subject to exploitation and environmental variability. *Env. Biol. Fish.* 82: 57–67.
- Dickson, D.L., and Gilchrist, H.G. 2002. Status of marine birds of the southeastern Beaufort Sea. *Arctic* 55(Suppl.1): 46–58. doi:10.14430/arctic734.
- Divoky, G.J., Lukacs, P.M., and Druckenmiller, M.L. 2015. Effects of recent decreases in arctic sea ice on an ice-associated marine bird. *Prog. Oceanogr.* 136: 151–161. doi:10.1016/j.pocean.2015.05.010.

-
- Douglas, T. a., Loseto, L.L., MacDonald, R.W., Outridge, P., Dommergue, A., Poulain, A., Amyot, M., Barkay, T., Berg, T., Chetelat, J., Constant, P., Evans, M., Ferrari, C., Gantner, N., Johnson, M.S., Kirk, J., Kroer, N., Larose, C., Lean, D., Nielsen, T.G., Poissant, L., Rognerud, S., Skov, H., Sørensen, S., Wang, F., Wilson, S., and Zdanowicz, C.M. 2012. The fate of mercury in Arctic terrestrial and aquatic ecosystems, a review. *Environ. Chem.* 9(4): 321–355. doi:10.1071/EN11140.
- Dulvy, N.K., Rogers, S.I., Jennings, S., Stelzenmüller, V., Dye, S.R., and Skjoldal, H.R. 2008. Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas. *J. Appl. Ecol.* 45(4): 1029–1039.
- Dumas, J., Carmack, E., & Melling, H. 2005. Climate change impacts on the Beaufort shelf landfast ice. *Cold Reg. Sci. Tech.* 42(1), 41–51.
- Dunmall, K.M., McNicholl, D.G., and Reist, J.D. 2018. Community-based monitoring demonstrates increasing occurrences and abundances of Pacific salmon in the Canadian Arctic from 2000 to 2017. NPAFC Technical Report No. 11: 87–90. doi:10.23849/npafctr11/87.90.
- ECCC (Environnement et Changement Climatique Canada). 2015. [Atlas des zones côtières sensibles de la région de Beaufort](#). Environnement et Changement Climatique Canada, Gatineau, QC. 405 p.
- Eert, J., Meisterhans, G., Michel, C., Niemi, A., Reist, J., and Williams, W.J. 2015. Physical, chemical and biological oceanographic data from the Beaufort Regional Environmental Assessment: Marine Fishes Project, August-September 2012. *Can. Data Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* 197: vii + 84 p.
- Falk-Petersen, S., Mayzaud, P., Kattner, G., and Sargent, J.R. 2009. Lipids and life strategy of Arctic *Calanus*. *Mar. Biol. Res.* 5(1): 18–39. doi:10.1080/17451000802512267.
- Ferguson, S.H., Stirling, I., and McLoughlin, P. 2005. Climate change and ringed seal (*Phoca hispida*) recruitment in western Hudson Bay. *Mar. Mammal Sci.* 21(1): 121–135. doi:10.1111/j.1748-7692.2005.tb01212.x.
- Filbee-Dexter, K., Wernberg, T., Fredriksen, S., Norderhaug, K.M., and Pedersen, M.F. 2019. Arctic kelp forests: Diversity, resilience and future. *Glob. Planet. Change* 172:1–14. doi:10.1016/j.gloplacha.2018.09.005.
- FJMC (Fisheries Joint Management Committee). 2013. Beaufort Sea Beluga Management Plan. Fourth Amended Printing. Fisheries Joint Management Committee, Inuvik, NT. ix + 44 p.
- Forest, A., Sampei, M., Hattori, H., Makabe, R., Sasaki, H., Fukuchi, M., Wassmann, P., and Fortier, L. 2007. Particulate organic carbon fluxes on the slope of the Mackenzie Shelf (Beaufort Sea): Physical and biological forcing of shelf-basin exchanges. *J. Mar. Syst.* 68(1–2): 39–54. doi:10.1016/j.jmarsys.2006.10.008.
- Forest, A., Tremblay, J.-É., Gratton, Y., Martin, J., Gagnon, J., Darnis, G., Sampei, M., Fortier, L., Ardyna, M., Gosselin, M., Hattori, H., Nguyen, D., Maranger, R., Vaqué, D., Marrasé, C., Pedrós-Alió, C., Sallon, A., Michel, C., Kellogg, C., Deming, J., Shadwick, E., Thomas, H., Link, H., Archambault, P., and Piepenburg, D. 2011. Biogenic carbon flows through the planktonic food web of the Amundsen Gulf (Arctic Ocean): A synthesis of field measurements and inverse modeling analyses. *Prog. Oceanogr.* 91(4): 410–436. doi:10.1016/j.pcean.2011.05.002.
- Fortier, L., Barber, D., and Michaud, J. 2008. On thin ice: A synthesis of the Canadian Arctic Shelf Exchange Study (CASES). Aboriginal Issues Press, Winnipeg, MB. 215 p.
-

-
- Frainer, A., Primicerio, R., Kortsch, S., Aune, M., Dolgov, A. V., Fossheim, M., and Aschan, M.M. 2017. Climate-driven changes in functional biogeography of Arctic marine fish communities. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 114(46): 12202–12207. doi:10.1073/pnas.1706080114.
- Fraker, M.A., and Fraker, P.N. 1979. The 1979 Whale Monitoring Program: Mackenzie Estuary. LGL Ltd. Environmental Research Associates, Sidney, BC. 51 p.
- Fritz, M., Vonk, J.E., and Lantuit, H. 2017. Collapsing Arctic coastlines. *Nat. Clim. Chang.* 7(1): 6–7. doi:10.1038/nclimate3188.
- Gaden, A., Ferguson, S.H., Harwood, L., Melling, H., Stern, G.A. 2009. Mercury trends in Ringed Seals (*Phoca hispida*) from the Western Canadian Arctic since 1973: Associations with length of ice-free season. *Environ. Sci. Technol.* 43(10): 3646–3651.
- Gallagher, C.P., and Dick, T.A. 2010. Historical and current population characteristics and subsistence harvest of Arctic char from the Sylvia Grinnell River, Nunavut, Canada. *N. Am. J. Fish. Manag.* 30 (1) : 126–141.
- Gallagher, C., Howland, K., et Harwood, L. 2017. [Information sur la récolte, les captures par unité d'effort et la biologie de l'omble chevalier \(*Salvelinus alpinus*\) recueillie dans le cadre des programmes de surveillance des pêches de subsistance dans la rivière Hornaday, le ruisseau Lasard et à Tippitiuyak, dans la baie Darnley, dans les Territoires du Nord-Ouest.](#) Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. v + 81 p.
- Galley, R.J., Babb, D., Ogi, M., Else, B.G., Geilfus, N.-X., Crabeck, O., Barber, D.G., and Rysgaard, S. 2016. Replacement of multiyear sea ice and changes in the open water season duration in the Beaufort Sea since 2004. *J. Geophys. Res. Ocean.* 121(3): 1806–1823. doi:10.1002/2015JC011486.
- Gaston, A.J., Woo, K., Hipfner, J.M., and Stirling, B. 2003. Trends in forage fish populations in northern Hudson Bay since 1981, as determined from the diet of nestling Thick-billed Murres *Uria lomvia*. *Arctic* 56(3): 227–233.
- Gaston, A.J., Gilchrist, H.G., and Hipfner, J.M. 2005. Climate change, ice conditions and reproduction in an Arctic nesting marine bird: Brunnich's guillemot (*Uria lomvia* L.). *J. Anim. Ecol.* 74(5): 832–841. doi:10.1111/j.1365-2656.2005.00982.x.
- Geoffroy, M., Robert, D., Darnis, G., and Fortier, L. 2011. The aggregation of polar cod (*Boreogadus saida*) in the deep Atlantic layer of ice-covered Amundsen Gulf (Beaufort Sea) in winter. *Polar Biol.* 34: 1959–1971. doi:10.1007/s00300-011-1019-9.
- Giraldo, C., Stasko, A., Choy, E.S., Rosenberg, B., Majewski, A., Power, M., Swanson, H., Loseto, L., and Reist, J.D. 2016. Trophic variability of Arctic fishes in the Canadian Beaufort Sea: a fatty acids and stable isotopes approach. *Polar Biol.* 39(7). doi:10.1007/s00300-015-1851-4.
- Giraldo, C., Stasko, A., Walkusz, W., Majewski, A., Rosenberg, B., Power, M., Swanson, H., and Reist, J.D. 2018. Feeding of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in the Canadian Beaufort Sea. *J. Mar. Syst.* 183: 32–41. doi:10.1016/j.jmarsys.2018.03.009.
- Gjøsæter, H., Bogstad, B., and Tjelmeland, S. 2009. Ecosystem effects of the three capelin stock collapses in the Barents Sea. *Mar. Biol. Res.* 5(1): 40–53. doi:10.1080/17451000802454866.
- Goldsmid, J., Archambault, P., and Howland, K.L. 2014. Establishing a baseline for early detection of non-indigenous species in ports of the Canadian Arctic. *Aquat. Invasions* 9(3): 327–342. doi:10.3391/ai.2014.9.3.08.

-
- Goldsmith, J., Archambault, P., Chust, G., Villarino, E., Liu, G., Lukovich, J. V., Barber, D.G., and Howland, K.L. 2018. Projecting present and future habitat suitability of ship-mediated aquatic invasive species in the Canadian Arctic. *Biol. Invasions* 20(2): 501–517. Springer International Publishing. doi:10.1007/s10530-017-1553-7.
- Goldsmith, J., McKindsey, C., Archambault, P., and Howland, K.L. 2019. Ecological risk assessment of predicted marine invasions in the Canadian Arctic. *PLoS One* 14(2): 1–28. doi:10.1371/journal.pone.0211815.
- Gouvernement du Canada. 2011. [Cadre national pour le réseau d'aires marines protégées du Canada / préparé grâce à la participation du Groupe de travail sur les océans \(GTO\) fédéral, provincial et territorial](#). Ministère des pêches et des océans, Ottawa, ON. 31 p.
- Grebmeier, J.M., Feder, H.M., and McRoy, C.P. 1989. Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. II. Benthic community structure. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 51: 253–268. doi:10.3354/meps051253.
- Grebmeier, J.M., and Barry, J.P. 1991. The influence of oceanographic processes on pelagic-benthic coupling in polar regions: A benthic perspective. *J. Mar. Syst.* 2: 495–518. doi:10.1016/0924-7963(91)90049-Z.
- Griffith, G.P., Hop, H., Vihtakari, M., Wold, A., Kalhagen, K., and Gabrielsen, G.W. 2019. Ecological resilience of Arctic marine food webs to climate change. *Nat. Clim. Chang.* 9(11): 868–872. doi:10.1038/s41558-019-0601-y.
- Halliday, W.D., Insley, S.J., Hilliard, R.C., de Jong, T., and Pine, M.K. 2017a. Potential impacts of shipping noise on marine mammals in the western Canadian Arctic. *Mar. Pollut. Bull.* 123(1–2): 73–82. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.09.027.
- Halliday, W.D., Insley, S.J., de Jong, T., and Mouy, X. 2017b. Seasonal patterns in acoustic detections of marine mammals near Sachs Harbour, Northwest Territories. *Arct. Sci.* 278: 259–278. doi:10.1139/as-2017-0021.
- Halliday, W.D., Scharffenberg, K., Macphee, S., Hilliard, R.C., Mouy, X., Whalen, D., Loseto, L.L., and Insley, S.J. 2019. Beluga vocalizations decrease in response to vessel traffic in the Mackenzie River Estuary. *Arctic* 72(4): 337–346. doi:10.14430/arctic69294.
- Halliday, W.D., Pine, M.K., Mouy, X., Kortsalo, P., Hilliard, R.C., and Insley, S.J. 2020a. The coastal Arctic marine soundscape near Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada. *Polar Biol.* 43(6): 623–636. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/s00300-020-02665-8.
- Halliday, W.D., Scharffenberg, K., Whalen, D., MacPhee, S.A., Loseto, L.L., and Insley, S.J. 2020b. 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.
- Hollowed, A.B, Cheng, W., Loeng, H., Logerwell, E., and Reist, J. 2018. Regional assessment of climate change impacts on Arctic marine ecosystems. *In* *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis, Volume II*. Edited by B.F. Phillips and M. Pérez-Ramírez. John Wiley and Sons Ltd., Hoboken, NJ. pp. 703–728.
- Harris, L.N., Boguski, D.A., Gallagher, C.P., and Howland, K.L. 2016. Genetic stock identification and relative contribution of Arctic Char (*Salvelinus alpinus*) from the Hornaday and Brock rivers to subsistence fisheries in Darnley Bay, NT. *Arctic* 69(3): 231–245.
- Harter, B.B., Elliott, K.H., Divoky, G.J., and Davoren, G.K. 2013. Arctic Cod (*Boreogadus saida*) as Prey : Fish Length-Energetics Relationships in the Beaufort Sea and Hudson Bay. 66(2): 191–196.

-
- Harwood, L.A., and Norton, P. 1996. [Aerial survey data from the southeast Beaufort Sea, Mackenzie River estuary, and west Amundsen Gulf, July 1992](#). Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 965: iv + 25 p.
- Harwood, L.A., Norton, P., Day, B., and 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(1): 10–20. doi:10.14430/arctic687.
- Harwood, L.A., Auld, J., Joynt, A., Moore, S.E. 2010. [Distribution of bowhead whales in the SE Beaufort Sea during late summer, 2007-2009](#). DFO Can. Sci. Advis. Secr. Res. Doc. 2009/111: iv + 22 p.
- Harwood, L.A., Smith, T.G., and Auld, J.C. 2012a. Fall migration of ringed seals (*Phoca hispida*) through the Beaufort and Chukchi seas, 2001-02. *Arctic* 65(1): 35–44. doi:10.14430/arctic4163.
- Harwood, L.A., Smith, T.G., Melling, H., Alikamik, J., and Kingsley, M.C.S. 2012b. Ringed seals and sea ice in Canada's Western Arctic: Harvest-based monitoring 1992 - 2011. *Arctic* 65(4): 377–390. doi:10.14430/arctic4236.
- Harwood, L.A., Sandstrom, S.J., Papst, M.H., and 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(3): 291–300. doi:10.14430/arctic4308.
- Harwood, L.A., and Babaluk, J.A. 2014. Spawning, overwintering and summer feeding habitats used by anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*) of the Hornaday River, Northwest Territories, Canada. *Arctic* 67(4): 449–461. doi:10.14430/arctic4422.
- Harwood, L.A., Kingsley, M.C.S., and Pokiak, F. 2015a. [Monitoring Beluga Harvests in the Mackenzie Delta and Near Paulatuk, NT, Canada: Harvest Efficiency and Trend, Size and Sex of Landed Whales, and Reproduction, 1970-2009](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3059: vi + 32 p.
- Harwood, L.A., Smith, T.G., Auld, J.C., Melling, H., and Yurkowski, D.J. 2015b. Seasonal movements and diving of ringed seals, *Pusa hispida*, in the western canadian arctic, 1999–2001 and 2010–11. *Arctic* 68(2): 193–209. doi:10.14430/arctic4479.
- Harwood, L.A., Smith, T.G., George, J.C., Sandstrom, S.J., Walkusz, W., and Divoky, G.J. 2015c. 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., Smith, T.G., George, J.C., Sandstrom, S.J., Walkusz, W., and Divoky, G.J. 2015d. 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., Lea, E. V., Raverty, S.A., Hall, P.A., Linn, E., Postma, L., and Nielsen, O. 2017a. Observations of beachcast bowhead whales (*Balaena mysticetus*) in the southeastern beaufort sea and amundsen gulf, 1987/2016. *Can. Field-Nat.* 131(3): 270–279. doi:10.22621/cfn.v131i3.2028.
- Harwood, L.A., Quakenbush, L.T., Small, R.J., George, J.C., Pokiak, J., Pokiak, C., Heide-Jørgensen, M.P., Lea, E. V., and Brower, H. 2017b. Movements and inferred foraging by bowhead whales in the Canadian Beaufort sea during August and September, 2006-12. *Arctic* 70(2): 161–176. doi:10.14430/arctic4648.
-

-
- Harwood, L.A., Zhu, X., Angasuk, L., Emaghok, L., Ferguson, S., Gruben, C., Gruben, P., Hall, P., Illasiak, J., Illasiak, J., Lennie, J., Lea, E.V., Loseto, L. L., Norton, P., Pokiak, C., Pokiak, F., Rogers, H., Snow, K., et Storr, W. 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.
- Hauri, C., Danielson, S., McDonnell, A.M.P., Hopcroft, R.R., Winsor, P., Shipton, P., Lalande, C., Stafford, K.M., Horne, J.K., Cooper, L.W., Grebmeier, J.M., Mahoney, A., Maisch, K., McCammon, M., Statscewich, H., Sybrandy, A., and Weingartner, T. 2018. From sea ice to seals: a moored marine ecosystem observatory in the Arctic. *Ocean Sci.* 14(6): 1423–1433. doi:10.5194/os-14-1423-2018
- Hauser, D.D.W., Laidre, K.L., Suydam, R.S., and Richard, P.R. 2014. Population-specific home ranges and migration timing of Pacific Arctic beluga whales (*Delphinapterus leucas*). *Polar Biol.* 37(8): 1171–1183. doi:10.1007/s00300-014-1510-1.
- Hobson, K.A., and Welch, H.E. 1992. Determination of trophic relationships within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 84(1): 9–18. doi:10.3354/meps084009.
- Hoegh-Guldberg, O., and Bruno, J.F. 2010. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science* 328(5985): 1523–1528. doi:10.1126/science.1189930.
- Hoover, C., Hornby, C., Ouellette, M., Torontow, V., Hynes, K., and Loseto, L. 2016. Arrival and distribution of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) along the Mackenzie Shelf: Report on the spring aerial surveys. *Environ. Res. Stud. Funds Rep.* 199: 34.
- Hop, H., and Gjøsæter, H. 2013. Polar cod (*Boreogadus saida*) and capelin (*Mallotus villosus*) as key species in marine food webs of the Arctic and the Barents Sea. *Mar. Biol. Res.* 9(9): 878–894. doi:10.1080/17451000.2013.775458.
- Hornby, C.A., Iacozza, J., Hoover, C., Barber, D.G., and Loseto, L.L. 2017. Beluga whale *Delphinapterus leucas* late summer habitat use and support for foraging areas in the Canadian Beaufort Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 574: 243–257. doi:10.3354/meps12178.
- Horvat, C., Jones, D.R., Iams, S., Schroeder, D., Flocco, D., and Feltham, D. 2017. The frequency and extent of sub-ice phytoplankton blooms in the Arctic Ocean. *Sci. Adv.* 3 (3). doi:10.1126/sciadv.1601191.
- Houde, M., Wang, X., Colson, T.L.L., Gagnon, P., Ferguson, S.H., Ikononou, M.G., Dubetz, C., Addison, R.F., and Muir, D.C.G. 2019. Trends of persistent organic pollutants in ringed seals (*Phoca hispida*) from the Canadian Arctic. *Sci. Total Environ.* 665: 1135–1146. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.02.138.
- Houde, M., Taranu, Z.E., Wang, X., Young, B., Gagnon, P., Ferguson, S.H., Kwan, M., and 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.
- Howell, S. E., Laliberté, F., Kwok, R., Derksen, C., and King, J. 2016. Landfast ice thickness in the Canadian Arctic Archipelago from observations and models. *Cryosphere* 10(4): 1463–1475.
- Hunter, J.G., and Leach, S.T. 1983. [Hydrographic Data Collected During Fisheries Activities of the Arctic Biological Station, 1960 to 1979](#). *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci.* 414: x + 87.
- Huntington, H.P. 2009. A preliminary assessment of threats to arctic marine mammals and their conservation in the coming decades. *Mar. Policy* 33(1): 77–82. doi:10.1016/j.marpol.2008.04.003.
-

-
- Iacozza, J., and Barber, D.G. 1999. An examination of the distribution of snow on sea-ice. *Atmos.-Ocean* 37(1): 21–51. doi:10.1080/07055900.1999.9649620.
- Iacozza, J., and Ferguson, S.H. 2014. Spatio-temporal variability of snow over sea ice in western Hudson Bay, with reference to ringed seal pup survival. *Polar Biol.* 37(6): 817–832. doi:10.1007/s00300-014-1484-z.
- Insley S.J., Tauzer, L.M., Halliday, W.D., Illasiak, J., Green, R., Kudlak, A., and Kuptana, J. 2021. Ringed seal diet and body condition in the Amundsen Gulf region, eastern Beaufort Sea. *Arctic* 74: 113–238.
- Jennings, S., Greenstreet, S.P.R., Hill, L., Piet, G.J., Pinnegar, J.K., and Warr, K.J. 2002. Long-term trends in the trophic structure of the North Sea fish community: evidence from stable-isotope analysis, size-spectra and community metrics. *Mar. Biol.* 141 : 1085 –1097. doi:10.1007/s00227-002-0905-7.
- Ji, R., Ashjian, C.J., Campbell, R.G., Chen, C., Gao, G., Davis, C.S., Cowles, G.W. and Beardsley, R.C. 2012. Life history and biogeography of *Calanus* copepods in the Arctic Ocean: an individual-based modeling study. *Prog. Oceanogr.* 96: 40–56.
- Johnson, L. 1989. The anadromous Arctic charr, *Salvelinus alpinus* of Nauyuk Lake, N.W.T., Canada. *Physiol. Ecol. Japan Spec.* 1: 201–227.
- Johnson, S.R., and Ward, J.G. 1985. Observations of Thick-billed Murres (*Uria lomvia*) and Other Seabirds at Cape Parry, Amundsen Gulf, N.W.T. *Arctic* 38(2): 112–115.
- Juul-Pedersen, T., Michel, C. and Gosselin, M. 2008a. Influence of the Mackenzie river plume on the sinking export of particulate material on the shelf. *J. Mar. Syst.* 74: 810–824.
- Juul-Pedersen, T., Michel, C. and Gosselin, M. 2008b Seasonal changes in the composition and transformation of the sinking particulate material under first-year sea ice in Franklin Bay, Western Canadian Arctic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 353: 13–25.
- Juul-Pedersen, T., Michel, C., and Gosselin, M. 2010. Sinking export of particulate organic material from the euphotic zone in the eastern Beaufort Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 410: 55–70. doi:10.3354/meps08608.
- KAVIK-AXYS Inc. 2012. Traditional and Local Knowledge Workshop for the Paulatuk Area of Interest. KAVIK-AXYS Inc., Inuvik, NT and Calgary, AB. 46 p.
- Kędra, M., Kuliński, K., Walkusz, W., and Legeżyńska, J. 2012. The shallow benthic food web structure in the high Arctic does not follow seasonal changes in the surrounding environment. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 114: 183–191. doi:10.1016/j.ecss.2012.08.015.
- Kellogg, C.T.E., Carpenter, S.D., Renfro, A.A., Sallon, A., Michel, C., Cochran, J.K., and Deming, J.W. 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(12): 2007–2023. doi:10.1007/s00300-011-1015-0.
- Kitamura, M., Amakasu, K., Kikuchi, T., and Nishino, S. 2017. Seasonal dynamics of zooplankton in the southern Chukchi Sea revealed from acoustic backscattering strength. *Cont. Shelf Res.* 133: 47–58. doi:10.1016/j.csr.2016.12.009
- Kortsch, S., Primicerio, R., Beuchel, F., Renaud, P.E., Rodrigues, J., Lønne, O.J., and Gulliksen, B. 2012. Climate-driven regime shifts in Arctic marine benthos. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109(35): 14052–14057. doi:10.1073/pnas.1207509109.
-

-
- Kortsch, S., Primicerio, R., Fossheim, M., Dolgov, A. V., and Aschan, M. 2015. Climate change alters the structure of Arctic marine food webs due to poleward shifts of boreal generalists. *Proc. R. Soc. B* 282 : 20151546. doi:10.5061/dryad.73r6j.
- Krumhansl, K.A., Krkosek, W.H., Greenwood, M., Ragush, C., Schmidt, J., Grant, J., Barrell, J., Lu, L., Lam, B., Gagnon, G.A., and Jamieson, R.C. 2015. Assessment of arctic community wastewater impacts on marine benthic invertebrates. *Environ. Sci. Technol.* 49 (2) : 760 – 766. doi:10.1021/es503330n.
- Lacoursière-Roussel, A., Howland, K., Normandeau, E., Grey, E.K., Archambault, P., Deiner, K., Lodge, D.M., Hernandez, C., Leduc, N., and Bernatchez, L. 2018. eDNA metabarcoding as a new surveillance approach for coastal Arctic biodiversity. *Int. J. Bus. Innov. Res.* 17(3): 7763–7777. doi:10.1002/ece3.4213.
- Laidre, K.L., Stirling, I., Lowry, L.F., Wiig, Ø., Heide-Jørgensen, M.P., and Ferguson, S.H. 2008. Quantifying the sensitivity of arctic marine mammals to climate-induced habitat change. *Ecol. Appl.* 18 (Suppl.2) : 97 –125. doi:10.1890/06-0546.1.
- Larson, E.R., Graham, B.M., Achury, R., Coon, J.J., Daniels, M.K., Gambrell, D.K., Jonassen, K.L., King, G.D., LaRacuenta, N., Perrin-Stowe, T.I.N., Reed, E.M., Rice, C.J., Ruzi, S.A., Thairu, M.W., Wilson, J.C., and Suarez, A. V. 2020. From eDNA to citizen science: emerging tools for the early detection of invasive species. *Front. Ecol. Environ.* 18 (4) : 194–202. doi:10.1002/fee.2162.
- Lea, E.V., D. Ruben et le Comité de chasseurs et de trappeurs de Paulatuk. 2020. [Récolte d'omble chevalier \(*Salvelinus alpinus*\) anadrome et confiné aux eaux intérieures près de Paulatuk, Territoires du Nord-Ouest, de 2003 à 2013](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2020/052. iv + 16 p.
- LeBlanc, M., Geoffroy, M., Bouchard, C., Gauthier, S., Majewski, A., Reist, J.D., and Fortier, L. 2020. Pelagic production and the recruitment of juvenile polar cod *Boreogadus saida* in Canadian Arctic seas. *Polar Biol.* 43(8): 1043–1054. doi:10.1007/s00300-019-02565-6.
- Legeżyńska, J., Kędra, M., and Walkusz, W. 2012. When season does not matter: Summer and winter trophic ecology of Arctic amphipods. *Hydrobiologia* 684(1): 189–214. doi:10.1007/s10750-011-0982-z.
- Leu, E., Mundy, C.J., Assmy, P., Campbell, K., Gabrielsen, T.M., Gosselin, M., Juul-Pedersen, T., and Gradinger, R. 2015. Arctic spring awakening - Steering principles behind the phenology of vernal ice algal blooms. *Prog. Oceanogr.* 139: 151–170. doi:10.1016/j.pcean.2015.07.012.
- Li, W.K.W., McLaughlin, F.A., Lovejoy, C., and Carmack E.C. 2009. Smallest algae thrive as the Arctic Ocean freshens. *Science* 326(5952): 539.
- Li, Z., Zhao, J., Su, J., Li, C., Cheng, B., Hui, F., Yang, Q. and Shi, L. 2020. Spatial and temporal variations in the extent and thickness of Arctic landfast ice. *Remote Sens.* 12(1): 64. doi.org/10.3390/rs12010064
- Link, H., Piepenburg, D., and Archambault, P. 2013. Are hotspots always hotspots? The relationship between diversity, resource and ecosystem functions in the Arctic. *PLoS One* 8(9): e74077. doi:10.1371/journal.pone.0074077.
- Lockhart, W.L., Stern, G.A., Wagemann, R., Hunt, R.V., Metner D.A., DeLaronde, J., Dunn, B.M., Stewart, R.E.A., Hyatt, C.K., Harwood, L. and Mount, K. 2005. Concentrations of mercury in tissues of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from several communities in the Canadian Arctic from 1981 to 2002. *Sci.Total Environ.* 351/352 : 391–412.
-

-
- Logerwell, E., Rand, K., and Weingartner, T.J. 2011. Oceanographic characteristics of the habitat of benthic fish and invertebrates in the Beaufort Sea. *Polar Biol.* 34 : 1783–1796. doi:10.1007/s00300-011-1028-8.
- Loseto, L.L., Richard, P., Stern, G.A., Orr, J., and Ferguson, S.H. 2006. Segregation of Beaufort Sea beluga whales during the open-water season. *Can. J. Zool.* 84(12): 1743–1751. doi:10.1139/Z06-160.
- Loseto, L.L., Stern, G.A., Deibel, D., Connelly, T.L., Prokopowicz, A., Lean, D.R.S., Fortier, L., and Ferguson, S.H. 2008a. Linking mercury exposure to habitat and feeding behaviour in Beaufort Sea beluga whales. *J. Mar. Syst.* 74(3–4): 1012–1024. doi:10.1016/j.jmarsys.2007.10.004.
- Loseto, L.L., Stern, G.A., and Ferguson, S.H. 2008b. Size and biomagnification: How habitat selection explains beluga mercury levels. *Environ. Sci. Technol.* 42(11): 3982–3988. doi:10.1021/es7024388.
- Loseto, L.L., Stern, G.A., Connelly, T.L., Deibel, D., Gemmill, B., Prokopowicz, A., Fortier, L., and Ferguson, S.H. 2009. Summer diet of beluga whales inferred by fatty acid analysis of the eastern Beaufort Sea food web. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 374(1): 12–18. doi:10.1016/j.jembe.2009.03.015.
- Loseto L. L., and Ross, P.S. 2011. A legacy of risk: Organic contaminants in marine mammals. Concepts in Exposure, Toxicology and Management. *In* Environmental Contaminants in Biota: Interpreting Tissue Concentrations, Second edition. Edited by N. Beyer, and J. Meador. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 349–375.
- Loseto, L.L., Stern, G.A., and Macdonald, R.W. 2015. Distant drivers or local signals: Where do mercury trends in western Arctic belugas originate? *Sci. Total Environ.* 509–510: 226–236. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.10.110.
- Loseto, L.L., Brewster, J.D., Ostertag, S.K., Snow, K., MacPhee, S.A., McNicholl, D.G., Choy, E.S., Giraldo, C., and Hornby, C.A. 2018a. Diet and feeding observations from an unusual beluga harvest in 2014 in Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada. *Arct. Sci.* 431: 421–431. doi:10.1139/as-2017-0046.
- Loseto, L.L., Hoover, C., Ostertag, S., Whalen, D., Pearce, T., Paulic, J., Iacozza, J., and MacPhee, S. 2018b. 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.
- Lowdon, M.K., Majewski, A.R., and Reist, J.D. 2011. [Fish catch data from Herschel Island, Yukon Territory, and other offshore sites in the Canadian Beaufort Sea, July and August 2008, aboard the CCGS Nahidik](#). *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1237: vi + 99 p.
- Lydersen, C., Vaquie-Garcia, J., Lydersen, E., Christensen, G.N., and Kovacs, K.M. 2017. Novel terrestrial haul-out behaviour by ringed seals (*Pusa hispida*) in Svalbard, in association with harbour seals (*Phoca vitulina*). *Polar Res.* 36(1): 1374124. doi:10.1080/17518369.2017.1374124.
- Lynn, B.R. 2016. Sex- and age-dependent differences and habitat influences on demersal Arctic Cod, *Boreogadus saida* (Lepechin 1774), diet and energy allocation in the Canadian Beaufort Sea. Thesis (M.Sc.), University of Manitoba, Winnipeg, MB. xix + 197.
- Macdonald, R.W., McFarland, M.E., de Mora, S.J., Macdonald, D.M., and Johnson, W.K. 1978. Oceanographic Data Report, Amundsen Gulf August–September 1978. *Pac. Mar. Sci. Rep.* 78(10): 92 p.
-

-
- MacDonell, D. 1986. Report on the enumeration of the 1986 upstream migration of Arctic charr in the Hornaday River, N.W.T. and the evaluation of a weir as a method of capturing fish for commercial harvest. Prepared by North/South Consultants Inc. for the Fisheries Joint Management Committee, Inuvik, NT, and the Department of Fisheries and Oceans, Winnipeg, MB. 42 p.
- MacMillan, K., Hoover, C., Iacozza, J., Peyton, J., and Loseto, L. 2019. Body condition indicators: Assessing the influence of harvest location and potential thresholds for application in beluga monitoring. *Ecol. Indic.* 104 : 145–155. doi:10.1016/j.ecolind.2019.04.012.
- Magen, C., Chaillou, G., Crowe, S.A., Mucci, A., Sundby, B., Gao, A., Makabe, R., and Sasaki, H. 2010. Origin and fate of particulate organic matter in the southern Beaufort Sea – Amundsen Gulf region, Canadian Arctic. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 86: 31–41. doi:10.1016/j.ecss.2009.09.009.
- Majewski, A.R., Lynn, B.R., Lowdon, M.K., Williams, W.J., and 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., Walkusz, W., Lynn, B.R., Atchison, S., Eert, J., and Reist, J.D. 2016. Distribution and diet of demersal Arctic Cod, *Boreogadus saida*, in relation to habitat characteristics in the Canadian Beaufort Sea. *Polar Biol.* 39(6): 1087–1098. doi:10.1007/s00300-015-1857-y.
- Majewski, A.R., Atchison, S., MacPhee, S., Eert, J., Niemi, A., Michel, C., and Reist, J.D. 2017. Marine fish community structure and habitat associations on the Canadian Beaufort shelf and slope. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 121: 169–182. doi:10.1016/j.dsr.2017.01.009.
- Mallory, M.L., Gaston, A.J., Provencher, J.F., Wong, S.N.P., Anderson, C., Elliott, K.H., Gilchrist, H.G., Janssen, M., Lazarus, T., Patterson, A., Pirie-Dominix, L., and Spencer, N.C. 2019. Identifying key marine habitat sites for seabirds and sea ducks in the Canadian Arctic. *Environ. Rev.* 27(2): 215–240. doi:10.1139/er-2018-0067.
- Manson, G.K., Couture, N.J., and James, T.S. 2019. CanCoast 2.0: data and indices to describe the sensitivity of Canada's marine coasts to changing climate. *Geol. Surv. Canada Open File 8551* : 18 p. doi:10.4095/314669.
- Marcoux, M., McMeans, B.C., Fisk, A.T., and Ferguson, S.H. 2012. Composition and temporal variation in the diet of beluga whales, derived from stable isotopes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 471: 283–291. doi:10.3354/meps10029.
- Markus, T., Stroeve, J.C., and Miller, J. 2009. Recent changes in Arctic sea ice melt onset, freezeup, and melt season length. *J. Geophys. Res.* 114: C12024. doi:10.1029/2009JC005436.
- Martin, J., Tremblay, J.-E., Gagnon, J., Tremblay, G., Lapoussiere, A., Jose, C., Poulin, M., Gosselin, M., Gratton, Y., and Michel, C. 2010. Prevalence, structure and properties of subsurface chlorophyll maxima in Canadian Arctic waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 412: 69–84.
- McNicholl, D.G., Walkusz, W., Davoren, G.K., Majewski, A.R., and Reist, J.D. 2016. Dietary characteristics of co-occurring polar cod (*Boreogadus saida*) and capelin (*Mallotus villosus*) in the Canadian Arctic, Darnley Bay. *Polar Biol.* 39(6): 1099–1108. doi:10.1007/s00300-015-1834-5.

-
- McNicholl, D.G., Johnson, J.D., and Reist, J.D. 2017a. [Darnley Bay Nearshore Fish Survey: Synthesis of 2012 and 2014–2016 field programs](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3229: ix + 101 p.
- McNicholl, D.G., Wolki, B., and Ostertag, S. 2017b. [Traditional Ecological Knowledge and Local Observations of Capelin \(*Mallotus villosus*\) in Darnley Bay, NT](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3144: vi + 20 p.
- McNicholl, D.G., Davoren, G.K., Majewski, A.R., and Reist, J.D. 2018. Isotopic niche overlap between co-occurring capelin (*Mallotus villosus*) and polar cod (*Boreogadus saida*) and the effect of lipid extraction on stable isotope ratios. *Polar Biol.* 41 (3) : 423–432. doi:10.1007/s00300-017-2199-8.
- McNicholl, D.G., Dunmall, K.M., Majewski, A.R., Gallagher, C.P., Sawatzky, C., and Reist, J.D. 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.
- McWhinnie, L.H., Halliday, W.D., Insley, S.J., Hilliard, C., and Canessa, R.R. 2018. Vessel traffic in the Canadian Arctic: Management solutions for minimizing impacts on whales in a changing northern region. *Ocean Coast. Manag.* 160: 1–17. doi:10.1016/j.ocecoaman.2018.03.042.
- Meier, W.N., Hovelsrud, G.K., van Oort, B.E.H., Key, J.R., Kovacs, K.M., Michel, C., Haas, C., Granskog, M.A., Gerland, S., Perovich, D.K., Makshtas, A., and Reist, J.D. 2014. Arctic sea ice in transformation: a review of recent observed changes and impacts on biology and human activity. *Rev. Geophys.* 52(3): 185–217. doi:10.1002/2013RG000431. Received.
- Michel, C., Legendre, L., Ingram, R.G., Gosselin M., and Levasseur, M. 1996. Carbon budget of ice algae under first-year ice: evidence of a significant transfer to zooplankton grazers. *J. Geophys. Res.* 101: 18345–18360.
- Michel, C., Ingram, R.G. and Harris, L. 2006. Variability of oceanographic and ecological processes in the Canadian Arctic Archipelago. *Prog. Oceanogr.* 72: 379–401.
- Michel, C., Nielsen, T.G., Gosselin, M., and Nozais, C. 2002. Significance of sedimentation and grazing by ice micro- and meiofauna for carbon cycling in annual sea ice (Northern Baffin Bay). *Aquat. Microb. Ecol.* 30: 57–68.
- Milazzo, M., Mirto, S., Domenici, P., and Gristina, M. 2013. Climate change exacerbates interspecific interactions in sympatric coastal fishes. *J. Anim. Ecol.* 82(2): 468–477. doi:10.1111/j.1365-2656.2012.02034.x.
- Mincks, S.L., Smith, C.R., and DeMaster, D.J. 2005. Persistence of labile organic matter and microbial biomass in Antarctic shelf sediments: Evidence of a sediment “food bank.” *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 300: 3–19. doi:10.3354/meps300003.
- Moore, S.E., and Stabeno, P.J. 2015. Synthesis of Arctic Research (SOAR) in marine ecosystems of the Pacific Arctic. *Prog. Oceanogr.* 136: 1–11. doi:10.1016/j.pcean.2015.05.017.
- Moore, R.C., Loseto, L., Noel, M., Etemadifar, A., Brewster, J.D., MacPhee, S., Bendell, L., and Ross, P.S. 2019. Microplastics in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the Eastern Beaufort Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 150: 110723. doi:10.1016/J.MARPOLBUL.2019.110723.
- Moore, R. 2020. Microplastics in the Beaufort Sea Beluga food web. Thesis (M.Sc.) Stanford Fleming University, Burnaby, BC, Canada. xiv + 66 p.
-

-
- Morley, S.A., Barnes, D.K.A., and Dunn, M.J. 2019. Predicting which species succeed in climate-forced polar seas. *Front. Mar. Sci.* 5: 507. doi:10.3389/fmars.2018.00507.
- MPO. 2000. [Le béluga de l'est de la mer de Beaufort](#). Rapport scientifique sur l'état des stocks du MPO E5-38 (2000). 14 p.
- MPO. 2011. [Établissement d'objectifs de conservation et de limites géographiques pour la zone d'intérêt \(ZI\) de la baie Darnley](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2011/009.
- MPO. 2014. [Évaluation des agents de stress, des impacts et des séquences des effets dans la zone d'intérêt Anuniaqvia Niqiyuam/baie Darnley dans le cadre de la désignation des zones de protection marine](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2014/002.
- MPO. 2015. [Zone d'intérêt Anguniaqvia Niqiyuam : indicateurs, protocoles et stratégies de surveillance](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2015/025.
- MPO. 2019. [Données sur le milieu marin](#). Sciences des écosystèmes et des océans, Ministère des Pêches et des Océans du Canada. Données obtenues le 2019/10/28 AAAA/MM/JJ.
- MPO. 2020. [Lignes directrices scientifiques sur les approches de surveillance et d'évaluation des réseaux biorégionaux marins](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2020/035.
- Muir, D.C.G., Wagemann, R., Hargrave, B.T., Thomas, D.J., Peakall, D.B., Norstrom, R.J. 1992. Arctic marine ecosystem contamination. *STOTEN*. 122: 75-134.
- Mundy, C.J., Barber, D.G., and Michel, C. 2005. Variability of snow and ice thermal, physical and optical properties pertinent to sea ice algae biomass during spring. *J. Mar. Syst.* 58(3-4): 107-120. doi:10.1016/j.jmarsys.2005.07.003.
- Mundy, C.J., Gosselin, M., Ehn, J., Gratton, Y., Rossnagel, A., Barber, D.G., Martin, J., Tremblay, J.É., Palmer, M., Arrigo, K.R., Darnis, G., Fortier, L., Else, B., and Papakyriakou, T. 2009. Contribution of under-ice primary production to an ice-edge upwelling phytoplankton bloom in the Canadian Beaufort Sea. *Geophys. Res. Lett.* 36(17): L17601. doi:10.1029/2009GL038837.
- Nakashima, B.S., and Wheeler, J.P. 2002. Capelin (*Mallotus villosus*) spawning behaviour in Newfoundland waters - The interaction between beach and demersal spawning. *ICES J. Mar. Sci.* 59(5): 909-916. doi:10.1006/jmsc.2002.1261.
- Niemi, A., and Michel, C. 2015. Temporal and spatial variability in sea-ice carbon:nitrogen ratios on canadian arctic shelvestemporal and spatial variability in sea-ice carbon: Nitrogen ratios. *Elementa* 3: 1-12. doi:10.12952/journal.elementa.000078.
- Niemi, A., Michel, C., Hille, K., and Poulin, M. 2011. Protist assemblages in winter sea ice: Setting the stage for the spring ice algal bloom. *Polar Biol.* 34(12): 1803-1817. doi:10.1007/s00300-011-1059-1.
- Niemi, A., Michel, C., Dempsey, M., Eert, J., Reist, J., and Williams, W.J. 2015. [Physical, chemical and biological oceanographic data from the Beaufort Regional Environmental Assessment: Marine Fishes Project, August-September 2013](#). Can. Data Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 198: vii + 144 p.

-
- Niemi, A., Ferguson, S., Hedges, K., Melling, H., Michel, C., Ayles, B., Azetsu-Scott, K., Coupel, P., Deslauriers, D., Devred, E., Doniol-Valcroze, T., Dunmall, K., Eert, J., Galbraith, P., Geoffroy, M., Gilchrist, G., Hennin, H., Howland, K., Kendall, M., Kohlbach, D., Lea, E., Loseto, L., Majewski, A., Marcoux, M., Matthews, C., McNicholl, D., Mosnier, A., Mundy, C.J., Ogloff, W., Perrie, W., Richards, C., Richardson, E., Reist, R., Roy, V., Sawatzky, C., Scharffenberg, K., Tallman, R., Tremblay, J-É., Tufts, T., Watt, C., Williams, W., Worden, E., Yurkowski, D., Zimmerman, S. 2020. [État des mers arctiques du Canada](#). Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3344 : xvi + 205 p
- Niemi, A., Majewski, A., Eert, J., Ehrman, A., Michel, C., Archambault, P., Atchison, S., Cypihot, V., Dempsey, M., de Montety, L., Dunn, M., Geoffroy, M., Hussherr, R., MacPhee, S., Mehdipour, N., Power, M., Swanson, H., Treau de Coeli, L., Walkusz, W., Williams, W., Woodard, K., Zimmerman, S., and Reist, J. 2020. [Data from the BREA-MFP and CBS-MEA research programs describing the Anguniaqvia niqiqyuam Marine Protected Area \(ANMPA\) ecosystem](#). Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. 1316: ix + 90 p.
- Niemi, A., Bednaršek, Michel, C., Feely, R.A., Williams, W., Azetsu-Scott, K., Walkusz, W., and Reist, J.D. 2021. Biological impact of ocean acidification in the Canadian Arctic: Widespread severe pteropod shell dissolution in Amundsen Gulf. *Frontiers Mar. Sci.* 8: 600184.
- Nöel, M., Loseto, L.L., and 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.
- Norcross, B.L., Raborn, S.W., Holladay, B.A., Gallaway, B.J., Crawford, S.T., Priest, J.T., Edenfield, L.E., and Meyer, R. 2013. Northeastern Chukchi Sea demersal fishes and associated environmental characteristics, 2009-2010. *Cont. Shelf Res.* 67: 77–95. doi:10.1016/j.csr.2013.05.010.
- North, C.A., Lovvorn, J.R., Kolts, J.M., Brooks, M.L., Cooper, L.W., and Grebmeier, J.M. 2014. Deposit-feeder diets in the Bering Sea: potential effects of climatic loss of sea ice-related microalgal blooms. *Ecol. Appl.* 24 (6) : 1525–1542.
- Norton, P., and Harwood, L.A. 1985. [White Whale use of the southeastern Beaufort Sea, July - September 1984](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1401: v + 46 p.
- Ostertag, S.K., Loseto, L.L., Snow, K., Lam, J., Hynes, K., and Gillman, D.V. 2018. “That’s how we know they’re healthy”: the inclusion of traditional ecological knowledge in beluga health monitoring in the Inuvialuit Settlement Region. *Arct. Sci.* 29(4): 292–320. doi:10.1139/as-2017-0050.
- Ostertag, S., Green, B., Ruben, D., Hynes, K., Swainson, D., and 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.
- Oxtoby, L.E., Mathis, J.T., Juranek, L.W., and Wooller, M.J. 2016. Estimating stable carbon isotope values of microphytobenthos in the Arctic for application to food web studies. *Polar Biol.* 39(3): 473–483. doi:10.1007/s00300-015-1800-2.
- Paulatuk Hunters and Trappers Committee, Paulatuk Community Corporation, Northwest Territories Wildlife Management Advisory Council, Fisheries Joint Management Committee, and Joint Secretariat. 2016. Paulatuk Community Conservation Plan. Joint Secretariat, Inuvik, NT. 188 p.

-
- Paulic, J.E., Papst, M.H., and Cobb, D.G. 2009. [Proceedings for the Identification of Ecologically and Biologically Significant Areas in the Beaufort Sea Large Ocean Management Area](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2865: ii + 46 p.
- Paulic, J.E., Bartzen, B., Bennett, R., Conlan, K., Harwood, L., Howland, K., Kostylev, V., Loseto, L., Majewski, A., Melling, H., Neimi, A., Reist, J., Richard, P., Richardson, E., Solomon, S., Walkusz, W., and Williams, B. 2012. [Ecosystem overview report for the Darnley Bay Area of Interest \(AOI\)](#). DFO Can. Sci. Advis. Secr. Res. Doc. 2011/062. vi + 63 p.
- Pecuchet, L., Blanchet, M.A., Frainer, A., Husson, B., Jørgensen, L.L., Kortsch, S., and Primicerio, R. 2020. Novel feeding interactions amplify the impact of species redistribution on an Arctic food web. *Glob. Chang. Biol.* 26 (9) : 4894–4906. doi:10.1111/gcb.15196.
- Peralta-Ferriz, C., and Woodgate, R.A. 2015. Seasonal and interannual variability of pan-Arctic surface mixed layer properties from 1979 to 2012 from hydrographic data, and the dominance of stratification for multiyear mixed layer depth shoaling. *Prog. Oceanogr.* 134: 19–53. doi:10.1016/j.pocean.2014.12.005.
- Piepenburg, D., Ambrose, W.G.J., Brandt, A., Renaud, P.E., Ahrens, M.J., and Jensen, P. 1997. Benthic community patterns reflect water column processes in the Northeast Water Polynya (Greenland). *J. Mar. Syst.* 10(1–4): 467–482. doi:10.1016/S0924-7963(96)00050-4.
- Pine, M.K., Hannay, D.E., Insley, S.J., Halliday, W.D., and Juanes, F. 2018. Assessing vessel slowdown for reducing auditory masking for marine mammals and fish of the western Canadian Arctic. *Mar. Pollut. Bull.* 135: 290–302. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.07.031.
- Poirier, M.C., Lair, S., Michaud, R., Hernández-Ramon, E.E., Divi, K.V., Dwyer, J.E., Ester, C.D., Si, N.N., Mehanz, A., Loseto, L.L., Raverty, S.A., St. Leger, J.A., van Bonn, W.G., Colegrove, K., Burek-Huntington, K.A., Stimmelmayer, R., Wise, J.P., Wise, S. S., Beauchamp, G., and Martineau, D. 2019. Intestinal Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-DNA Adducts in a Population of Beluga Whales with High Levels of Gastrointestinal Cancers. *Environ. Molec. Mutagen.* 60(1): 29–41.
- Polyakov, I. V., Pnyushkov, A. V., Rember, R., Padman, L., Carmack, E.C., and Jackson, J.M. 2013. Winter convection transports atlantic water heat to the surface layer in the eastern arctic ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 43(10): 2142–2155. doi:10.1175/JPO-D-12-0169.1.
- Post, E. 2017. Implications of earlier sea ice melt for phenological cascades in arctic marine food webs. *Food Webs* 13: 60–66. doi:10.1016/j.fooweb.2016.11.002.
- Prinsenber, S. J., Peterson, I.K., and Holladay, J.S. Measuring the thicknesses of the freshwater-layer plume and sea ice in the land-fast ice region of the Mackenzie Delta using helicopter-borne sensors. *J. Mar. Syst.* 74(3–4): 783–793.
- Protection of the Arctic Marine Environment (PAME). 2019. Underwater noise in the Arctic: A state of knowledge report. Rovaniemi, May 2019. PAME Secretariat. Akureyri, Iceland. 60 p.
- Provencher, J.F., Gaston, A.J., O'Hara, P.D., and Gilchrist, H.G. 2012. Seabird diet indicates changing Arctic marine communities in eastern Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 454: 171–182. doi:10.3354/meps09299.
- Pućko, M., Dionne, K., and 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.
-

-
- Quakenbush, L., Citta, J., George, J.C., Heide-jørgensen, M.P., Small, R., Brower, H., Harwood, L., Adams, B., Brower, L., Tagarook, G., Pokiak, C., and Pokiak, J. 2012. Seasonal movements of the Bering-Chukchi-Beaufort Stock of Bowhead Whales : 2006 – 2011 satellite telemetry results. U.S. Dept. Inter. Bur. Ocean Energy Manag. Alaska Outer Cont. Shelf Reg. SC/64/BRG1: 22 p.
- Rail, M.E., and Gratton, Y. 2011. Distribution of temperature and salinity in the Canadian Arctic Archipelago during the 2007 and 2008aRCTICNET sampling expeditions. Report No R0001243, INRS-ETE, Québec (QC) : vii + 65 p.
- Reeves, R.R., Ewins, P.J., Agbayani, S., Heide-Jørgensen, M.P., Kovacs, K.M., Lydersen, C., Suydam, R., Elliott, W., Polet, G., van Dijk, Y., and Blijleven, R. 2014. Distribution of endemic cetaceans in relation to hydrocarbon development and commercial shipping in a warming Arctic. *Mar. Policy* 44: 375–389. doi:10.1016/J.MARPOL.2013.10.005.
- Renaud, P.E., Morata, N., Ambrose, W.G.J., Bowie, J.J., and Chiuchiolo, A. 2007a. Carbon cycling by seafloor communities on the eastern Beaufort Sea shelf. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 349(2): 248–260. doi:10.1016/j.jembe.2007.05.021.
- Renaud, P.E., Riedel, A., Michel, C., Morata, N., Gosselin, M., Juul-Pedersen, T., and Chiuchiolo, A. 2007b. Seasonal variation in benthic community oxygen demand: A response to an ice algal bloom in the Beaufort Sea, Canadian Arctic? *J. Mar. Syst.* 67(1–2): 1–12. doi:10.1016/j.jmarsys.2006.07.006.
- Renaud, P.E., Morata, N., Carroll, M.L., Denisenko, S.G., and Reigstad, M. 2008. Pelagic-benthic coupling in the western Barents Sea: Processes and time scales. *Deep. Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 55(20–21): 2372–2380. doi:10.1016/j.dsr2.2008.05.017.
- Renaud, P.E., Sejr, M.K., Bluhm, B.A., Sirenko, B., and Ellingsen, I.H. 2015. The future of Arctic benthos: Expansion, invasion, and biodiversity. *Prog. Oceanogr.* 139: 244–257. doi:10.1016/j.pocean.2015.07.007.
- Ressel K.N., McNicholl D.G., and Sutton T.M. 2020. Capelin *Mallotus villosus* population differentiation among and within regions using relative warps. *Environ. Biol. Fishes.* 103: 667–681.
- Richard, P.R., Martin, A.R., and Orr, J.R. 1997. Study of summer and fall movements and dive behaviour of Beaufort Sea Belugas, using satellite telemetry: 1992-1995. *Environ. Stud. Res. Funds Rep. No. 134*: 42 p.
- Richard, P.R., Martin, A.R., and Orr, J.R. 2001. Summer and autumn movements of Belugas of the Eastern Beaufort Sea stock. *Arctic.* 54(3): 223–236.
- Richardson, W.J., Davis, R.A., Evans, C.R., Ljungblad, D.K., and Norton, P. 1987. Summer Distribution of Bowhead Whales, *Balaena mysticetus*, Relative to Oil Industry Activities in the Canadian Beaufort Sea, 1980-84. *Arctic* 40(2): 93–104. doi:10.14430/arctic1753.
- Riedel, A., Michel, C., and Gosselin, M. 2007a. Grazing of large-sized bacteria by sea-ice heterotrophic protists on the Mackenzie Shelf during the winter-spring transition. *Aquat. Microb. Ecol.* 50(1): 25–38. doi:10.3354/ame01155.
- Riedel, A., Michel, C., Gosselin, M., and LeBlanc, B. 2007b. Enrichment of nutrients, exopolymeric substances and microorganisms in newly formed sea ice on the Mackenzie shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 342: 55–67. doi:10.3354/meps342055.
- Ringuette, M., Fortier, L., Fortier, M., Runge, J., Belanger, S., Larouche, P., Weslawski, J., and Kwasniewski, S. 2002. Advanced recruitment and accelerated population development in Arctic calanoid copepods of the North Water. *Deep Sea Res. Part II* 49: 5081–5099.
-

-
- Robards, M.D., Piatt, J.F., and Rose, G.A. 1999. Maturation, fecundity, and intertidal spawning of Pacific sand lance in the northern Gulf of Alaska. *J. Fish Biol.* 54(5): 1050–1068. doi:10.1006/jfbi.1999.0941.
- Rochman, C.M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., Athey, S., Huntington, A., McIlwraith, H., Munno, K., Frond, H. De, Kolomijeca, A., Erdle, L., Grbic, J., Bayoumi, M., Borrelle, S.B., Wu, T., Santoro, S., Werbowski, L.M., Zhu, X., Giles, R.K., Hamilton, B.M., Thaysen, C., Kaura, A., Klasios, N., Ead, L., Kim, J., Sherlock, C., Ho, A., and Hung, C. 2019. Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environ. Toxicol. Chem.* 38(4): 703–711. doi:10.1002/etc.4371.
- Roper, C. 2008. Underwater video sleds: Versatile and cost effective tools for habitat mapping. *In* *Marine Habitat Mapping Technology for Alaska*. Edited By J. Reynolds and H.G. Greene. University of Alaska Press, Fairbanks, AK. pp. 99–107.
- Roux, M.-J., Harwood, L.A., Illasiak, J., Babaluk, J.A., and de Graff, N. 2011. Fishery resources and habitats in a headwater lake of the Brock River, NT, 2003–2005. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2932: vii + 61 p.
- Roy, V., Iken, K., and Archambault, P. 2014. Environmental drivers of the Canadian Arctic megabenthic communities. *PLoS One* 9(7): e100900. doi:10.1371/journal.pone.0100900.
- Roy, V., Iken, K., Gosselin, M., Tremblay, J.-É., Bélanger, S., and Archambault, P. 2015. 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. doi:10.1016/j.dsr.2015.04.009.
- Rózańska, M., Poulin, M., and Gosselin, M. 2008. Protist entrapment in newly formed sea ice in the Coastal Arctic Ocean. *J. Mar. Syst.* 74(3–4): 887–901. doi:10.1016/j.jmarsys.2007.11.009.
- Rózańska, M., Gosselin, M., Poulin, M., Wiktor, J.M., and Michel, C. 2009. Influence of environmental factors on the development of bottom ice protist communities during the winter-spring transition. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 386: 43–59. doi:10.3354/meps08092.
- Ruben, D., Loseto, L., and Hynes, K. 2013. Paulatuk Beluga Whales: Health and knowledge. *In*: *Synopsis of Research conducted under the 2013-2014 Northern Contaminants Program*. Aboriginal Affairs and Northern Affairs Canada. Gatineau, QC. pp. 105–124.
- Ruben, D., Green, T., Ruben, L., Loseto, L., Ostertag, S., Hynes, K., and Stern, G. 2016. Paulatuk beluga whales: Health and local observational indicators. *In*: *Synopsis of research conducted under the 2015-2016 Northern Contaminants Program*. Aboriginal Affairs and Northern Development Canada, Gatineau, QC. pp. 95–102.
- Sakshaug, E. 2004. Primary and secondary production in the Arctic Seas. *In* *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean*. Edited by R. Stein and R.W. Macdonald. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany. pp. 57–81.
- Sallon, A., Michel, C., and Gosselin, M. 2011. Summertime primary production and carbon export in the southeastern Beaufort Sea during the low ice year of 2008. *Polar Biol.* 34(12): 1989–2005. doi:10.1007/s00300-011-1055-5.
- Sampei, M., Sasaki, H., Makabe, R., Forest, A., Hattori, H., Tremblay, J.É., Gratton, Y., Fukuchi, M., and Fortier, L. 2011. Production and retention of biogenic matter in the southeast Beaufort Sea during 2003-2004: insights from annual vertical particle fluxes of organic carbon and biogenic silica. *Polar Biol.* 34(4): 501–511. doi:10.1007/s00300-010-0904-y.

-
- Sankar, R.D., Murray, M.S., and Wells, P. 2019. Decadal scale patterns of shoreline variability in Paulatuk, N.W.T, Canada. *Polar Geogr.* 42(3): 196–213. doi:10.1080/1088937X.2019.1597395.
- Scharffenberg, K., Whalen, D., Marcoux, M., Iacozza, J., Davoren, G., and Loseto, L. 2019. Environmental drivers of beluga whale *Delphinapterus leucas* habitat use in the Mackenzie Estuary, Northwest Territories, Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 626 : 209–226. doi:10.3354/meps13011.
- Schimnowski, O., Chmelnitsky, E., Hedges, K., et Loseto, L. 2017. [Indicateurs, protocoles et stratégies de surveillance possibles pour la zone d'intérêt Anguniagvia Niquigyuam](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/003. v + 23 p.
- Schmid, M.S., Aubry, C., Grigor, J., and Fortier, L. 2016. The LOKI underwater imaging system and an automatic identification model for the detection of zooplankton taxa in the Arctic Ocean. *Methods Oceanogr.* 15/16: 129-160. doi:10.1016/j.mio.2016.03.003
- Schmid, M.S., Maps, F., and Fortier, L. 2018. Lipid load triggers migration to diapause in Arctic *Calanus* copepods - insights from underwater imaging. *J. Plankton Res.* 40(3): 311–325. doi:10.1093/plankt/fby012
- Shadwick, E.H., Thomas, H., Chierici, M., Else, B., Fransson, A., Michel, C., Miller, L.A., Mucci, A., Niemi, A., Papakyriakou, T.N., and Tremblay, J.É. 2011. Seasonal variability of the inorganic carbon system in the Amundsen Gulf region of the Southeastern Beaufort Sea. *Limnol. Oceanogr.* 56(1): 303–322. doi:10.4319/llo.2011.56.1.0303.
- Shin, Y.J., Rochet, M.J., Jennings, S., Field, J.G., and Gislason, H. 2005. Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of fishing. *ICES J. Mar. Sci.* 62(3): 384–396. doi:10.1016/j.icesjms.2005.01.004.
- Simard, A., Rail, M.E., and Gratton, Y. 2010a. Distribution of temperature and salinity in the Beaufort Sea during the Canadian Arctic Shelf Exchange Study sampling expeditions 2002-2004. Report No R1187, INRS-ETE, Québec, (QC) : vii + 128 p.
- Simard, A., Rail, M.E., and Gratton, Y. 2010b. Distribution of temperature and salinity in the Canadian Arctic Archipelago during the 2006 ARCTICNET sampling expedition (from August 22nd to November 9th 2006). Report No R1127, INRS-ETE, Québec (QC) : vii + 69 p.
- Simard, A., Rail, M.E., and Gratton, Y. 2010c. Distribution of temperature and salinity in the Canadian Arctic Archipelago during the 2005 ARCTICNET sampling expedition (from August August 5th to October 27th 2005). Report No R1126, INRS-ETE, Québec, QC. vi + 79 p.
- Smith, S.L. 1991. Growth, development and distribution of the euphausiids *Thysanoessa raschi* (M . Sars) and *Thysanoessa inermis* (Krøyer) in the southeastern Bering Sea. *Polar Res.* 10(2): 461–478.
- Smith, T.G. 1981. [Notes on the bearded seal, *Erignathus barbatus*, in the Canadian Arctic](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 1042: v + 49.
- Smith, T.G. 1987. The Ringed Seal, *Phoca hispida*, of the Canadian Western Arctic. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 216: 81 p.
- Smith, T.G., and Stirling, I. 1975. The breeding habitat of the ringed seal (*Phoca hispida*). The birth lair and associated structures. *Can. J. Zool.* 53(9): 1297–1305. doi:10.1139/z75-155.
- Smoot, C.A., and Hopcroft, R.R. 2017. Depth-stratified community structure of Beaufort Sea slope zooplankton and its relations to water masses. *J. Plankton Res.* 39(1): 79–91. doi:10.1093/plankt/fbw087.
-

-
- Smythe, T.A., Loseto, L.L., Bignert, A., Rosenberg, B., Budakowski, W., Halldorson, T., Pleskach, K., and Tomy, G.T. 2018. Temporal trends of brominated and fluorinated contaminants in Canadian Arctic Beluga (*Delphinapterus leucas*). *Arct. Sci.* 404: 388–404. doi:10.1139/as-2017-0044.
- Stasko, A. 2017. Investigations into food web structure in the Beaufort Sea. Thesis (Ph.D.) University of Waterloo, Waterloo, ON. xxi + 242 p.
- Stasko, A., Swanson, H., Atchison, S., MacPhee, S., Majewski, A., de Montety, L., Archambault, P., Walkusz, W., Reist, J., and Power, M. 2017. [Stable isotope data \(\$\delta^{15}\text{N}\$, \$\delta^{13}\text{C}\$ \) for marine fishes and invertebrates from the Beaufort Regional Environmental Assessment Marine Fishes Project, August-September 2012 and 2013](#). *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1270: vi + 63 p.
- Stasko, A.D., Swanson, H., Majewski, A., Atchison, S., Reist, J., and Power, M. 2016. Influences of depth and pelagic subsidies on the size-based trophic structure of Beaufort Sea fish communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 549: 153–166. doi:10.3354/meps11709.
- Stasko, A.D., Bluhm, B.A., Michel, C., Archambault, P., Majewski, A., Reist, J.D., Swanson, H., and Power, M. 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.
- Steiner, N., Azetsu-Scott, K., Hamilton, J., Hedges, K., Hu, X., Janjua, M.Y., Lavoie, D., Loder, J., Melling, H., Merzouk, A., Perrie, W., Peterson, I., Scarratt, M., Sou, T., and Tallmann, R. 2015. Observed trends and climate projections affecting marine ecosystems in the Canadian Arctic. *Environ. Rev.* 23 (2) : 191–239. doi:10.1139/er-2014-0066.
- Steiner, N.S., Cheung, W.W.L., Cisneros-Montemayor, A.M., Drost, H., Hayashida, H., Hoover, C., Lam, J., Sou, T., Sumaila, U.R., Suprenand, P., Tai, T.C., and VanderZwaag, D.L. 2019. Impacts of the changing ocean-sea ice system on the key forage fish arctic cod (*Boreogadus saida*) and subsistence fisheries in the Western Canadian arctic-evaluating linked climate, ecosystem and economic (CEE) models. *Front. Mar. Sci.* 6: 1–24. doi:10.3389/fmars.2019.00179.
- Stern, G.A., Macdonald, C.R., Dunn, B., Fuchs, C., Harwood, L., Rosenberg, B., Muir, D.C.G. and Armstrong, D. 2005. Spatial trends and factors affecting variation of organochlorine contaminants levels in Canadian Arctic beluga (*Delphinapterus leucas*). *Sci. Total Environ.* 351–352: 344368.
- Stern, G.A., Loseto, L., Burt, A., and Ostertag, S. 2017. Update on mercury levels in Hendrickson Island and Sanikiluaq beluga *In* Synopsis of research conducted under the 2015-2016 Northern Contaminants Program. Aboriginal Affairs and Northern Development Canada, Gatineau, QC. pp. 182–188.
- Stige, L.C., Eriksen, E., Dalpadado, P., and Ono, K. 2019. Direct and indirect effects of sea ice cover on major zooplankton groups and planktivorous fishes in the Barents Sea. *ICES J. Mar. Sci.* 76(Suppl.1): 24–36. doi:10.1093/icesjms/fsz063.
- Stirling, I., Archibald, W.R., and DeMaster, D. 1977. Distribution and Abundance of Seals in the Eastern Beaufort Sea. *J. Fish. Res. Board Canada* 34(7): 976–988. doi:10.1139/f77-150.
- Stirling, I., Kingsley, M.C.S., and Calvert, W. 1982. The distribution and abundance of seals in the eastern Beaufort Sea, 1974–79. *Canadian Wildlife Service Occasional Paper* No. 47: 25 p.
-

-
- Stirling, I., Andriashek, D., and Calvert, W. 1993. Habitat Preferences of Polar Bears in the Western Canadian Arctic in Late Winter and Spring. *Polar Rec.* 29(168): 13–24. doi:10.1017/S0032247400023172.
- Stocki, T.J., Gamberg, M., Loseto, L., Pellerin, E., Bergman, L., Mercier, J., Genovesi, L., Cooke, M., Todd, B., Whyte, J., and Wang, X. 2016. Measurements of cesium in Arctic beluga and caribou before and after the Fukushima accident of 2011. *J. Environ Radioact.* 162-163 : 379–387.
- Stroeve, J.C., Kattsov, V., Barrett, A., Serreze, M., Pavlova, T., Holland, M., and Meier, W.N. 2012. Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations. *Geophys. Res. Lett.* 39(16): 1–7. doi:10.1029/2012GL052676.
- Stroeve, J., and Notz, D. 2018. Changing state of Arctic sea ice across all seasons. *Environ. Res. Lett.* 13(10): 103001. IOP Publishing. doi:10.1088/1748-9326/aade56.
- Tang, S., Larouche, P., Niemi, A. and Michel, C. 2013. Regional algorithms for remote-sensing estimates of total suspended matter in the Beaufort Sea. *Int. J. Rem. Sens.* 34 (19) : 6562 – 6576. doi:10.1080/01431161.2013.804222.
- Tedesco, L., Vichi, M., and Scoccimarro, E. 2019. Sea-ice algal phenology in a warmer Arctic. *Sci. Adv.* 5 (5) : eaav4830. doi:10.1126/sciadv.aav4830.
- The Inuvialuit Joint Secretariat. 2003. Inuvialuit Harvest Study: Data and Methods Report 1988-1997, Inuvik. The Joint Secretariat, Inuvik, NT. v + 202 p.
- Timmermans, M.L., Toole, J., and Krishfield, R. 2018. Warming of the interior Arctic Ocean linked to sea ice losses at the basin margins. *Sci. Adv.* 4 (8) : 1 –7. doi:10.1126/sciadv.aat6773.
- Tremblay, J.-É., Simpson, K., Martin, J., Miller, L., Gratton, Y., Barber, D., and Price, N.M. 2008. Vertical stability and the annual dynamics of nutrients and chlorophyll fluorescence in the coastal, southeast Beaufort Sea. *J. Geophys. Res.* 113: C07S90. doi: 10.1029/2007JC004304.
- Tremblay, J.-É., Bélanger, S., Barber, D.G., Asplin, M., Martin, J., Darnis, G., Fortier, L., Gratton, Y., Link, H., Archambault, P., Sallon, A., Michel, C., Williams, W.J., Philippe, B., and Gosselin, M. 2011. Climate forcing multiplies biological productivity in the coastal Arctic Ocean. *Geophys. Res. Lett.* 38: L18604. doi:10.1029/2011GL048825.
- Tremblay, J.-É., Robert, D., Varela, D.E., Lovejoy, C., Darnis, G., Nelson, R.J., and Sastri, A.R. 2012. Current state and trends in Canadian Arctic marine ecosystems: I. Primary production. *Clim. Change* 115: 161–178. doi:10.1007/s10584-012-0496-3.
- Tremblay, J.-É., Anderson, L.G., Matrai, P., Coupel, P., Bélanger, S., Michel, C., and Reigstad, M. 2015. Global and regional drivers of nutrient supply, primary production and CO₂ drawdown in the changing Arctic Ocean. *Prog. Oceanogr.* 139: 171–196. doi:10.1016/j.pocean.2015.08.009.
- Trueman, C.N., Johnston, G., O’Hea, B., and MacKenzie, K.M. 2014. Trophic interactions of fish communities at midwater depths enhance long-term carbon storage and benthic production on continental slopes. *Proc. R. Soc. B* 281(1787): 20140669. doi:10.1098/rspb.2014.0669.
- Ulrich, K.L. 2013. Trophic ecology of Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) in the Cumberland Sound region of the Canadian Arctic. Thesis (M.Sc.) University of Manitoba, Winnipeg, MB. xiii + 211.

-
- van Kerkhoff, L., Munera, C., Dudley, N., Guevara, O., Wyborn, C., Figueroa, C., Dunlop, M., Hoyos, M.A., Castiblanco, J., and Becerra, L. 2019. Towards future-oriented conservation: Managing protected areas in an era of climate change. *Ambio* 48(7): 699–713. doi:10.1007/s13280-018-1121-0.
- Waddell, S.R., and Farmer, D.M. 1988. Ice breakup: Observations of the acoustic signal. *J. Geophys. Res.* 93(C3): 2333–2342.
- Walkusz, W., Williams, W.J., Harwood, L.A., Moore, S.E., Stewart, B.E., and Kwasniewski, S. 2012. Composition, biomass and energetic content of biota in the vicinity of feeding bowhead whales (*Balaena mysticetus*) in the Cape Bathurst upwelling region (south eastern Beaufort Sea). *Deep. Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 69: 25–35. doi:10.1016/j.dsr.2012.05.016.
- Wassmann, P. 2011. Arctic marine ecosystems in an era of rapid climate change. *Prog. Oceanogr.* 90(1–4): 1–17. doi:10.1016/j.pocean.2011.02.002.
- Wassmann, P., and Reigstad, M. 2011. Future Arctic Ocean seasonal ice zones and implications for pelagic-benthic coupling. *Oceanography* 24(3): 220–231. doi:10.5670/oceanog.2011.74.
- Waugh, D., Pearce, T., Ostertag, S.K., Pokiak, V., Collings, P., and 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.
- Welch, H.E., and Bergmann, M.A. 1989. Seasonal development of ice algae and its prediction from environmental factors near Resolute, N.W.T., Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 1793–1804.
- Wetzel, D.L. 2007. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in Beaufort Sea beluga whales and ringed seals. Mote Marine Laboratory Technical Report 1154: 10 p.
- Williams, W.J., and Carmack, E.C. 2008. Combined effect of wind-forcing and isobath divergence on upwelling at Cape Bathurst, Beaufort Sea. *J. Mar. Res.* 66: 645–663.
- Włodarska-Kowalczyk, M., Kukliński, P., Ronowicz, M., Legeżyńska, J., and Gromisz, S. 2009. Assessing species richness of macrofauna associated with macroalgae in Arctic kelp forests (Hornsund, Svalbard). *Polar Biol.* 32(6): 897–905. doi:10.1007/s00300-009-0590-9.
- Wold, A., Darnis, G., Søreide, J.E., Leu, E., Philippe, B., Fortier, L., Poulin, M., Kattner, G., Graeve, M., and Falk-Petersen, S. 2011. Life strategy and diet of *Calanus glacialis* during the winter–spring transition in Amundsen Gulf, south-eastern Beaufort Sea. *Polar Biol.* 34(12): 1929–1946. doi:10.1007/s00300-011-1062-6.
- Xie, Y. and Farmer, D.M. 1991. Acoustical radiation from thermally stressed sea ice. *J. Acoust. Soc. Am.* 89: 2215–2231.
- Xie, Y. and Farmer, D.M. 1992. The sound of ice break-up and floe interaction. *J. Acoust. Soc. Am.* 91: 1423–1428.
- Yu, Y., Stern, H., Fowler, C., Fetterer, F. and Maslanik, J. 2014. Interannual variability of Arctic landfast ice between 1976 and 2007. *J. Clim.* 27 (1) : 227–243.
- Yurkowski, D.J., Ferguson, S., Choy, E.S., Loseto, L.L., Brown, T.M., Muir, D.C.G., Semeniuk, C.A.D., and Fisk, A.T. 2016a. Latitudinal variation in ecological opportunity and intraspecific competition indicates differences in niche variability and diet specialization of Arctic marine predators. *Ecol. Evol.* 6(6): 1666–1678. doi:10.1002/ece3.1980.

-
- Yurkowski, D.J., Semeniuk, C.A.D., Harwood, L.A., Rosing-Asvid, A., Dietz, R., Brown, T.M., Clackett, S., Grgicak-Mannion, A., Fisk, A.T., and Ferguson, S.H. 2016b. Influence of sea ice phenology on the movement ecology of ringed seals across their latitudinal range. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 562: 237–250. doi:10.3354/meps11950.
- Yurkowski, D.J., Hussey, N.E., Ferguson, S.H., and Fisk, A.T. 2018a. A temporal shift in trophic diversity among a predator assemblage in a warming Arctic. *R. Soc. Open Sci.* 5(10): 180259. doi:10.1098/rsos.180259.
- Yurkowski, D.J., Auger-Méthé M., Mallory, M.L., Wong, S., Gilchrist, H.G., Derocher, A.E., Richardson, E., Lunn, N.J., Hussey, N.E., Marcoux, M., Togunov, R., Fisk, A.T., Harwood, L., Dietz, R., Rosing-Asvid, A., Born, E.W., Mosbech, A., Fort, J., Grémillet, D., Loseto, L.L., Richard, P.R., Iacozza, J., Jean-Gagnon, F., Brown, T.M., Westdal, K., Orr, J., LeBlanc, B., Hedges, K.J., Treble, M., Kessel, S.T., Blanchfield, P.J., Davis, S., Maftei, M., Spencer, N.C., McFarlane Tranquilla, L.A., Montevecchi, W.A., Bartzen, B., Dickson, L., Anderson, C., and Ferguson, S.H. 2018b. [Arctic Hotspots DDI shapefiles.zip. figshare](#). Dataset.
- Yurkowski, D.J., Auger-Méthé, M., Mallory, M.L., Wong, S.N.P., Gilchrist, G., Derocher, A.E., Richardson, E., Lunn, N.J., Hussey, N.E., Marcoux, M., Togunov, R.R., Fisk, A.T., Harwood, L.A., Dietz, R., Rosing-Asvid, A., Born, E.W., Mosbech, A., Fort, J., Grémillet, D., Loseto, L., Richard, P.R., Iacozza, J., Jean-Gagnon, F., Brown, T.M., Westdal, K.H., Orr, J., LeBlanc, B., Hedges, K.J., Treble, M.A., Kessel, S.T., Blanchfield, P.J., Davis, S., Maftei, M., Spencer, N., McFarlane-Tranquilla, L., Montevecchi, W.A., Bartzen, B., Dickson, L., Anderson, C., and Ferguson, S.H. 2019. Abundance and species diversity hotspots of tracked marine predators across the North American Arctic. *Divers. Distrib.* 25(3): 328–345. doi:10.1111/ddi.12860.
- Zhu, X., Gallagher, C.P., Howland, K. L., Harwood, L.A., et Tallman, R.F. 2017. [Évaluation à multiples modèles de la production de la population, et recommandations à l'égard des niveaux de prises durables de l'omble chevalier anadrome, *Salvelinus alpinus* \(L.\), dans la rivière Hornaday \(Territoires du Nord-Ouest\)](#). *Can. Sci. Advis. Secr. Res. Doc.* 2016/116. v + 81 p.

ANNEXE A. PRIORITÉS DE SURVEILLANCE FOURNIES PAR LE GROUPE DE TRAVAIL SUR LA ZPMAN

Tableau A1. Priorités de surveillance fournies par le groupe de travail sur la ZPMAN pour éclairer les discussions sur les indicateurs de surveillance écologique.

Thème	Priorité du groupe de travail sur la ZPMAN
Pêche de subsistance	Recueillir, synthétiser et résumer les données existantes sur les prises de subsistance dans la ZPMAN.
	Assurer la collecte et la vérification continues et à long terme des données sur la pêche de subsistance dans la ZPMAN.
Zones hauturières	Résumer et examiner les tendances de la concentration de la glace de mer, du moment de l'englacement et de la débâcle, des mouvements, de la répartition et du type de glace dans les zones hauturières de la ZPMAN et les eaux adjacentes passées, présentes et futures.
	Carte bathymétrique complète de la baie Darnley et de la ZPMAN pour la navigation, l'interprétation des données biologiques et la compréhension des schémas de circulation.
	Recenser et suivre les communautés de poissons-proies, comme la morue arctique, au large du cap Parry qui soutiennent ou attirent des mammifères marins en quête de nourriture, en particulier le phoque annelé à longueur d'année et le béluga de façon saisonnière.
	Mammifères marins : garantir et surveiller l'utilisation continue des zones hauturières de la ZPMAN par les espèces dont se nourrissent les mammifères marins.
Zones côtières (moins de 20 m)	Comprendre la présence et l'importance d'espèces envahissantes dans la ZPMAN, ainsi que comment et si elles interagissent avec les espèces nommées dans le deuxième objectif de conservation, entrent en concurrence avec elles ou les forcent à se déplacer.
	Surveiller la santé et la viabilité des stocks de poissons-proies dans les zones côtières, y compris le capelan et la morue arctique, leurs proies et leurs habitats dans les zones côtières de la ZPMAN.

Thème	Priorité du groupe de travail sur la ZPMAN
	Surveiller la santé et la viabilité des stocks d'omble chevalier, de leurs proies et de leurs habitats dans la ZPMAN.
	Surveiller la présence et l'alimentation du phoque annelé et du phoque barbu, de leurs proies et de leurs habitats dans les zones côtières de la ZPMAN.
	Garantir la santé et la viabilité des stocks de corégone, de leurs proies et de leurs habitats dans la ZPMAN.
	Établir une base de référence de l'étendue, de la concentration, du type et du moment de formation de la glace de mer dans les zones côtières de la ZPMAN, comme support de déplacement, comme habitat du phoque et de l'ours et comme composante de l'écosystème.
	Dresser une carte bathymétrique à jour de la ZPMAN et de la baie Darnley.
	Établir les tendances, les périodes et les emplacements dans les zones de la ZPMAN qui attirent des bélugas, et les raisons pour lesquelles ils sont attirés.
Événements inhabituels	Recueillir, compiler et centraliser des données et des observations existantes et nouvelles d'événements écologiques inhabituels afin de pouvoir déterminer les changements et les déplacements touchant les espèces, les habitats ou les écosystèmes dans la ZPMAN (l'approche des canaris dans une mine de charbon).
Pressions et menaces	Veiller à ce que les activités de navigation commerciale ne perturbent pas les mammifères marins, en particulier le béluga, ou n'entraînent pas leur déplacement.
	Veiller à ce que l'activité touristique à grande et à petite échelle dans la ZPMAN ne perturbe pas l'utilisation des habitats côtiers par les mammifères marins ou n'entraînent pas leur déplacement.
	Veiller à ce que les déversements de navires ne dégradent pas les habitats ou ne causent pas de dommages aux espèces dans la ZPMAN.
	Évaluer et surveiller la présence de plastiques dans les habitats de la ZPMAN et chez les espèces qui les utilisent.

ANNEXE B. BIBLIOGRAPHIE ANNOTÉE DES SOURCES PUBLIÉES DE CONNAISSANCES AUTOCHTONES CONSULTÉES POUR CETTE ÉTUDE

KAVIK-AXYS Inc. 2012. *Traditional and Local Knowledge Workshop for the Paulatuk Area of Interest*. KAVIK-AXYS Inc., Inuvik (T.N.-O.) et Calgary (Alb.) 46 p. [en anglais seulement]

Ce rapport documente les connaissances traditionnelles et locales recueillies au cours d'un atelier d'une journée et demie tenu à Paulatuk en mars 2011 portant sur le biote et les plantes à proximité de la péninsule Parry et de la baie Darnley, en mettant un accent particulier sur le littoral entre le cap Parry et Paulatuk. Douze résidents inuvialuits de Paulatuk ont été choisis par le Comité de chasseurs et de trappeurs de Paulatuk (CCT) pour y participer, en incluant un échantillon représentatif de groupes d'âge allant des jeunes aux aînés. Un questionnaire élaboré conjointement par le MPO et KAVIK-AXYS Inc. et un ensemble de cartes ont été utilisés pour orienter les discussions, et des ressources supplémentaires ont été mises à la disposition des participants (p. ex., plan de conservation de la collectivité de Paulatuk, atlas de l'étude sur les captures des Inuvialuits, photos des espèces et livres de référence). L'atelier comprenait des discussions de groupe ouvertes, des séances en petits groupes de discussion et des discussions dirigées par des questions, et s'est terminé par une séance visant à clarifier et à valider les renseignements recueillis. L'information a été enregistrée sous forme écrite et vidéo et résumée dans le rapport produit par KAVIK-AXYS Inc.

McNicholl, D.G., Wolki, B. et Ostertag, S. (2017b). *Traditional Ecological Knowledge and Local Observations of Capelin (*Mallotus villosus*) in Darnley Bay, NT*. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3144 : vi + 20 p. [en anglais seulement]

En juillet 2015, le MPO a mené une étude pour documenter les observations historiques faites par les membres de la collectivité de Paulatuk au sujet de la durée de l'observation du capelan dans la baie Darnley, des endroits où il a été observé, s'il était la proie d'espèces de subsistance importantes et s'il avait déjà été pêché pour la consommation humaine à Paulatuk. Les connaissances autochtones sur le capelan ont été recueillies au moyen d'entrevues et d'un questionnaire structuré élaboré par un jeune Inuvialuit choisi par le CCT de Paulatuk. Cinq détenteurs de connaissances ont été choisis pour participer aux entrevues du CCT de Paulatuk en fonction de leur expérience de longue date au cap Parry et le long de la côte de la baie Darnley. Cinq autres observateurs inuvialuits de Paulatuk se sont portés volontaires pour participer à l'étude et communiquer des connaissances plus récentes sur le capelan dans la région. Les questionnaires ont été examinés et approuvés par divers comités d'éthique et le CCT de Paulatuk.

Comité de chasseurs et de trappeurs de Paulatuk, Société communautaire de Paulatuk, Conseil consultatif de la gestion de la faune des Territoires du Nord-Ouest, Comité mixte de gestion de la pêche et Secrétariat mixte. 2016. *Paulatuk Community Conservation Plan* [plan de conservation de la collectivité de Paulatuk]. Secrétariat mixte, Inuvik (Nt) 188 p. [en anglais seulement]

Le plan de conservation de la collectivité de Paulatuk est un document de planification communautaire préparé à l'origine en 1990 par le CCT de Paulatuk, la société communautaire des Inuvialuits et le comité des aînés de Paulatuk pour répondre au premier objectif du Plan de conservation et de gestion des ressources renouvelables des Inuvialuits (1998). Des mises à jour du plan de conservation de la collectivité de Paulatuk ont été entreprises en 2000, 2008 et 2016 en rétablissant des groupes de travail qui comprenaient un échantillon représentatif de groupes d'âge de personnes issues d'organisations inuvialuites et non inuvialuites, en déployant des efforts considérables pour inclure les opinions et les avis des membres de la collectivité inuvialuite et des organisations gouvernementales. Le plan décrit le système actuel de conservation et de gestion des ressources dans la RDI, une stratégie visant à atteindre les

objectifs de conservation, les processus visant à éviter les conflits d'utilisation des terres et les effets cumulatifs. Il donne un aperçu de l'écologie, de l'utilisation de l'habitat et de l'importance culturelle et économique des espèces d'intérêt dans la zone de planification. Le plan vise à exprimer les objectifs de la collectivité inuvialuite en ce qui concerne la conservation des terres, de l'eau et des ressources vivantes.

ANNEXE C. PRINCIPAUX PARAMÈTRES DE SURVEILLANCE POUR CHAQUE INDICATEUR RECOMMANDÉ

Tableau C1. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance des paramètres océanographiques fondamentaux et des concentrations de nutriments (Section 5.1).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Profils de température et de salinité (variation en fonction de la profondeur)	<p>Mesure de la température et de la salinité à des profondeurs distinctes ou en continu dans la colonne d'eau selon la technologie ou la technique d'échantillonnage.</p> <p>Ce paramètre permet la classification de base de l'habitat marin, de la distribution des masses d'eau, des régimes de circulation et des événements de remontée et de plongée d'eau qui distribuent les nutriments soutenant la productivité de l'écosystème, surtout lorsqu'ils sont mesurés en parallèle avec les concentrations de nutriments.</p> <p>Il peut être utilisé pour suivre les apports d'eau douce des rivières et la fonte de la glace de mer, en particulier lorsqu'il est utilisé avec le $\delta^{18}\text{O}$.</p>	<p>Détermination des endroits où les conditions de température et de salinité préférées des producteurs primaires, des poissons et des mammifères marins se trouvent.</p> <p>Ce paramètre influence la formation et la fonte de la glace de mer, un habitat clé des systèmes marins de l'Arctique.</p> <p>Il contrôle la stratification et le mélange dans la colonne d'eau, qui sont à leur tour liés à la disponibilité des nutriments dans la couche supérieure de la colonne d'eau et influent sur l'emplacement et le moment de la prolifération d'algues, la composition des communautés de producteurs primaires et le transfert d'énergie dans le réseau trophique.</p> <p>Il permet l'identification des événements de remontée et de plongée d'eau et des régimes de circulation océanique, et la détermination de la profondeur du brassage d'eau par les vents, qui sont importants pour reconstituer les nutriments qui soutiennent la productivité de l'écosystème dans la zone photique (voir la <i>Section 6.2</i>).</p>	<p>La plupart des indices recommandés peuvent être mesurés en même temps à l'aide d'un seul instrument équipé de capteurs multiples. Des échantillons physiques d'eau doivent être prélevés pour mesurer les concentrations de nutriments (nitrate, phosphate, acide silicique), les rapports d'isotopes stables de l'oxygène et le carbone inorganique dissous.</p> <p>Si les mesures sont effectuées au moyen de programmes d'échantillonnage périodiques (c.-à-d. des techniciens qui prennent des mesures physiques à des endroits et à des heures prescrits), il faut accorder une attention particulière à la résolution temporelle et spatiale. Le modèle d'échantillonnage permet de construire l'image. La pratique courante consiste généralement à adopter une approche à deux niveaux fondée sur 1) un échantillonnage relativement fréquent (toutes les quelques semaines) à quelques sites choisis afin d'observer les variations saisonnières et de saisir les événements épisodiques et leurs implications biologiques et 2) un échantillonnage moins fréquent (une à trois fois par année) sur un ensemble plus large de sites largement répartis afin de saisir les schémas régionaux et les événements inhabituels à une plus</p>
Profil d'oxygène dissous	Quantité d'oxygène dissous disponible à toutes les profondeurs.	Il établit un lien entre l'océanographie et l'habitat des animaux de niveau trophique supérieur. L'oxygène dissous est nécessaire pour la plupart des espèces marines qui ne sont pas des mammifères (p. ex., zooplancton, poissons, benthos). Des conditions anoxiques peuvent indiquer qu'un habitat ne convient pas à de nombreux animaux et établir un lien entre le développement de l'anoxie et les conditions océanographiques ou biologiques.	

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		Également utilisé pour indiquer la répartition dans les masses d'eau.	grande échelle spatiale, à l'intérieur et à l'extérieur de la ZPMAN.
Nitrate	Concentration de nitrate disponible dans toute la colonne d'eau.	En océanographie physique, les nutriments inorganiques contribuent à déterminer la répartition dans les masses d'eau, la détection des événements de remontée et de plongée d'eau et la détermination de la profondeur du brassage d'eau par les vents. Pour la production primaire, le nitrate et le phosphate limitent les nutriments pour la croissance de tous les organismes autotrophes. L'acide silicique peut être un nutriment limitant pour les diatomées, qui peuvent dominer les communautés de phytoplancton dans l'Arctique. L'approvisionnement en nutriments disponible pour les producteurs primaires dans la zone photique influence non seulement la production primaire totale potentielle du système, mais aussi les types de producteurs primaires qui peuvent prospérer dans ces conditions. Les diatomées de grande taille qui sont appréciées des larves de poissons et des brouteurs de zooplancton ont tendance à dominer lorsque les nutriments sont abondants, ce qui favorise un transfert énergétique efficace vers les niveaux trophiques supérieurs. Le phytoplancton de petite taille, mieux adapté aux faibles concentrations de nutriments, ne transfère pas l'énergie aussi efficacement aux niveaux trophiques supérieurs.	Il peut être avantageux d'utiliser la surveillance continue en temps réel de certains de ces paramètres à un certain nombre d'endroits au moyen d'instruments amarrés pour obtenir des données détaillées pour la partie (1) du programme d'échantillonnage. Des profileurs de courant à effet Doppler amarrés seraient nécessaires pour mesurer la vitesse de courant. Idéalement, les indices de la production primaire (voir la <i>Section 6.2</i>) seraient mesurés en parallèle avec les paramètres océanographiques fondamentaux et les concentrations de nutriments. Les micronutriments comme le fer influencent également la production primaire et les processus du réseau trophique.
Phosphate	Concentration de phosphate disponible dans toute la colonne d'eau.		
Acide silicique	Concentration d'acide silicique disponible dans toute la colonne d'eau.		
Carbone inorganique dissous et alcalinité totale	Indicateurs de l'acidification des océans.	L'eau froide absorbe plus de CO ₂ atmosphérique que l'eau chaude, ce qui rend les eaux arctiques particulièrement vulnérables à l'acidification. Les eaux acides peuvent perturber une foule de fonctions pour le zooplancton et les invertébrés benthiques qui sont vulnérables à la dissolution de leur coquille, comme les ptéropodes, les crabes, les bivalves et les étoiles de mer. Les conséquences pour de nombreuses espèces de proies clés (p. ex.,	

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		<i>Calanus</i> spp., <i>Themisto</i> spp.) et les larves de poissons demeurent incertaines.	
Turbidité	Clarté de l'eau et quantité de particules en suspension dans l'eau.	Déterminant des conditions de l'habitat du zooplancton, des poissons et des mammifères marins. Elle peut limiter la disponibilité de la lumière pour la détection visuelle des proies de certains prédateurs de niveau trophique supérieur, et peut limiter la lumière disponible pour la production primaire. Elle peut indiquer des événements océanographiques énergétiques qui remettent en suspension des sédiments du fond marin.	
Rapports d'isotopes stables de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$)	Distribution des apports en eau douce.	<p>Les distributions de l'eau douce influencent les déplacements de certains prédateurs de niveau trophique supérieur, dont l'omble chevalier et le béluga.</p> <p>Ce paramètre permet de suivre les contaminants transportés dans l'océan Arctique par les afflux d'eau des rivières et de l'océan Pacifique Nord.</p> <p>Il influence la répartition de certaines espèces fourragères, comme le zooplancton et les poissons-proies, qui préfèrent les eaux douces.</p> <p>Il influence la répartition de certains habitats benthiques et des sources d'aliments détritiques, car les matières organiques terrestres en suspension se déposent hors du panache d'eau douce.</p> <p>Il influence la production primaire et la composition en espèces des producteurs primaires. La production peut augmenter en raison de nutriments supplémentaires provenant de sources d'eau douce à l'échelle locale, ou diminuer si la charge de sédiments en suspension diminue la disponibilité de la lumière dans la colonne d'eau.</p>	
Vitesses du courant et dérive de la glace de mer	Régimes de circulation de l'eau	Les courants (et la dérive de la glace de mer) sont les moyens par lesquels la glace de mer, l'eau des rivières, l'eau du Pacifique, l'eau de l'Atlantique,	

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		<p>leurs nutriments, l'oxygène dissous, les sédiments en suspension, les contaminants et le plancton sont acheminés vers la ZPMAN en provenance de l'extérieur de l'écosystème local.</p> <p>Ils déterminent la façon dont les événements océanographiques énergétiques (mouvements d'eau entraînés par le vent, remontée et plongée d'eau) qui se produisent à l'intérieur et à l'extérieur de la ZPMAN influent sur les conditions de l'habitat local, la production primaire et la disponibilité de l'habitat pour les animaux à tous les niveaux du réseau trophique. Sans une meilleure compréhension de la circulation de l'eau, il sera difficile de comprendre comment le milieu marin de la baie Darnley interagit avec l'océanographie physique et biologique du réseau plus vaste du golfe Amundsen et de quelle façon ce dernier l'influence, qui détermine en fin de compte si l'habitat de la ZPMAN demeurera convenable pour les animaux valorisés de niveau trophique supérieur.</p> <p>Ce paramètre permet une meilleure modélisation biophysique des habitats et la prédiction des conséquences des changements environnementaux (p. ex., tempêtes, changements dans la configuration des vents).</p>	
Rayonnement photosynthétique actif	La quantité de lumière disponible pour la production primaire et la profondeur à laquelle elle pénètre.	Il détermine les profondeurs auxquelles la production primaire peut se produire et la période pendant laquelle la photosynthèse (basée sur le rayonnement solaire) peut avoir lieu. Important pour la modélisation de la production primaire du réseau trophique; lié à la production primaire et à d'autres paramètres océaniques (p. ex., sédiments en suspension).	
Profils sonores sous-marins (si on surveille également le bruit)	La vitesse à laquelle le son se déplace dans l'eau, qui dépend d'un certain nombre de paramètres de la	La vitesse du son est nécessaire pour interpréter avec précision les données sur le bruit sous-marin (voir la <i>Section 7.1</i>). Si le bruit sous-marin est mesuré, le bruit sous-marin ambiant devrait	

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
sous-marin d'origine anthropique)	colonne d'eau susmentionnés, qui varient selon la profondeur.	également être surveillé pour distinguer les sources naturelles des sources anthropiques de bruit.	

Tableau C2. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance de la structure de la glace, de l'épaisseur de la neige et de la glace, ainsi que du moment de la débâcle et de l'englacement (Section 5.2).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Moment du retrait de la glace (pour la glace fixée à la rive), et de la débâcle (pour la banquise) et de la formation de la glace	Principales dates concernant le retrait et la formation de la glace de mer, et la durée totale de la saison des eaux libres.	<p>C'est probablement l'indice le plus pertinent pour la fonction écosystémique globale dans cette catégorie. Le moment du retrait et de la formation de la glace de mer influe sur la durée de la saison de mise bas des phoques; détermine le moment des migrations d'arrivée et de départ du béluga, de la baleine boréale et des jeunes phoques annelés adultes à l'échelle régionale, ainsi que les migrations vers la mer de l'omble chevalier des rivières Hornaday et Brock à l'échelle locale; influe sur le succès du recrutement de la morue arctique et du zooplancton du genre <i>Calanus</i>; influe sur la disponibilité de la nourriture et des eaux libres pour les oiseaux de mer en halte migratoire. Les interactions printanières glace-océan-atmosphère ouvrent la voie à la production primaire et à la reconstitution des nutriments.</p> <p>Des saisons sans glace plus longues peuvent profiter à certains mammifères marins, oiseaux de mer et à l'omble chevalier en leur permettant de chercher plus longtemps de la nourriture en eau libre pour d'importantes ressources alimentaires, mais elles nuisent aux espèces dépendantes des glaces comme le phoque annelé et l'ours blanc. Le recrutement de la morue arctique bénéficie de saisons de croissance un peu plus longues en eau libre,</p>	Annuellement; peut être obtenu à partir de données satellitaires, et on peut effectuer des rétrocalculs pour les années précédentes afin de créer une base de référence.

		<p>mais cette espèce est également considérée comme dépendante de la glace.</p> <p>La durée des saisons d'eau libre dans les réseaux d'eau douce adjacents a également une incidence sur les habitats côtiers (p. ex., la quantité d'eau douce déversée et son étendue côtière) qui, à leur tour, peuvent avoir une incidence sur la production ou les schémas migratoires et d'alimentation du biote côtier, y compris les espèces clés.</p>	
Épaisseur de la neige	Disponibilité d'un habitat sous la neige pour les phoques; approximation de la quantité de rayonnement photosynthétiquement actif qui atteint les algues sous la glace (probablement plus importante que l'épaisseur de la glace elle-même).	<p>Impératif pour la mise bas du phoque annelé au printemps, qui se produit principalement sur la banquise côtière qui s'est formée l'automne précédent. Il peut être particulièrement important de surveiller l'épaisseur des congères là où elles s'accumulent contre les ondules glaciels.</p> <p>Conjointement à l'épaisseur de la glace de mer, elle influe sur le développement de la production d'algues de glace au printemps et au début de l'été, ce qui a des effets en cascade sur tous les niveaux trophiques supérieurs.</p>	<p>À intervalles réguliers, lorsque les déplacements sur la glace sont sécuritaires, au moins une fois par mois ou plus fréquemment (p. ex., chaque semaine).</p> <p>Les mesures de la profondeur de la neige devraient être prises le long de transects afin de pouvoir examiner la variabilité spatiale. Les transects doivent être de plus de 25 m, avec échantillonnage à des intervalles d'un mètre. Les transects doivent être parallèles et perpendiculaires à la direction de la congère.</p>

Tableau C3. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance de la répartition des habitats benthiques (Section 5.3).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Bathymétrie	Bathymétrie pour toute la baie Darnley.	D'un point de vue biologique, la bathymétrie est principalement nécessaire pour comprendre et construire des modèles informatiques de la circulation océanique (prédiction), laquelle affecte toute la vie marine. Elle indique également des caractéristiques importantes de l'habitat (p. ex., crêtes, profondeurs de l'habitat, caractéristiques du fond marin).	Il est fortement recommandé d'effectuer un levé ponctuel pour établir une base de référence. Des lignes de levé espacées d'un à deux kilomètres répondraient au besoin initial.
Cartographie de la composition des sédiments et de l'habitat benthique	Répartition des différents types de sédiments (p. ex., taille des grains) et caractéristiques de l'habitat.	<p>Elle détermine les types d'habitats disponibles pour les poissons et les invertébrés benthiques, qui contribuent à la répartition des principales sources de nourriture benthique pour les animaux de niveau trophique supérieur.</p> <p>Elle peut permettre de déceler des habitats attrayants pour le béluga (p. ex., roches de frottement), de déterminer les effets du frottement du fond par le chavirement de la glace (une perturbation naturelle) et de découvrir des habitats uniques ou rares (p. ex., varech).</p> <p>Liée à l'océanographie et à la circulation océanique (p. ex., les courants rapides balayent le limon du fond et favorisent de gros grains de sédiments) et au suivi des répercussions des changements côtiers sur le milieu marin (p. ex., les effets du dépôt de matières érodées et de nutriments terrestres dans les zones littorales).</p> <p>Prérequis pour déterminer l'emplacement des habitats benthiques sensibles avant tout échantillonnage entrant en contact avec le fond concernant les poissons et les invertébrés benthiques, et pour éclairer les autorisations pour les activités potentiellement dommageables comme le dragage et le mouillage.</p>	<p>Il est fortement recommandé d'effectuer un levé ponctuel pour établir une base de référence; il faut le répéter sur des échelles de temps pertinentes s'il est lié à une hypothèse, à un risque ou à une sensibilité en particulier (p. ex., pour surveiller la stabilité des habitats riverains exposés à une érosion potentielle).</p> <p>Un sonar moderne à faisceaux multiples pour la cartographie de la profondeur fournit également la force de l'écho qui peut guider la classification de l'habitat benthique.</p>

Indicateurs de l'approvisionnement alimentaire benthique (p. ex., teneur en matières organiques, pigments benthiques et rapports d'isotopes stables [$\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$], HBI, composition en acides gras des sédiments)	Quantité d'aliments détritiques disponibles pour le réseau trophique benthique, façon dont ils se répartissent dans l'espace et leur provenance (p. ex., algues de glace fraîchement établies, phytoplancton, matières en décomposition d'origine marine ou terrestre).	Liés à la répartition des espèces benthiques, aux points chauds de la biomasse, à la quantité et au type de production primaire, et aux processus océanographiques, qui ont tous une incidence sur la disponibilité des aliments et les comportements d'alimentation des mammifères marins, des poissons et des oiseaux de mer des niveaux trophiques supérieurs.	Annuellement à un ensemble de sites principaux qui sont répartis entre différents types d'habitats (emplacements déterminés par la composition des sédiments). Les isotopes stables fournissent la plus grande quantité d'information pour l'effort et le coût les plus bas. Les HBI fournissent des informations sur la disponibilité relative du carbone produit par les algues de glace par rapport au phytoplancton. Les concentrations de matières organiques et de pigments fournissent des données importantes sur la disponibilité des aliments dans les sédiments si des échantillons quantitatifs peuvent être prélevés au moyen de carottiers.
Échantillons « supplémentaires » de sédiments en vrac	Séries chronologiques pour les menaces et contaminants futurs imprévus.	Les contaminants et les polluants se déposent et s'accumulent souvent dans les sédiments. Il serait prudent de prélever des échantillons supplémentaires de sédiments en vrac conjointement avec ceux prélevés pour établir l'approvisionnement en nourriture benthique. Les échantillons « supplémentaires » resteraient archivés dans un congélateur jusqu'à ce qu'on en ait éventuellement besoin à l'avenir. Les échantillons archivés pourraient fournir une série chronologique permettant de suivre l'introduction d'une menace de contamination future (analyses rétrospectives, conception statistique avant-après).	

Tableau C4. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance des changements côtiers (Section 5.4).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Référence historique de la position côtière	Taux d'érosion à long terme à partir de photos aériennes et de la localisation par satellite du littoral menant à une évaluation sur 50 ans pour l'ensemble de la région.	Le dépôt de grandes quantités de matières terrestres a des conséquences pour les poissons, les invertébrés et les producteurs primaires côtiers, bien qu'on ne les comprenne pas encore bien. Par exemple, les matières terrestres nouvellement déposées pourraient créer ou détruire l'habitat requis par certaines espèces côtières, déposer des contaminants dans le milieu marin et soit améliorer la production primaire en y introduisant des	Les mesures doivent être répétées sur un cycle de deux à cinq ans dans les principales zones désignées. Des études ciblées devraient être réalisées sur les sites déterminés par le savoir autochtone sur une base annuelle ou semestrielle afin de mieux comprendre la réaction immédiate des côtes en cas d'événements graves (tempêtes) et leurs répercussions sur la région.
Relevés aériens par drone de la position côtière	Données détaillées sur la position côtière moyenne pour détecter l'érosion côtière ou le dépôt de sédiments côtiers.		

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Installation d'un observatoire côtier	Données en temps réel sur les facteurs environnementaux qui entraînent des changements côtiers (vent, vagues, niveau de la mer et température de l'air).	nutriments, soit la diminuer en limitant la disponibilité de la lumière.	Les observations devraient se faire de la débâcle jusqu'après l'englacement, car les pires tempêtes se produisent à l'automne. Disponibilité des données en temps réel.

Tableau C5. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance des apports d'eau douce et des liens terrestres (Section 5.5).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Rapports d'isotopes stables de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) [Tableau C1]	Répartition des apports d'eau douce.	Ces paramètres influencent les déplacements de certains prédateurs de niveau trophique supérieur, dont l'omble chevalier et le béluga. Ils influencent la répartition de certaines espèces fourragères, comme le zooplancton et les poissons-proies, qui préfèrent les eaux douces.	L'échantillonnage devrait se faire en même temps que l'échantillonnage des paramètres océanographiques fondamentaux et de la production primaire, et suivre la méthode d'échantillonnage à deux niveaux décrite à la <i>Section 5.1</i> . Les emplacements des sites d'échantillonnage devraient comprendre des zones à proximité et au large des embouchures des rivières pour enregistrer les apports d'eau douce.
Profils de température et de salinité de la colonne d'eau (Tableau C1)	La profondeur et l'étendue spatiale de l'eau douce chaude qui est probablement dérivée du débit fluvial.	Ils influencent la répartition de certains habitats benthiques et des sources d'aliments détritiques, car les matières organiques terrestres en suspension se déposent hors du panache d'eau douce.	
Nitrate, phosphate et acide silicique (Tableau C1)	Répartition et concentration des nutriments d'origine terrestre.	Les rapports des nutriments influencent le type et l'ampleur de la production primaire. L'apport d'eau douce supplémentaire peut modifier les rapports des nutriments, ce qui, à son tour, peut modifier la production primaire, modifier la composition en espèces des producteurs primaires et promouvoir la prédominance des cellules petites qui ne transfèrent pas efficacement l'énergie aux niveaux trophiques supérieurs. Il peut également influencer les algues productrices de toxines qui peuvent s'accumuler dans le réseau trophique.	
Turbidité (Tableau C1)	Effet des sédiments en suspension dans le débit fluvial sur la transmission de la lumière à travers la colonne d'eau.	La disponibilité de la lumière peut être réduite dans le panache d'eau douce en raison des sédiments en suspension et de l'augmentation de la turbidité, ce qui peut diminuer la production primaire.	
Tendances annuelles des précipitations	Lien entre les tendances des précipitations, les niveaux d'eau dans	Le moment, le type et la quantité de précipitations ont une incidence directe sur les régimes saisonniers des	
			Toute l'année. Un ensemble tronqué de données sur les précipitations recueillies à la station climatique de Paulatuk est disponible

	les rivières et les taux de débit fluvial.	niveaux d'eau et des taux de débit fluvial qui drainent le bassin versant.	après d'ECCC. Aucune donnée n'est actuellement disponible pour le bassin versant des rivières Brock et Hornaday.
Débit mensuel de la rivière Hornaday (volume total et taux)	La quantité d'eau douce rejetée dans le réseau marin par la principale source d'eau douce dans la baie Darnley, et les tendances saisonnières du taux de débit (p. ex., lorsque les débits de pointe se produisent).	<p>Pour la baie Darnley, l'augmentation des précipitations peut accroître la connectivité de l'habitat entre les cours d'eau et le milieu marin pour les poissons anadromes, accroître la disponibilité des nutriments d'origine terrestre pour les milieux côtiers, et ainsi contribuer à l'augmentation des taux de croissance des poissons anadromes (et possiblement des poissons marins côtiers).</p> <p>Les changements du moment ou de l'ampleur de la crue printanière peuvent avoir une incidence sur les dates de la débâcle dans la partie méridionale de la ZPMAN, avec des effets possibles sur la surveillance concernant le moment de la migration des poissons anadromes, l'utilisation de l'habitat des glaces par les animaux de niveau trophique supérieur, et le moment et l'ampleur de la production primaire dans les zones côtières.</p>	À l'heure actuelle, les seules données disponibles sur le débit d'eau douce dans la ZPM proviennent d'une jauge de niveau d'eau d'ECCC installée dans la rivière Hornaday. Cette jauge fournit des données mensuelles et annuelles sur les débits de 1999 à 2001 et les débits et niveaux d'eau de la rivière de 2002 à 2009 et de 2010 à 2021 (données disponibles auprès d'ECCC (recherche de données hydrométriques)).
Sédiments $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ et rapports carbone-azote (Tableau C3)	L'étendue et la répartition des matières organiques d'origine terrestre qui se sont déposées hors du panache d'eau douce.	<p>Ce paramètre fournit de l'information sur la quantité de matières organiques d'origine terrestre qui se sont déposées de la colonne d'eau dans les sédiments (et peut servir d'approximation pour d'autres matières provenant de la dégradation du pergélisol).</p> <p>D'un point de vue biologique, cela fournit de l'information sur la disponibilité de suppléments alimentaires terrestres pour les organismes benthiques. Il y a des preuves que les matières organiques d'origine terrestre peuvent servir de source d'alimentation efficace pour les communautés de bactéries marines benthiques, qui peuvent à leur tour alimenter les communautés d'invertébrés benthiques productives qui agissent comme proies pour les animaux de niveau trophique supérieur.</p> <p>Du point de vue de l'océanographie physique, cette information peut aider à déduire les régimes de circulation de l'eau qui régissent le mouvement des apports terrestres ou favorisent le dépôt des matières organiques.</p>	L'échantillonnage devrait se faire en même temps que l'échantillonnage pour la surveillance de la répartition de l'habitat benthique et suivre les approches décrites à la <i>Section 5.3</i> . Les emplacements des sites d'échantillonnage devraient comprendre des zones à proximité et au large des embouchures des rivières pour enregistrer les apports terrestres.

Tableau C6.1. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance des liens trophiques et du transfert d'énergie (Section 6.1).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Estimations des liens alimentaires entre les principales espèces de cinq groupes trophiques primaires, soit les producteurs primaires , le zooplancton , les poissons , les invertébrés benthiques et les mammifères marins . Les liens alimentaires peuvent être estimés à l'aide d'un ou d'une combinaison des éléments ci-dessous.		Les liens trophiques ont été désignés comme des composantes valorisées de l'écosystème dans la ZPMAN, et sont soulignés par l'accent mis par les objectifs de conservation pour la ZPMAN sur le maintien de la productivité de l'écosystème pour l'alimentation des niveaux trophiques supérieurs. Pour déterminer si cet objectif est atteint ou non, l'accent doit être mis sur le transfert et la fourniture d'énergie.	Annuellement, à moins qu'il y ait un intérêt particulier pour la surveillance des régimes alimentaires à différents moments de l'année, ou pour la compréhension des changements saisonniers. Il est à noter que les contaminants s'accumulent dans les organismes vivants et se bioamplifient également et peuvent être utilisés comme indicateurs pour élucider les voies trophiques et les transferts d'énergie à différentes échelles temporelles. Les données recueillies pour surveiller les contaminants (Tableau C7.2) peuvent avoir une valeur ajoutée comme paramètre pour les liens trophiques et le transfert d'énergie.
Analyses du contenu stomacal ET/OU	Les espèces de proies consommées et leur proportion relative dans le régime alimentaire passé immédiat des consommateurs.	Les avantages comprennent la détermination de l'espèce exacte et des proportions de proies consommées. Cependant, le contenu stomacal ne représente que le dernier repas consommé et est biaisé au détriment des proies faciles à digérer, de sorte que la diversité alimentaire peut être sous-représentée. Les individus ont souvent l'estomac vide au moment de leur capture. Les analyses peuvent coûter cher, selon le niveau de détail désiré.	
Rapports d'isotopes stables ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) ET/OU	Niveau trophique ($\delta^{15}\text{N}$) et sources de carbone ($\delta^{13}\text{C}$; p. ex., carbone benthique par rapport au carbone pélagique) intégrés sur plusieurs semaines ou mois.	Les avantages comprennent un faible coût et un régime alimentaire intégrés à plus long terme. Les inconvénients comprennent le manque de détermination de l'espèce exacte des proies et des facteurs abiotiques/biotiques de confusion potentiels qui influent sur les rapports d'isotopes stables	

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Compositions d'acides gras ET/OU	Les sources générales d'énergie et les habitudes alimentaires sont intégrées sur plusieurs jours ou semaines.	(p. ex., famine, enrichissement microbien d'isotopes lourds, hydrocarbures). Les avantages comprennent une détermination plus précise des sources alimentaires potentielles par rapport aux isotopes stables, puisque certains acides gras ne peuvent pas être synthétisés chez le consommateur et sont assimilés directement à partir des proies. Toutefois, contrairement au contenu stomacal, elles ne peuvent pas être utilisées pour déterminer les sources exactes d'aliments, puisque la plupart des acides gras indiquent de vastes catégories de proies (p. ex., bactéries, <i>Calanus</i> sp., bivalves) et peuvent être transmis par une proie intermédiaire (p. ex., un prédateur peut acquérir des acides gras de <i>Calanus</i> de la morue arctique qui s'est nourrie d'espèces du genre <i>Calanus</i>). Les inconvénients comprennent des exigences d'entreposage sensibles et des coûts relativement élevés.	
Isoprénoïdes hautement ramifiés (HBI)	Dépendance à l'énergie dérivée des algues de glace par rapport au phytoplancton.	Les avantages comprennent la surveillance des contributions relatives des deux principales sources d'énergie à la base du réseau trophique, les algues sympagiques et le phytoplancton, à un consommateur. Les algues de glace fournissent des acides gras essentiels à la croissance et à la reproduction des principales espèces de zooplancton qui ne peuvent pas les synthétiser. Les inconvénients sont les mêmes que pour les compositions d'acides gras.	
Rapports d'isotopes stables ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$), HBI et acides gras des sédiments	Les valeurs de référence des biotraceurs du niveau trophique inférieur sont nécessaires pour établir la direction et l'ampleur des transferts trophiques.	Ce paramètre permet de déterminer les sources d'énergie qui alimentent le réseau trophique benthique (p. ex., les algues de glace, le phytoplancton) ainsi que les matières par lesquelles l'énergie est transférée (matières organiques marines fraîches, matières organiques marines recyclées ou matières organiques terrestres). Il détermine les principales voies du réseau trophique	

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		<p>qui peuvent être tracées jusqu'aux niveaux trophiques supérieurs.</p> <p>De plus, pour les isotopes stables, il peut être utilisé pour fournir une mesure de référence isotopique, qui est nécessaire pour calculer les niveaux trophiques, estimer les voies du réseau trophique et comparer les rapports d'isotopes stables pour les animaux de niveau trophique supérieur entre les années et les sites.</p>	
Teneur calorique des principales espèces de zooplancton, de poissons-proies et de proies benthiques	Densité énergétique des sources de proies, en calories.	Lorsqu'elle est mesurée chez les proies, elle estime la qualité des proies en matière de densité énergétique. Lorsqu'elle est combinée aux estimations de la biomasse des proies, elle peut être utilisée pour estimer l'énergie disponible pour les consommateurs à un endroit donné. Par conséquent, elle contribue à comprendre les liens entre la qualité des proies et la nutrition des principaux prédateurs.	

Tableau C6.2 Principaux paramètres de mesure pour la surveillance des producteurs primaires associés à la glace, vivant sous la glace et vivant en eau libre (Section 6.2).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
<p>Concentrations de chlorophylle <i>a</i> (totale ou par classe de taille)</p>	<p>Elles sont utilisées pour estimer la biomasse totale des producteurs primaires (stocks actuels) et pour effectuer des comparaisons spatiales et temporelles de la production primaire océanique. Lorsqu'elles sont analysées en fonction des classes de taille, elles reflètent également la composition fonctionnelle et taxonomique des producteurs primaires.</p>	<p>Un indicateur des stocks actuels de producteurs primaires, qui détermine la quantité de matières organiques (et d'énergie) disponible pour le réseau trophique, y compris les mammifères marins, les oiseaux de mer et les poissons prédateurs du niveau trophique supérieur.</p> <p>Le moment et l'ampleur des proliférations d'algues de glace et de phytoplancton (événements de forte biomasse) sont importants pour comprendre quelle proportion de cette énergie peut être transférée aux niveaux trophiques supérieurs. L'échantillonnage réparti dans l'espace permet également de déterminer les points chauds productifs et, lorsqu'il est associé à l'océanographie physique et chimique et aux conditions de la glace de mer (Tableaux C1 et C2), il permet de comprendre les conditions qui soutiennent ces points chauds (p. ex., à savoir si la prolifération printanière coïncide avec le moment où les principales proies zooplanctoniques des poissons remontent à la surface et ont besoin d'une nourriture algale abondante; si les proliférations se produisent à des moments et à des endroits qui soutiennent des communautés de brouteurs de niveau trophique moyen suffisantes pour attirer et soutenir la baleine boréale et l'omble chevalier).</p> <p>Lorsqu'elle est analysée par classe de taille, la chlorophylle <i>a</i> est un indicateur de la biomasse produite par des groupes de taille précis de producteurs primaires. La classe de taille et le type taxonomique du producteur primaire ont une incidence sur l'efficacité des transferts d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs. En termes simples, par exemple, les diatomées de grande taille sont consommées</p>	<p>Au moins une fois par année, mais de préférence plusieurs fois par année dans un ensemble de sites clés pour saisir la variation saisonnière. Si les ressources sont limitées, la mesure de la composition en espèces peut se limiter à quelques sites principaux.</p> <p>La mesure tout au long de l'année permet de saisir les tendances relatives au moment et à l'ampleur de la production primaire (p. ex., la prolifération d'algues), tandis que l'échantillonnage réparti spatialement permet également de déterminer les points chauds productifs et, lorsqu'il est jumelé à l'océanographie physique et chimique et aux conditions de la glace de mer, fournit une compréhension des conditions qui soutiennent ces points chauds.</p> <p>Un protocole d'échantillonnage efficace associerait les activités d'échantillonnage de la production primaire aux activités d'échantillonnage océanographique, à l'aide du plan d'échantillonnage à deux niveaux décrit à la <i>Section 5.1</i>.</p> <p>L'élaboration d'une liste d'espèces indicatrices dépassait la portée de cet examen. Pućko et ses collaborateurs (2019) ont fourni une liste des espèces d'algues toxiques observées dans l'ouest de l'Arctique, qui peut éclairer l'interprétation des analyses taxonomiques ou la sélection d'espèces indicatrices potentielles. Il est à noter que la présence d'une espèce ne confirme pas que des proliférations d'algues nuisibles se sont produites ou se produiront, car de nombreuses espèces productrices de toxines</p>

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		directement par le zooplancton herbivore et les larves de poissons, ce qui favorise le transfert efficace de la production primaire à la production secondaire. Le phytoplancton de petite taille est transféré moins efficacement aux niveaux trophiques supérieurs. Ces grands groupes de producteurs primaires prospèrent dans des conditions différentes.	ne produisent de toxines que dans des conditions environnementales particulières.
Profil de fluorescence de la chlorophylle	La fluorescence de la chlorophylle est un indicateur de la biomasse relative (quantité) des producteurs primaires.	<p>C'est un indicateur clé pour les producteurs primaires. Les profils de fluorescence aident à déterminer la profondeur à laquelle se produit la biomasse maximale du producteur primaire et sont souvent utilisés pour sélectionner les profondeurs pour l'échantillonnage d'eau pour les paramètres de production primaire. La fluorescence relative et la profondeur de la fluorescence maximale fournissent des renseignements sur la progression saisonnière de la biomasse du producteur primaire et l'emplacement des points chauds.</p> <p>La fluorescence du phytoplancton varie grandement selon la physiologie, en particulier en réponse aux conditions de la lumière. Par conséquent, la fluorescence ne représente pas directement la biomasse de la chlorophylle a, ni la biomasse du phytoplancton. La valeur écologique des profils de fluorescence est grandement améliorée lorsqu'elle est vérifiée sur le terrain par la biomasse de phytoplancton mesurée à partir d'échantillons d'eau.</p>	
Carbone organique particulaire (COP), azote organique particulaire (AOP)	Le COP reflète la quantité de carbone disponible provenant des producteurs primaires. Ensemble, le COP et l'AOP sont utilisés pour calculer le rapport carbone-azote, un indicateur de la santé et de l'état du réseau. Tous deux sont	Le COP mesure la quantité de carbone organique disponible aux niveaux trophiques supérieurs. Le COP et l'AOP sont des paramètres importants pour les modèles biophysiques (p. ex., pour évaluer les répercussions des changements climatiques) et pour les modèles du réseau trophique qui évaluent les transferts d'énergie et les liens	

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
	mesurés à partir du même échantillon.	trophiques. Le rapport carbone-azote peut indiquer un changement dans la qualité des aliments disponibles pour les brouteurs.	
Composition taxonomique	Structure et fonction de la communauté de producteurs primaires; biodiversité et diversité fonctionnelle; expansion de l'aire de répartition d'espèces; présence d'espèces pouvant produire des toxines marines nocives dans des conditions particulières; détermination des espèces indicatrices clés.	<p>Des changements dans la composition de la communauté peuvent être associés à des changements environnementaux. La composition en espèces des producteurs primaires est importante pour comprendre la structure et le fonctionnement de l'écosystème, et dans quelles conditions différentes espèces sont susceptibles de prospérer avec les changements climatiques. C'est important parce que différentes espèces jouent des rôles différents dans le réseau trophique et font circuler l'énergie et les matières différemment.</p> <p>Les changements dans les assemblages d'espèces peuvent être des indicateurs précoces d'une situation préoccupante, comme la présence ou l'augmentation de l'abondance d'espèces productrices de toxines, avec des conséquences importantes pour les animaux de niveau trophique supérieur et la sécurité alimentaire des collectivités.</p> <p>Les principales espèces dominantes d'algues de glace et de phytoplancton peuvent servir d'espèces indicatrices, y compris les algues potentiellement toxiques, qui peuvent déterminer les changements dans la communauté de producteurs primaires et fournir un avertissement rapide des changements potentiels qui peuvent avoir une incidence sur le réseau trophique et les niveaux trophiques supérieurs.</p>	
Paramètres océanographiques fondamentaux (Tableau C1)	Les paramètres des producteurs primaires fournissent des renseignements écologiques et sur le réseau trophique qui devraient être jumelés aux paramètres	L'habitat disponible pour les producteurs primaires, ce qui influence la capacité de production totale du réseau et les types de	

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
	physiques et chimiques fondamentaux de l'océan.	producteurs primaires qui peuvent prospérer dans ces conditions/régions.	
Concentrations de nutriments (Tableau C1)	Les paramètres des producteurs primaires devraient être jumelés à ceux qui sont énumérés pour les concentrations de nutriments; au minimum, les macronutriments : nitrate (et nitrite), acide silicique et phosphate.	L'approvisionnement en nutriments disponible pour les producteurs primaires, qui influe sur la production potentielle totale du réseau et les types de producteurs primaires qui peuvent prospérer dans ces conditions/régions. Les micronutriments comme le fer influencent également la production primaire et les processus du réseau trophique.	

Tableau C6.3. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté de zooplancton (Section 6.3).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Composition taxonomique	Structure de la communauté complète de zooplancton, y compris un répertoire des espèces présentes.	Des données taxonomiques complètes peuvent être utilisées pour calculer les indices de la structure de la communauté, comme la richesse, la diversité et la régularité des espèces (p. ex., l'indice de diversité de Shannon et l'indice de régularité de Pielou). L'information taxonomique peut être utilisée pour estimer la diversité fonctionnelle dans la communauté, ce qui est important pour l'efficacité du transfert d'énergie des producteurs primaires aux niveaux trophiques supérieurs par l'entremise des proies zooplanctoniques; elle peut également être utilisée pour suivre l'arrivée de nouvelles espèces causée par l'expansion naturelle de leur aire de répartition ou par une invasion. L'abondance relative et la biomasse calculées à partir des données sur la composition en espèces sont importantes pour comprendre comment la communauté est structurée et comment elle peut changer en réponse aux perturbations anthropiques ou à la variabilité et	Au moins annuellement, mais de préférence plusieurs fois par année pour saisir les variations saisonnières de l'été à l'hiver. Il serait préférable que l'échantillonnage coïncide avec les mesures des paramètres océanographiques fondamentaux, des concentrations de nutriments et de la production primaire au moins une fois par année. Dans la mesure du possible, les profils de température et de salinité doivent être prélevés en même temps que les échantillons de zooplancton.

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		<p>au changement du climat. Elle peut être utilisée pour suivre les changements dans la dominance relative des espèces et agir ainsi comme signe avant-coureur de changement près du bas du réseau trophique (p. ex., diminution de l'abondance relative des principales espèces fourragères, diminution des espèces considérées comme sensibles à une menace particulière, comme l'acidification des océans, augmentation de l'abondance relative du zooplancton gélatineux inestomable).</p>	
<p>Biomasse relative des espèces indicatrices clés ou classes de taille</p>	<p>Biomasse des espèces indicatrices clés (ou classes de taille) de zooplancton les unes par rapport aux autres ou normalisée selon l'effort d'échantillonnage (p. ex., densité de biomasse par volume d'eau échantillonnée).</p>	<p>Elle donne une indication de la disponibilité relative des principales proies pour les poissons et les mammifères marins. Il est important de suivre les changements chez les espèces qui représentent des fonctions clés dans l'écosystème. Un ensemble d'espèces indicatrices devrait comprendre les espèces qui sont importantes pour l'alimentation des poissons et des mammifères marins, les espèces qui sont sensibles à des facteurs de stress/menaces particuliers (p. ex., acidification des océans, contaminants liés aux navires) ou les espèces qui couvrent un large éventail de groupes fonctionnels.</p> <p>L'abondance relative et la biomasse peuvent être calculées à partir des données complètes sur la composition en espèces (voir ci-dessus) en supposant que la méthode d'échantillonnage est normalisée et comparée entre les sites, les années ou les saisons pour faire le surveillance des changements. Par ailleurs, la biomasse relative des principales classes de taille du zooplancton peut être utilisée pour surveiller les grands changements dans la composition de la communauté, avec des fractionnements représentatifs de chaque classe de taille préservés pour d'éventuelles analyses taxonomiques futures.</p>	<p>Comme ci-dessus.</p> <p>Les données annuelles sur la biomasse peuvent être recueillies à l'aide d'un profileur acoustique de zooplancton et de poissons amarré, ce qui peut être utile dans les zones septentrionales et hauturières de la ZPMAN auxquelles on accède moins fréquemment.</p> <p>L'élaboration d'une liste d'espèces indicatrices dépassait la portée de cet examen. Cependant, les espèces-proies importantes pour une grande variété de consommateurs du réseau trophique (morue arctique, poissons benthiques et baleine boréale) sont : <i>Calanus hyperboreus</i>, <i>Calanus glacialis</i>, <i>Metridia longa</i>, <i>Themisto libellula</i> et <i>Thysanoessa inermis</i>.</p> <p>Le ptéropode <i>Limacina helicina</i> est vulnérable à la dissolution de la coquille due à l'acidification des océans.</p>

Tableau C6.4. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté d'invertébrés benthiques (Section 6.4).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Composition taxonomique	Structure de la communauté benthique, y compris un répertoire des espèces présentes et leur densité relative. La composition taxonomique serait de préférence déterminée au niveau de l'espèce, mais pourrait être triée en groupes taxonomiques plus larges (p. ex., bivalves, décapodes, amphipodes).	<p>Des données taxonomiques complètes peuvent être utilisées pour calculer les indices de la composition de la communauté, comme la richesse, la diversité et la régularité des espèces (p. ex., l'indice de diversité de Shannon et l'indice de régularité de Pielou) ou les indices de la réaction de la communauté aux perturbations (p. ex., l'indice biotique marin de l'AZTI), qui peuvent être utilisés pour suivre l'évolution de la qualité des aliments benthiques en réponse aux forçages anthropiques et climatiques.</p> <p>L'information taxonomique peut être utilisée pour estimer la diversité fonctionnelle dans la communauté, ce qui est important pour l'efficacité du transfert d'énergie des niveaux trophiques inférieurs aux niveaux supérieurs, et pour le cycle des nutriments.</p> <p>Des données taxonomiques au niveau de l'espèce peuvent être utilisées pour suivre l'arrivée de nouvelles espèces causée par l'expansion naturelle de leur aire de répartition ou par une invasion.</p>	<p>Annuellement, pendant la saison des eaux libres à un ensemble de sites de surveillance clés qui captent l'hétérogénéité spatiale des types d'habitats. Un échantillonnage hivernal supplémentaire donnerait un aperçu de la dynamique communautaire saisonnière ou trophique, si elle est d'intérêt.</p> <p>La meilleure façon de concevoir le plan d'échantillonnage serait de cartographier la répartition de l'habitat benthique (voir la Section 5.3) pour s'assurer que l'échantillonnage saisit la variation spatiale des caractéristiques de l'habitat et que des stratégies d'échantillonnage non invasif sont utilisées lorsque des habitats sensibles sont détectés.</p>
Biomasse relative des espèces indicatrices clés	Biomasse des principales espèces benthiques indicatrices les unes par rapport aux autres ou normalisée selon l'effort d'échantillonnage (p. ex., densité de biomasse par volume d'eau échantillonnée).	<p>Il est important de suivre les changements chez les espèces qui remplissent des fonctions clés dans l'écosystème, possiblement comme indicateurs d'alerte précoce d'altérations du réseau trophique. Un ensemble d'espèces indicatrices devrait comprendre les espèces qui sont importantes pour l'alimentation des poissons et des mammifères marins ou les espèces sensibles à des facteurs de stress/menaces particuliers.</p> <p>La biomasse relative peut être comparée entre les sites, les années ou les saisons pour suivre les changements de la disponibilité relative des</p>	<p>L'élaboration d'une liste d'espèces indicatrices dépassait la portée de cet examen. De nombreux invertébrés benthiques sont considérés comme de bonnes espèces indicatrices pour certains types de perturbations locales parce qu'ils sont étroitement liés à leur habitat. Il existe d'importantes recherches sur ce sujet, mais les objectifs précis de la surveillance doivent être définis afin de sélectionner les espèces indicatrices (p. ex., à savoir si les espèces indicatrices sont nécessaires pour refléter les répercussions du réchauffement, des effluents d'eaux usées, de la sédimentation, du développement de l'infrastructure côtière, des</p>

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		<p>principales sources de nourriture, déterminer les déclin potentiels chez les espèces sensibles ou suivre les réponses des invertébrés benthiques aux facteurs environnementaux (surtout si elle est jumelée aux données sur l'habitat, voir ci-dessous). La biomasse relative peut être calculée à partir de données complètes sur toutes les espèces présentes (voir ci-dessus) si la méthode d'échantillonnage est normalisée.</p> <p>Elle peut également indiquer des points chauds d'alimentation pour les prédateurs des niveaux trophiques supérieurs.</p>	<p>contaminants). En l'absence de données sur les sensibilités propres aux espèces, les espèces indicatrices devraient couvrir un large éventail de groupes fonctionnels. Les indicateurs agrégés, comme l'indice biotique marin de l'AZTI, pourraient être une meilleure approche provisoire.</p> <p>Voir le Tableau C6.9 pour les invertébrés potentiellement colonisateurs.</p>
Renseignements sur l'habitat benthique et océanographique	À tout le moins, profondeur, température au fond et salinité au fond. Voir les autres variables de l'habitat décrites dans les Tableaux C1 et C3.	Des données taxonomiques peuvent être utilisées conjointement avec la répartition de l'habitat océanographique et benthique pour déterminer les associations avec l'habitat des espèces qui pourraient aider à déterminer l'emplacement des points chauds d'alimentation pour les mammifères marins et à prédire les réactions des poissons aux changements environnementaux éventuels.	

Tableau C6.5. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté de poissons hauturiers (Section 6.5).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Composition taxonomique de l'ensemble des prises	Structure de la communauté de poissons, y compris un répertoire des espèces présentes et leur abondance relative.	Des données taxonomiques complètes peuvent être utilisées pour calculer les indices de la composition de la communauté, comme la richesse, la diversité et la régularité des espèces. Ces mesures fournissent des renseignements importants sur la disponibilité relative de différentes espèces fourragères pour les mammifères marins et servent d'indicateur de la fonction écosystémique globale.	Annuellement, pendant la saison des eaux libres à un ensemble de sites de surveillance clés qui captent l'hétérogénéité spatiale des types d'habitats. Il serait préférable que l'échantillonnage coïncide avec les profils de température et de salinité dans la mesure du possible. Un échantillonnage hivernal supplémentaire donnerait un aperçu de la dynamique communautaire saisonnière ou trophique, si elle est d'intérêt.

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		<p>Des données taxonomiques au niveau de l'espèce peuvent être utilisées pour suivre l'arrivée de nouvelles espèces par l'expansion naturelle de leur aire de répartition ou par une invasion, et contribuer à surveiller la présence de poissons potentiellement colonisateurs (<i>Section 6.8</i>).</p>	<p>Le chevauchement taxonomique parmi les poissons hauturiers, côtiers et qui sont des proies peut permettre d'obtenir des renseignements comparatifs sur la stabilité ou le changement dans les différents écotypes présents dans la ZPMAN et dans la grande région de la baie Darnley. De même, le chevauchement taxonomique entre ces trois groupes de poissons peut aider à établir des liens trophiques et énergétiques entre eux et à mieux comprendre leur pertinence pour les organismes de niveau trophique supérieur.</p>
<p>Capture par unité d'effort des espèces indicatrices clés</p>	<p>Ce paramètre est utilisé pour calculer l'abondance et la biomasse relatives des espèces indicatrices clés.</p>	<p>Il est important de suivre les changements chez les espèces qui occupent des rôles fonctionnels clés dans l'écosystème, possiblement comme indicateurs d'alerte précoce d'altérations du réseau trophique. Un ensemble d'espèces indicatrices devrait comprendre les espèces qui sont importantes pour l'alimentation des poissons et des mammifères marins, les espèces pour lesquelles la ZPMAN représente un habitat essentiel ou les espèces sensibles à des facteurs de stress/menaces particuliers (p. ex., acidification des océans, contaminants liés aux navires).</p> <p>La biomasse relative peut être comparée entre les sites, les années ou les saisons pour suivre les changements dans la disponibilité relative des principales sources de nourriture, déterminer les déclin potentiels chez les espèces sensibles ou suivre les réponses des poissons aux facteurs environnementaux (surtout si elle est jumelée aux données sur l'habitat, voir ci-dessous). L'abondance et la biomasse relatives peuvent être calculées à partir de données complètes sur la composition de toutes les espèces (voir ci-dessus) si la méthode d'échantillonnage est normalisée.</p>	<p>L'élaboration d'une liste d'espèces indicatrices dépassait la portée de cet examen, mis à part pour les espèces qui sont déjà mises en évidence dans d'autres sections pour leurs fonctions écosystémiques particulières (voir les Tableaux C6.7 à C6.9). La sélection des espèces indicatrices est actuellement entravée par un manque de compréhension de l'importance de la baie Darnley pour les populations régionales (p. ex., à savoir si elle représente un habitat d'élevage ou d'alimentation clé pour certaines espèces) et de la sensibilité à des facteurs de stress anthropiques particuliers à toutes les étapes du cycle vital. En l'absence de telles données, les espèces indicatrices devraient couvrir un large éventail de groupes fonctionnels.</p>

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		Ce paramètre peut également indiquer des points chauds d'alimentation pour les prédateurs de niveau trophique supérieur.	
Renseignements sur l'habitat benthique et océanographique	À tout le moins, profondeur, température au fond et salinité au fond. Voir les autres variables de l'habitat décrites dans les Tableaux C1 et C3.	Des données taxonomiques peuvent être utilisées conjointement avec la répartition de l'habitat océanographique et benthique pour déterminer les associations avec l'habitat des espèces qui pourraient aider à déterminer l'emplacement des points chauds d'alimentation pour les mammifères marins et à prédire les réponses des poissons aux changements environnementaux éventuels.	

Tableau C6.6. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance de la composition, de la structure et de la fonction de la communauté de poissons côtiers (Section 6.6).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Composition taxonomique de l'ensemble des prises	Structure de la communauté de poissons, y compris un répertoire des espèces présentes et leur abondance relative.	Des données taxonomiques complètes peuvent être utilisées pour calculer les indices de la composition de la communauté, comme la richesse, la diversité et la régularité des espèces. Ces mesures fournissent des renseignements importants sur la disponibilité relative de différentes espèces fourragères pour les mammifères marins et servent d'indicateur de la fonction écosystémique globale. Des données taxonomiques au niveau de l'espèce peuvent être utilisées pour suivre l'arrivée de nouvelles espèces par l'expansion naturelle de leur aire de répartition ou par une invasion, et contribuer à surveiller la présence de poissons potentiellement colonisateurs (Section 6.8).	Annuellement, pendant la saison des eaux libres à un ensemble de sites de surveillance clés qui captent l'hétérogénéité spatiale des types d'habitats. Il serait préférable que l'échantillonnage coïncide avec les profils de température et de salinité dans la mesure du possible. Un échantillonnage hivernal supplémentaire donnerait un aperçu de la dynamique communautaire saisonnière ou trophique, si elle est d'intérêt. Le chevauchement taxonomique parmi les poissons hauturiers, côtiers et qui sont des proies peut permettre d'obtenir des renseignements comparatifs sur la stabilité ou le changement dans les différents écotypes présents dans la ZPMAN et dans la grande région de la baie Darnley. De même, le chevauchement taxonomique entre ces trois groupes de poissons peut aider à établir des

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
			liens trophiques et énergétiques entre eux et à mieux comprendre leur pertinence pour les organismes trophiques supérieurs.
Capture par unité d'effort des espèces indicatrices clés	Ce paramètre est utilisé pour calculer l'abondance et la biomasse relatives des espèces indicatrices clés.	<p>Il est important de suivre les changements chez les espèces qui occupent des rôles fonctionnels clés dans l'écosystème, possiblement comme indicateurs d'alerte précoce d'altérations du réseau trophique. Un ensemble d'espèces indicatrices devrait comprendre les espèces qui sont importantes pour l'alimentation des poissons et des mammifères marins, les espèces pour lesquelles la ZPMAN représente un habitat essentiel ou les espèces sensibles à des facteurs de stress/menaces particuliers (p. ex., acidification des océans, contaminants liés aux navires).</p> <p>La biomasse relative peut être comparée entre les sites, les années ou les saisons pour suivre les changements dans la disponibilité relative des principales sources de nourriture, déterminer les déclin potentiels chez les espèces sensibles ou suivre les réponses des poissons aux facteurs environnementaux (surtout si elle est jumelée aux données sur l'habitat, voir ci-dessous). L'abondance et la biomasse relatives peuvent être calculées à partir de données complètes sur la composition de toutes les espèces (voir ci-dessus) si la méthode d'échantillonnage est normalisée.</p> <p>Ce paramètre peut également indiquer des points chauds d'alimentation pour les prédateurs de niveau trophique supérieur.</p>	L'élaboration d'une liste d'espèces indicatrices dépassait la portée de cet examen, mis à part pour les espèces qui sont déjà mises en évidence dans d'autres sections pour leurs fonctions écosystémiques particulières (voir les Tableaux C6.7 à C6.9). La sélection des espèces indicatrices est actuellement entravée par un manque de compréhension de l'importance de la baie Darnley pour les populations régionales (p. ex., à savoir si elle représente un habitat d'élevage ou d'alimentation clé pour certaines espèces) et de la sensibilité à des facteurs de stress anthropiques particuliers à toutes les étapes du cycle vital. En l'absence de telles données, les espèces indicatrices devraient couvrir un large éventail de groupes fonctionnels.
Renseignements sur l'habitat benthique et océanographique	À tout le moins, profondeur, température au fond et salinité au fond. Voir les autres variables de l'habitat décrites dans les Tableaux C1 et C3.	Des données taxonomiques peuvent être utilisées conjointement avec la répartition de l'habitat océanographique et benthique pour déterminer les associations d'habitats des espèces qui pourraient aider à déterminer l'emplacement des points chauds d'alimentation	

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		pour les mammifères marins et à prédire les réponses des poissons aux changements environnementaux éventuels.	

Tableau C6.7. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance de l'abondance relative et de la biomasse de la communauté de poissons-proies (Section 6.7).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Captures par unité d'effort de poissons adultes	Ce paramètre est utilisé pour calculer l'abondance et la biomasse relatives des espèces fourragères clés.	Il fournit de l'information sur la disponibilité relative des principales sources de proies des mammifères marins et la détermination de l'emplacement des points chauds d'alimentation. Nécessaire pour déterminer si les changements de comportement ou relatifs à la santé des mammifères marins sont liés aux changements dans la disponibilité des aliments. Il peut également être utilisé pour établir des associations avec l'habitat des poissons-proies lorsqu'il est utilisé en conjonction avec les paramètres océanographiques fondamentaux et la répartition de l'habitat benthique. Ensemble, les données peuvent servir à prédire les effets des changements environnementaux sur les principales espèces dont se nourrissent les mammifères marins.	Annuellement, pendant la saison des eaux libres à un ensemble de sites de surveillance clés qui captent l'hétérogénéité spatiale des types d'habitats. Il serait préférable que l'échantillonnage coïncide avec les profils de température et de salinité dans la mesure du possible. Un échantillonnage hivernal supplémentaire donnerait un aperçu de la dynamique communautaire saisonnière ou trophique, si elle est d'intérêt. Les données annuelles sur la biomasse peuvent être recueillies à l'aide d'un profileur acoustique de zooplancton et de poissons amarré, ce qui peut être particulièrement utile dans les zones septentrionales et hauturières de la ZPMAN auxquelles on accède moins fréquemment.
Abondance ou biomasse relative des juvéniles	Ce paramètre est utilisé pour comprendre le succès du recrutement et les fluctuations interannuelles de l'abondance des cohortes d'adultes.	Les données sont utilisées pour déterminer le succès du recrutement pour les principales espèces fourragères. Elles peuvent également être utilisées pour établir des associations avec l'habitat des larves de poissons-proies lorsqu'elles sont prises en compte en conjonction avec les paramètres océanographiques fondamentaux et la répartition de l'habitat benthique. Ces renseignements peuvent à leur tour être utilisés pour prédire les effets des changements environnementaux sur le succès du recrutement	Le chevauchement taxonomique parmi les poissons hauturiers, côtiers et qui sont des proies peut permettre d'obtenir des renseignements comparatifs sur la stabilité ou le changement dans les différents écotypes présents dans la ZPMAN et dans la grande région de la baie Darnley. De même, le chevauchement taxonomique entre ces trois groupes de poissons peut aider à établir des liens trophiques et énergétiques entre eux et à mieux comprendre leur pertinence pour les organismes de niveau trophique supérieur.

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		et la survie des principales populations de poissons-proies.	Les principaux poissons-proies sont la morue arctique (<i>Boreogadus saida</i>), le capelan (<i>Mallotus villosus</i>) et le lançon (<i>Ammodytes hexapterus</i>).
Renseignements sur l'habitat océanographique, la glace de mer et la neige	À tout le moins, profils de profondeur, de température et de salinité avec des renseignements contextuels régionaux sur l'épaisseur de la glace de mer et de la neige ainsi que le moment de la débâcle de la glace de mer. Voir les autres variables de l'habitat décrites dans les Tableaux C1 et C3.	Voir ci-dessus. Les renseignements sur l'habitat sont essentiels pour déterminer et prévoir les endroits les plus propices à l'alimentation des mammifères marins et prévoir les réactions des poissons-proies aux changements environnementaux éventuels.	

Tableau C6.8. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance de l'abondance relative, de l'utilisation de l'habitat et de la structure des populations de poissons anadromes (Section 6.8).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Données sur la biologie et les populations provenant des programmes existants de surveillance de l'omble chevalier des rivières Hornaday et Brock	Évaluations de la structure et de la taille des populations ou de l'effort de capture directement liés à leur pêche.	À l'heure actuelle, on ne sait pas trop comment la ZPMAN est utilisée par les importants poissons anadromes (p. ex., l'omble chevalier, le corégone tschir). Les données associées à la pêche de l'omble chevalier sont disponibles dans le cadre des programmes existants, mais des données supplémentaires provenant de programmes d'échantillonnage au filet randomisé indépendants de la pêche seront utiles pour déterminer l'utilisation de l'habitat marin à l'extérieur des principales zones de pêche, et pour des espèces autres que l'omble chevalier.	Annuellement, lorsque l'omble chevalier se nourrit dans le milieu marin; le programme d'échantillonnage peut être intégré aux relevés annuels des poissons côtiers (Section 6.6) pour déterminer l'utilisation de l'habitat et l'abondance relative dans la ZPMAN en particulier. Il peut de plus intégrer les données fournies par les programmes existants d'évaluation des stocks d'omble chevalier et de surveillance des prises pour les zones de la ZPMAN (Tippitiuyak, baie Argo). Lorsqu'elles sont disponibles, utiliser les données d'évaluation des stocks pour mettre en contexte les données sur les poissons pêchés.
Capture par unité d'effort	Ce paramètre est utilisé pour calculer l'abondance relative.	Les abondances relatives peuvent être comparées entre les emplacements et les années pour surveiller la façon dont les poissons anadromes utilisent l'habitat de la ZPMAN. Lorsqu'elles sont utilisées conjointement avec les paramètres océanographiques fondamentaux et la répartition de l'habitat benthique (Tableaux C1 et C3), les abondances relatives peuvent aider à comprendre et à prévoir les effets des changements environnementaux sur les poissons anadromes. Les données fourniraient également des renseignements sur l'abondance relative des sources de proies pour les mammifères marins.	
Moment de la montaison et de la dévalaison	Période pendant laquelle les poissons anadromes utilisent l'habitat marin.	Indice simple de la période saisonnière à l'intérieur de laquelle les poissons anadromes utilisent l'habitat marin, qui peut être liée à des changements des conditions océaniques et de la glace de mer ou à d'autres facteurs environnementaux.	Annuellement; peut être déterminé à partir des observations de la collectivité ou des programmes existants de surveillance des captures et peut-être liée à la durée de la saison des eaux libres.

Tableau C6.9. Principaux paramètres de mesure pour surveiller la présence et le moment d'arrivée d'espèces potentiellement colonisatrices (Section 6.9).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Date d'arrivée	Année et moment de l'année où une observation est faite pour la première fois.	Elle fournit des indices potentiels sur la cause de la migration dans la région, surtout lorsqu'elle est utilisée conjointement avec des indicateurs liés au contexte environnemental de base (Tableaux C1 à C5).	Elle est déclarée sur la même échelle temporelle que les relevés du zooplancton, des invertébrés benthiques et de la composition en espèces des communautés de poissons. Les observations et les prélèvements de spécimens effectués indépendamment des relevés de surveillance ou dans le cadre d'autres programmes devraient être recueillis de façon continue (c.-à-d. chaque fois que l'observation est faite).
Abondance qualitative ou capture par unité d'effort	Estimation qualitative de l'abondance si les observations sont faites à l'extérieur d'un relevé de surveillance, ou capture par unité d'effort et biomasse/abondance relative si l'espèce est observée lors d'un relevé de surveillance normalisé.	Ce paramètre sert à suivre les tendances de l'abondance et à déterminer si une espèce potentiellement colonisatrice devient prévalente. L'abondance relative est importante pour prédire si l'espèce est susceptible d'avoir une incidence importante sur l'écosystème de la ZPMAN.	Les saumons ont été désignés comme des poissons qui pourraient coloniser la baie Darnley, bien que leur capacité d'établir des populations reproductrices ne soit pas claire.
Association avec un habitat	Habitat dans lequel la nouvelle espèce a été observée.	Ce paramètre fournit une indication des exigences en matière d'habitat, qui sont importantes pour l'élaboration de mesures de contrôle potentielles; peut être utilisé pour déduire quelles sont les espèces indigènes qui peuvent interagir avec les espèces potentiellement colonisatrices, leur faire concurrence ou en tirer profit.	Les invertébrés reconnus comme espèces aquatiques envahissantes présentant un risque relativement élevé d'établissement dans l'Arctique canadien (en raison des effets combinés des changements climatiques et de l'augmentation du trafic maritime) sont <i>Littorina littorea</i> , <i>Mya arenaria</i> et <i>Paralithoides camtschaticus</i> . Pour plus de renseignements, voir Goldsmit <i>et al.</i> (2018).
ADNe	Présence d'une nouvelle espèce.	Détermination des espèces potentiellement colonisatrices qui peuvent interagir avec les espèces résidentes, leur faire concurrence ou en tirer profit; permet d'obtenir un avertissement initial du changement sous-jacent de la communauté ou de l'écosystème et de tirer des conclusions sur les conséquences possibles (qui peuvent ensuite être utilisées pour éclairer l'échantillonnage et la surveillance).	Annuellement, pendant la saison des eaux libres, dans plusieurs zones/sites clés de la ZPMAN et dans la grande région de la baie Darnley.

Tableau C6.10. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance de la présence et de l'absence, du moment d'arrivée, de l'utilisation de l'habitat et de la composition des groupes de mammifères marins (Section 6.11).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Déplacements	La façon dont les mammifères marins se déplacent à proximité de la ZPMAN, y compris dans les zones extracôtières et le reste de la baie Darnley.	Les objectifs de conservation pour la ZPMAN mettent l'accent sur la conservation de l'habitat marin et des espèces fourragères qui soutiennent les principales espèces de niveau trophique supérieur. La surveillance des habitudes de déplacement, du moment de l'arrivée et du départ, de l'emplacement des agrégations et de la composition des groupes de mammifères marins est la première étape pour évaluer si l'habitat marin dans la région de la ZPMAN répond aux besoins de chaque espèce. Ces données fourniront l'information	En continu, basées sur les observations opportunistes de la collectivité et des chasseurs (p. ex., par l'entremise de l'application Arctic Marine Observer et de l'information obtenue des études sur les captures). Les données de suivi après marquage et celles des relevés aériens devraient être utilisées, selon la disponibilité, à partir des relevés en cours ou à venir, et des études historiques fondées sur le marquage; fournir un soutien financier et logistique aux études fondées sur le marquage et les relevés aériens qui peuvent être planifiés pour les années à venir afin que les relevés comprennent la baie Darnley.
Dates d'arrivée et de départ	Observations des collectivités et des chasseurs du moment de l'arrivée de mammifères marins migrants dans la ZPMAN et de leur départ.	contextuelle nécessaire pour suivre les changements éventuels de l'utilisation de l'habitat au fil du temps par différents segments de population, pour étudier les possibilités d'évitement des activités anthropiques et pour étudier comment l'utilisation de l'habitat peut être liée aux conditions environnementales, aux caractéristiques de la glace de mer et à la composition des communautés de proies. Les inférences tirées de ces données permettent d'évaluer l'importance relative (p. ex., la fréquence et la durée d'utilisation) des zones ou des habitats. Des renseignements semblables sur les déplacements et l'utilisation de l'habitat à l'extérieur de la ZPMAN donneront un aperçu de l'importance relative de la ZPMAN pour les mammifères marins.	Il est à noter qu'il sera important d'accéder à l'information provenant d'études sur les populations ou de relevés menés à plus grande échelle régionale pour fournir le contexte nécessaire afin d'évaluer si les mesures prises dans le cadre de la ZPMAN aideront aux mesures de conservation. Ces renseignements contribueront également à la surveillance du réseau d'aires marines protégées à l'échelle régionale, surtout si la méthodologie et les indices sont normalisés avec ceux élaborés pour d'autres ZPM.
Emplacements des agrégations	Observations concernant les endroits où les mammifères marins se regroupent dans la ZPMAN et leurs comportements (p. ex., alimentation, frottement, élevage des jeunes).		Lorsqu'on utilise les données de surveillance pour évaluer les raisons possibles d'un changement, il faut tenir compte des différences dans le cycle biologique, la migration, l'utilisation de l'habitat, l'alimentation, la physiologie et d'autres facteurs qui peuvent attirer chacune des quatre principales espèces de mammifères marins dans la région.
Composition des groupes	Observations concernant le sexe, la taille et l'âge des individus dans les agrégations de mammifères en se référant à la ZPMAN.		

Tableau C7.1. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance du bruit sous-marin d'origine anthropique (Section 7.1).

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Bruit de navires	L'influence des petits et des grands navires sur le paysage sonore sous-marin.	<p>Le bruit sous-marin d'origine anthropique peut nuire à la communication entre mammifères marins, à la détection des proies et des prédateurs et, dans le cas des baleines, à l'écholocalisation. Il a été démontré que le bruit d'origine anthropique provenant de navires influe également sur l'utilisation de l'habitat par les principales espèces de poissons-proies (p. ex., la morue arctique) ailleurs, ce qui, à son tour, peut avoir une incidence sur les possibilités d'alimentation des prédateurs de niveau trophique supérieur.</p> <p>Le trafic maritime dans l'Arctique canadien augmente à mesure que la glace de mer diminue, et l'un des principaux couloirs de navigation du passage du Nord-Ouest traverse l'embouchure de la baie Darnley, juste au nord de la ZPMAN. Par conséquent, la surveillance des effets potentiels du bruit d'origine anthropique sous-marin sur les comportements et les vocalisations des mammifères marins est directement applicable pour s'assurer que l'intégrité de la ZPMAN en tant qu'habitat d'alimentation marin n'est pas perturbée par les activités humaines, et de veiller à l'élaboration de stratégies appropriées de gestion du bruit.</p>	<p>À tout le moins pendant la période d'eau libre, lorsque la majorité des mammifères marins et du trafic maritime sont présents.</p> <p>Cependant, la baleine boréale peut atteindre la région en avril et y rester jusqu'en novembre, ou parfois toute l'année. Des brise-glaces peuvent également être présents toute l'année. Idéalement, les observations devraient saisir le début du printemps et la fin de l'automne, sinon toute l'année.</p>
Données de surveillance des navires	La présence de navires près de la ZPMAN.	Ce paramètre peut être intégré aux observations acoustiques du bruit des navires et aux observations des déplacements des mammifères marins (basées sur un ensemble d'observations communautaires, d'observations acoustiques ou de données de marquage) pour déterminer si le bruit des navires influe sur le comportement ou les déplacements des mammifères marins dans la ZPMAN.	Pendant la même période où des hydrophones sont déployés pour enregistrer le bruit du trafic maritime et les vocalisations de mammifères marins. En plus d'utiliser la surveillance acoustique passive pour confirmer la présence de navires, on peut acheter des données sur les navires de gros tonnage auprès des services de surveillance du SIA. Il y a des limites pour la surveillance des petits navires.

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Vocalisations des mammifères marins	Présence de mammifères marins et comportements d'appel.	Ce paramètre peut être utilisé pour confirmer la présence de mammifères marins dans la ZPMAN, mais pas leur absence. Il peut également être utilisé pour étudier les comportements associés aux vocalisations (p. ex., appels entre individus, écholocalisation pour la chasse, fréquences et types d'appels utilisés pour communiquer).	Selon l'emplacement des enregistreurs acoustiques et les questions d'intérêt précises, la surveillance acoustique peut avoir lieu tout au long de l'année ou au cours d'une saison particulière lorsque l'on sait que des mammifères marins sont présents dans la région.
Bruit ambiant	Bruit de fond naturel sous l'eau qui se produit tout au long de l'année.	Le bruit ambiant et la vitesse du son dans l'eau sont importants pour comprendre le paysage sonore sous-marin et interpréter le son des navires et des mammifères marins. Le bruit ambiant peut également saisir des événements naturels pertinents pour d'autres indicateurs, comme le moment de la débâcle, l'action des vagues et des marées, etc.	Surveillance acoustique passive à longueur d'année.
Caractéristiques de propagation locale du son	La vitesse à laquelle le son se déplace dans l'eau et d'autres variables importantes.		Mesuré lorsque des données sur la température et la salinité sont recueillies dans le cadre de programmes sur les paramètres océanographiques fondamentaux et les concentrations de nutriments (<i>Section 5.1</i>).

Tableau C7.2. Principaux paramètres de mesure pour la surveillance des concentrations de contaminants dans l'environnement et chez les mammifères marins (Section 7.2). Veuillez noter que seuls des renseignements préliminaires sont fournis et que des avis d'experts supplémentaires sont nécessaires avant d'inclure cet indicateur dans le plan de surveillance. De plus, il peut être difficile d'établir un lien entre cet indicateur et les objectifs de conservation, car les contaminants peuvent ne pas provenir de la ZPMAN ou ne pas indiquer que des processus se déroulent à l'intérieur de ses limites.

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
Mercure et contaminants organiques dans les principales espèces-proies	Risque posé pour les animaux de niveau trophique supérieur par l'exposition alimentaire au mercure et aux contaminants organiques dans la ZPMAN.	La surveillance du devenir et du transport d'un certain groupe de composés dans la ZPMAN est pertinente pour les objectifs de conservation parce qu'elle porte sur la perturbation par les activités humaines. La mesure des concentrations chez les principales espèces-proies fournira un contexte sur le risque d'exposition alimentaire posé par les proies présentes dans la ZPMAN et la région environnante. Cela peut être particulièrement important pour comprendre les voies d'entrée des contaminants du réseau trophique vers les mammifères marins résidents (p. ex., le phoque barbu). En revanche, les concentrations chez les mammifères marins migrants peuvent refléter l'exposition alimentaire provenant de zones situées à l'extérieur de la ZPMAN.	Intégration aux programmes d'échantillonnage conçus pour les indicateurs des populations de proies (Sections 6.1 à 6.8).
Contaminants organiques dans la graisse et le foie des mammifères marins	Exposition alimentaire aux contaminants organiques (pour les mammifères marins migrants, l'exposition ne sera pas limitée à la ZPMAN).	La surveillance du devenir et du transport d'un certain groupe de composés dans la ZPMAN est pertinente pour les objectifs de conservation parce qu'elle porte sur la perturbation par les activités humaines. La mesure des concentrations chez les principales espèces de niveau trophique supérieur peut fournir de l'information sur les effets toxiques au niveau individuel et à celui de la population, et fournir un contexte sur leur santé et leur vulnérabilité. De plus, la surveillance des contaminants peut donner un aperçu des processus du système abiotique, des processus biotiques ou des voies du réseau trophique en agissant comme traceurs naturels parce que les contaminants s'accumulent dans les organismes individuels et se bioamplifient pour atteindre des niveaux préoccupants.	Intégration aux programmes d'échantillonnage pour les liens trophiques et le transfert d'énergie (Section 6.1), ou chaque fois qu'un échantillonnage biologique est effectué chez des mammifères marins dans la ZPMAN, par exemple pendant la chasse.
Concentrations de mercure dans les muscles, le foie et la peau des mammifères marins	Les muscles et la peau reflètent une exposition alimentaire récente au mercure; le foie reflète la charge de mercure au cours de la vie d'un animal (pour les mammifères marins migrants, l'exposition ne sera pas limitée à la ZPMAN).		

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
		Le mercure et de nombreux contaminants organiques sont toxiques, bioaccumulables et bioamplifiés, la principale voie d'exposition étant le réseau alimentaire. Il est à noter que les charges de contaminants mesurées chez les mammifères marins peuvent refléter des processus qui se déroulent à l'extérieur de la ZPMAN, mais elles fourniront tout de même un contexte pour comprendre la santé et la vulnérabilité des mammifères marins, et pour le transport des contaminants dans la ZPMAN.	
Échantillons de tissus archivés de mammifères marins, dans la mesure du possible	Une série chronologique des contaminants provenant de sources localisées (p. ex., mines, transport maritime, déversement de pétrole) et du transport atmosphérique et maritime à grande distance.	Il est impossible de prédire le moment d'apparition et la présence d'une menace future. L'archivage des tissus pour d'éventuelles analyses futures est conforme à une approche prospective de la surveillance, permettant des études rétrospectives qui peuvent reconstituer les niveaux de contaminants avant qu'une menace n'apparaisse. Il s'agit d'un paramètre de « valeur ajoutée », car la plupart des tissus déjà échantillonnés peuvent être sous-échantillonnés à des fins d'archivage.	
Renseignements sur les biotraceurs trophiques et données à l'appui sur la taille, le sexe et l'âge	Ce paramètre permet de tirer des conclusions sur les stratégies d'alimentation (voir la <i>Section 6.1</i>).	L'exposition alimentaire est la principale voie d'accumulation de contaminants chez les animaux de niveau trophique supérieur. Jumelés à une compréhension de la stratégie d'alimentation, les contaminants peuvent être utilisés pour caractériser le risque pour les animaux de niveau trophique supérieur découlant de l'exposition à des contaminants alimentaires. Les données sur la taille, le sexe et l'âge devraient être recueillies en même temps que les échantillons pour les analyses des contaminants et des biotraceurs trophiques en raison de la variabilité connue du comportement alimentaire.	
Microplastiques dans les voies digestives des principaux mammifères marins	Conservation d'échantillons pour la détermination ultérieure des concentrations ambiantes de microplastiques dans la ZPMAN (sédiments) et pour les	Le groupe de travail sur la ZPMAN considère les microplastiques comme une préoccupation prioritaire. Toutefois, peu de recherches ont encore été publiées sur la prévalence des microplastiques dans le milieu marin de l'ouest de l'Arctique, en	Comme on comprend relativement peu de choses au sujet du risque posé par les microplastiques, des échantillons devraient être prélevés régulièrement (p. ex., au moins une fois par année) et archivés aux

Paramètre	Renseignements fournis	Pertinence pour le suivi des objectifs de conservation	Fréquence des mesures et autres facteurs à considérer
et sédiments (archivé)	concentrations détectées chez les mammifères marins migrateurs une fois que les répercussions sur la santé, la bioaccumulation et les taux d'excrétion seront mieux comprises.	particulier chez les animaux de niveau trophique supérieur, et les répercussions sur la santé de l'ingestion de microplastiques demeurent incertaines. Ce sujet demeure une question de recherche. Il est recommandé que les tissus ou les matières fécales échantillonnés pour mesurer les concentrations de microplastiques soient archivés en vue d'une analyse future lorsque des fonds seront disponibles et que l'on comprendra mieux leurs effets.	fins d'analyse future jusqu'à ce que des fonds soient disponibles ou que le risque soit mieux compris.
Échantillons de sédiments en vrac à archiver	Série chronologique pour les menaces et contaminants futurs imprévus.	Voir la <i>Section 5.3</i> . Les contaminants et les polluants se déposent et s'accumulent souvent dans les sédiments. L'archivage d'échantillons de sédiments dans un congélateur pourrait fournir une série chronologique permettant de suivre l'introduction d'une menace de contamination future (analyses rétrospectives).	Annuellement

ANNEXE D. PROGRAMMES DE RECHERCHE ET DE SURVEILLANCE MENTIONNÉS DANS LE TEXTE

Tableau D1. Bref résumé de la portée, du calendrier et des objectifs des principaux programmes de surveillance et de recherche (en ordre alphabétique) qui sont fréquemment mentionnés dans le présent document parce qu'ils ont recueilli des données à proximité de la ZPMAN qui sont pertinentes pour plusieurs indicateurs de surveillance. Voici une liste non exhaustive de tous les programmes de collecte de données mentionnés dans le présent document.

Programme	Sommaire
Arctic Coast	Programme communautaire de surveillance côtière mis en œuvre à Paulatuk depuis 2012. Le programme a d'abord été mis en œuvre par le MPO pour évaluer la structure des communautés de poissons côtiers. La direction a été transférée à la collectivité de Paulatuk, et le programme d'échantillonnage a été élargi pour inclure l'échantillonnage du zooplancton, des invertébrés benthiques et des paramètres de qualité de l'eau dans les eaux côtières (moins de 40 m). Le programme original a été surnommé familièrement le programme de surveillance des poissons de la baie Darnley, mais il a par la suite été nommé Arctic Coast lorsque le plan d'échantillonnage a été mis en œuvre par d'autres collectivités arctiques des Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut.
Programme de surveillance et de recherche sur la santé du béluga	Le programme de surveillance et de recherche sur la santé du béluga s'appuie sur le programme de surveillance communautaire des poissons et des mammifères marins du CMGP et y est associé. Il augmente les prélèvements d'échantillons afin d'étudier la santé et l'écologie des bélugas capturés dans un certain nombre de camps de chasse à la baleine depuis 2011. Les vétérinaires et les équipes scientifiques du MPO collaborent avec les surveillants du béluga pour recueillir des données supplémentaires et des échantillons spécialisés. Une partie de ce travail a lieu pour répondre à une question qui peut concerner le court terme (c.-à-d. la collecte d'échantillons d'une année), et d'autres composantes adoptent une approche itérative où l'information est recueillie, analysée et élaborée pour être intégrée au programme de surveillance (en fonction des questions sur les besoins) et être ensuite surveillée au fil du temps. Des rapports de données détaillant la méthodologie et résumant les données recueillies dans le cadre des programmes de surveillance des captures sont disponibles pour la période de 1970 à 2015 dans (Harwood <i>et al.</i> 2020).
EERB-PPM	Un programme d'évaluation environnementale régionale dans la mer de Beaufort (programme de quatre ans). Un programme de recherche hauturier multidisciplinaire mené à partir du navire de pêche <i>Frosti</i> en 2012 et 2013 qui a permis de prélever des échantillons dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort et le golfe Amundsen, y compris dans la baie Darnley et la ZPMAN. Le programme était dirigé par le MPO, en partenariat avec plusieurs universités et avec l'appui du Conseil Inuvialuit de gestion du gibier. L'échantillonnage portait sur les paramètres océanographiques fondamentaux, la qualité de l'eau, la

Programme	Sommaire
	production primaire, les sédiments, le zooplancton, les invertébrés benthiques et les poissons hauturiers. L'objectif principal du programme était de recueillir des renseignements de base sur l'environnement et la répartition des espèces dans les eaux extracôtières qui avaient fait l'objet d'études insuffisantes, afin d'éclairer les décisions de gestion. Les données recueillies sont pertinentes pour la ZPMAN et la région environnante, ainsi que pour comprendre l'écosystème plus vaste du golfe Amundsen.
PPMMB	Projet sur les poissons marins de la mer de Beaufort (une prolongation de l'EERB-PPM). Il s'est déroulé dans les eaux canadiennes de la mer de Beaufort et dans le golfe Amundsen en 2014. La conception du programme est demeurée pratiquement la même.
EEM-MBC	Évaluation des écosystèmes marins de la mer de Beaufort au Canada (une prolongation de l'EERB-PPM et du PPMMB). Elle s'est déroulée de 2017 à 2019. La collecte de données de base s'est poursuivie, mais les objectifs de recherche étaient axés sur les relations physiques-biologiques fonctionnelles. En plus de l'échantillonnage à partir d'un navire, des observatoires amarrés ont été installés au large du cap Bathurst, dans la baie Franklin et dans l'inlet Minto afin de recueillir des données toute l'année sur l'océanographie physique et les observations hydroacoustiques des agrégations de poissons et de zooplancton. Les données recueillies sont pertinentes pour la ZPMAN et la région environnante, ainsi que pour comprendre l'écosystème plus vaste du golfe Amundsen.
CASES	Étude internationale du plateau continental arctique canadien. Un effort de recherche multidisciplinaire international dirigé par le Canada visant à comprendre les conséquences biogéochimiques et écologiques de la variabilité et du changement de la glace de mer sur le plateau du Mackenzie. Le programme sur le terrain se déroulait à partir du NGCC <i>Amundsen</i> . L'expédition a commencé en septembre 2003 et s'est terminée en août 2004, complétant une expédition d'hiver dans la baie Franklin. Les données n'ont pas été recueillies dans la baie Darnley ni dans la ZPMAN, mais elles sont pertinentes pour la compréhension de base de la production primaire, de la structure du réseau trophique de niveau inférieur, de l'exportation de carbone, de la biogéochimie de la glace de mer, de la structure de la communauté d'invertébrés benthiques et des caractéristiques des sédiments dans l'écosystème plus vaste du golfe Amundsen.
Étude sur le CSC	Étude sur le chenal de séparation circumpolaire. Un effort de recherche international sous la direction du Canada visant à étudier l'importance du système du chenal de séparation circumpolaire sur les aspects physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème marin de l'Arctique. Le programme sur le terrain a été exécuté à partir du NGCC <i>Amundsen</i> dans le golfe Amundsen et le sud de la mer de Beaufort d'octobre 2007 à juillet 2008. L'expédition est demeurée mobile dans la

Programme	Sommaire
	<p>polynie au sud de l'île Banks pendant l'hiver, avec un échantillonnage effectué à partir de la glace à l'embouchure des baies Franklin et Darnley. Les données n'ont pas été recueillies dans la baie Darnley ni dans la ZPMAN, mais elles sont pertinentes pour la compréhension de base de la production primaire de la composition de la communauté de zooplancton dans l'écosystème plus vaste du golfe Amundsen.</p>
SORC	<p>Surveillance océanique des Rangers canadiens. Une collaboration entre le ministère de la Défense nationale, le MPO et les collectivités du Nord grâce à laquelle les Rangers canadiens vivant dans les collectivités du Nord recueillent des données océanographiques de façon opportune pendant les patrouilles. Le programme s'est étendu à Paulatuk en 2018 et 2019 et a permis de recueillir des données sur la température, la salinité, l'oxygène dissous et la fluorescence dans la ZPMAN (baie Argo) et dans les stations côtières au sud et à l'est de la pointe Bennett.</p>
<p>Programme de surveillance communautaire des poissons et des mammifères marins du CMGP (anciennement connu sous le nom de programme de surveillance du béluga)</p>	<p>Le programme de surveillance du béluga a été établi en 1980 conjointement par le MPO et les comités de chasseurs et de trappeurs des six collectivités de la RDI afin de consigner des renseignements sur les captures, et de collecter des données biologiques et des échantillons sur les baleines débarquées. Depuis 1987, il est dirigé par le CMGP. C'est l'un des plus anciens programmes de surveillance dans l'Arctique canadien. Le programme a été renommé programme de surveillance communautaire des poissons et des mammifères marins en 2010. À l'heure actuelle, les surveillants du béluga embauchés par les CCT se rendent chaque été dans des camps traditionnels de chasse à la baleine où ils travaillent avec les chasseurs pour recueillir des renseignements sur le moment et les conditions de la capture, consigner des observations sur les caractéristiques physiques des bélugas, et prélever des échantillons de tissus pour analyse ultérieure par les scientifiques du MPO et leurs collègues. Les chasseurs peuvent également soumettre des renseignements et des échantillons directement au MPO. Le programme est distinct de l'étude sur les captures des Inuvialuits.</p>
<p>Étude sur les captures des Inuvialuits</p>	<p>L'étude sur les captures des Inuvialuits est un programme de surveillance communautaire qui recueille mensuellement des renseignements sur les captures auprès des chasseurs et pêcheurs de subsistance inuvialuits, âgés de 16 ans ou plus, qui sont inscrits auprès de leur CCT local. Les données sur les captures sont recueillies toute l'année pour les oiseaux de mer, les poissons et les mammifères marins. Les données recueillies dans le cadre du programme sont utilisées pour faciliter les décisions en matière de gestion des ressources. Le programme a toujours été géré par un comité directeur composé de membres du Conseil Inuvialuit de gestion du gibier et de divers partenaires, dont le CMGP, le Secrétariat mixte et plusieurs organisations territoriales et fédérales. L'étude sur les captures des Inuvialuits représente l'ensemble de données à long terme le plus complet sur les données biologiques et sur les captures disponibles pour la baie Darnley. Le programme s'est d'abord déroulé de 1988 à</p>

Programme	Sommaire
	1997, puis de 2016 à 2019. Entre-temps, une étude sur la pêche de l'omble chevalier a été administrée par le MPO (1999 à 2003) et le CCT de Paulatuk (2004 à 2016). L'étude sur les captures des Inuvialuits est actuellement suspendue et fait l'objet d'un examen.
Programme de surveillance Munaqsiyit	Un programme de surveillance communautaire mis en œuvre par les six CCT de la RDI, avec l'aide du coordonnateur de la surveillance communautaire du Secrétariat mixte. Chaque CCT de la RDI dispose d'un poste de surveillance Munaqsiyit à temps plein, qui met actuellement l'accent sur l'établissement de programmes de surveillance SmartIce. Le système SmartIce utilise la technologie Smart Qamutik pour recueillir des données sur l'état des glaces le long des routes côtières et hauturières.
EEMCN	Étude des eaux marines côtières du Nord. Étude multidisciplinaire menée par le MPO visant à caractériser l'habitat biologique et physique de la portion canadienne du plateau de Beaufort, ainsi que la répartition des espèces. Des échantillons ont été prélevés à partir du NGCC <i>Nahidik</i> entre 2004 et 2008 à travers le plateau de Beaufort, y compris dans la baie Darnley en 2008. L'échantillonnage portait sur les paramètres océanographiques fondamentaux, la qualité de l'eau, la production primaire, les sédiments, le zooplancton, les invertébrés benthiques et les poissons hauturiers. Les données recueillies sont pertinentes pour la ZPMAN et la région environnante, ainsi que pour comprendre l'écosystème plus vaste du golfe Amundsen.
Programme de surveillance de l'omble chevalier de Paulatuk	Un programme de surveillance mis en œuvre à l'échelle locale, dirigé par le CMGP et le MPO et administré par des surveillants recrutés sur place pour une période définie et avec des cibles de taille d'échantillon précises. Les données de l'étude sur la pêche de subsistance de Paulatuk et celles du programme de surveillance de l'omble chevalier sont conservées par le MPO, et des analyses ainsi que des résumés sont fournis au CCT de Paulatuk et au groupe de travail sur l'omble.
Étude sur la pêche de subsistance de l'omble chevalier de Paulatuk	Une étude locale qui cible l'omble chevalier pêché dans la baie Darnley, distincte de l'étude sur les captures des Inuvialuits, est en place depuis 1998, moment où l'étude sur les captures des Inuvialuits a été interrompue. L'étude est effectuée par des membres de la collectivité embauchés par le CCT de Paulatuk dans le cadre d'un contrat avec le MPO. Les données de l'étude sur la pêche de subsistance de Paulatuk et celles du programme de surveillance de l'omble chevalier sont conservées par le MPO, et des analyses ainsi que des résumés sont fournis au CCT de Paulatuk et au groupe de travail sur l'omble.
Projet « Bélugas de Paulatuk : la santé et le savoir »	Lancé en 2012 dans le cadre d'une proposition scientifique présentée au PLCN par le CCT de Paulatuk et le MPO en réponse à l'augmentation du nombre de bélugas capturés à des fins de subsistance par la collectivité et aux préoccupations concernant les niveaux de contaminants dans les sources de nourriture des

Programme	Sommaire
	<p>mammifères marins. Le programme recueille les mêmes échantillons biologiques que les autres programmes de surveillance des captures de bélugas dans la RDI et envoie les échantillons à des partenaires de la Direction des sciences du MPO à des fins d'analyse. Il est associé au programme de surveillance et de recherche sur la santé du béluga en contribuant à une échelle régionale (les prélèvements et les analyses sont normalisés et terminés ensemble pour permettre la comparaison régionale).</p>
<p>Relevé sur les invertébrés de Paulatuk</p>	<p>Une étude lancée et menée par le CCT de Paulatuk pour caractériser la communauté d'invertébrés de la baie Darnley, qui est en place depuis au moins 2017. Le CCT de Paulatuk embauche des techniciens locaux pour installer des casiers à crabes et à crevettes dans les zones déterminées par le CCT de Paulatuk. Les données recueillies comprennent l'emplacement des casiers, les conditions météorologiques, la durée et la profondeur, l'abondance des prises, la largeur de la carapace ainsi que l'observation de femelles œuvées, et dans la mesure du possible, le nombre d'œufs.</p>