



DÉTERMINATION DE L'IMPORTANCE ÉCOLOGIQUE, DES LACUNES DANS LES CONNAISSANCES ET DES OBJECTIFS DE CONSERVATION POUR LA ZONE DE PROTECTION MARINE DE TUVAIJUITTUQ

Contexte

La zone de protection marine (ZPM; Figure 1) de Tuvaijuittuq a été désignée par arrêté ministériel le 21 août 2019 en raison de son importance pour les espèces dépendantes de la glace et en réaction à l'accès accru pour les activités humaines dans l'Arctique. Selon la protection accordée par l'arrêté ministériel pris en vertu de la *Loi sur les océans*, la ministre des Pêches, des Océans et de la Garde côtière canadienne (« la ministre ») peut geler l'empreinte des activités humaines dans la zone pour une période d'au plus cinq ans, pendant la tenue d'une étude de faisabilité visant à déterminer les outils de protection à long terme adéquats (p. ex. la désignation de zone de protection marine (ZPM) en vertu de la *Loi sur les océans*, par décret du gouverneur en conseil, et d'aire marine nationale de conservation en vertu de la *Loi sur les aires marines nationales de conservation du Canada*).



Figure 1. Limites actuelles de la zone de protection marine (ZPM) de Tuvaijuittuq dans le Nord du Nunavut. Adapté de MPO (2019).

Le gouvernement du Canada, en partenariat avec l'Association inuite du Qikiqtani et le gouvernement du Nunavut, exige la tenue d'une étude de faisabilité pour la zone visée, notamment un aperçu biophysique et écologique de la ZPM de Tuvaijuittuq, publié récemment dans un rapport de Charette et ses collaborateurs (2020). Le rapport dresse un portrait complet de l'information la plus récente sur la zone, y compris des renseignements pour appuyer le recensement des composantes d'importance écosystémique, des espèces et des propriétés des communautés d'importance écologique (EPCIE), ainsi que la désignation de zones importantes (Charette *et al.* 2020). Les avis découlant du processus de la présente Réponse des Sciences guideront le processus décisionnel pour l'établissement de mesures de protection à long terme dans la zone de Tuvaijuittuq, faciliteront les discussions sur les limites (et les zones, au besoin) et viendront étayer les approches de mise en place et réglementaires. Ces avis appuieront également une future analyse des risques pour la zone, détermineront les zones prioritaires à protéger et préciseront les objectifs de conservation existants à l'aide de l'information publiée disponible la plus récente. Les données contenues dans l'examen serviront également à orienter les avis subséquents sur les protocoles et les stratégies de surveillance, à cerner les lacunes dans l'information pour approfondir les recherches et à élaborer un plan de gestion pour la zone.

La présente réponse des Sciences découle du processus de réponse des Sciences du 6 au 7 octobre et le 28 octobre 2020 sur l'identification des caractéristiques biophysiques et écologiques de la zone de protection marine (ZPM) de Tuvaijuittuq.

Renseignements de base

Portée régionale

Tuvaijuittuq comprend les eaux marines au large du nord de l'île d'Ellesmere, de l'île Axel Heiberg et des îles Ellef Ringnes jusqu'à la limite externe de la zone économique exclusive du Canada. La ZPM s'étend de la limite ouest de la mer du Prince Gustave-Adolf jusqu'à la pointe nord-est de l'île d'Ellesmere, et vers le sud le long de la rive ouest du détroit de Robeson jusqu'au fjord Archer. Elle englobe le détroit de Nansen et le fjord Greely, mais exclut les parties du littoral de l'île d'Ellesmere qui font partie du parc national Quttinirpaaq (MPO 2019; Figure 1).

L'habitat de Tuvaijuittuq est une combinaison de plateaux de glace qui occupent de petits fjords et le plateau continental le long de la côte nord de l'île d'Ellesmere, d'une vaste banquise côtière de la saison froide dans le périmètre de l'archipel arctique canadien (AAC), de la banquise côtière contiguë le long de la limite extérieure de l'archipel et de la banquise mobile, dans tout le domaine fjord-côte-océan. En hiver, cette dernière va du bassin Canada de l'océan Arctique jusqu'à la limite nord de la banquise côtière qui borde les îles de la Reine-Élisabeth. En été, alors que la banquise côtière s'affaiblit et se détache, la banquise s'agrandit pour englober presque toute la ZPM. Cependant, la banquise côtière persiste tout au long de la saison chaude dans certaines régions (MPO 2011). Elle fournit un habitat unique, mais peu étudié, à un certain nombre d'espèces associées à la glace, allant de microbes et d'amphipodes adaptés à la glace à des espèces de niveau trophique supérieur, comme les phoques, les morses et les ours blancs (*Ursus maritimus*).

Tuvaijuittuq est située dans une plus grande zone de banquise permanente dans l'océan Arctique. Cette glace est transportée par la dérive transpolaire et maintenue contre l'obstacle de l'archipel arctique canadien dont elle bloque les chenaux sous l'effet des vents et des courants. La glace de plusieurs années à l'intérieur de Tuvaijuittuq s'étend sur des centaines de kilomètres au large, et plus loin encore au nord-est et au sud-ouest le long de la marge continentale. Bien que la limite sud-ouest de la ZPM soit la mer du Prince Gustave-Adolf, la

glace de plusieurs années circule beaucoup dans l'océan Arctique, allant : i) vers le nord-est, jusqu'au Groenland, au détroit de Fram et à la mer du Groenland; ii) vers le sud-est, à travers les îles de la Reine-Élisabeth jusqu'à l'est du chenal Parry et à la baie de Baffin, ou à l'ouest du chenal Parry, au détroit de M'Clure et à la mer de Beaufort ou au détroit de M'Clintock et à la côte continentale; iii) vers le sud-ouest, jusqu'à la mer de Beaufort, au golfe Amundsen, à la côte de l'Alaska, à la mer des Tchouktches et parfois vers le sud jusqu'au détroit de Béring. Finalement, la circulation dans le sens horaire du tourbillon de Beaufort ramène une partie de la composante de glace à la dérive vers le sud-ouest dans la ZPM par le nord-ouest (MPO 2011; Hibler III 1989; Gerland *et al.* 2007, O'Brien 2019). Une grande partie de l'actuelle zone de banquise permanente qui fait partie de la région désignée des Inuvialuit peut être considérée comme un habitat contigu. En hiver, les floes de la banquise permanente sont fusionnés par la nouvelle glace et forment alors une couche immobile de glace de rive qui couvre presque tout l'archipel arctique canadien et demeure immobile dans de nombreuses régions jusqu'en août (Melling 2002, Münchow 2016, Service canadien des glaces 2020). Après la débâcle, une partie de cette ancienne banquise côtière descend dans la baie de Baffin par un certain nombre de routes. Bien que les eaux du Nord se trouvent à des centaines de kilomètres au sud de Tuvaijuittuq, le transport vers le sud de la banquise permanente depuis Tuvaijuittuq à travers le détroit de Nares a une incidence directe sur cet habitat vital d'eaux libres en début de saison (Ingram *et al.* 2002, Barber *et al.* 2019).

Tuvaijuittuq est influencée par le transport océanique à grande échelle dans l'océan Arctique et constitue une voie importante pour l'exportation de l'eau et de ses propriétés connexes (p. ex. les éléments nutritifs) et de la glace de mer, par le détroit de Nares et les chenaux de l'archipel arctique canadien. Les eaux du Pacifique atteignent Tuvaijuittuq à partir de la mer de Beaufort à l'ouest et s'étendent dans toute la région sous l'influence variable du tourbillon de Beaufort. À mesure que ces eaux riches en nutriments circulent à Tuvaijuittuq, elles sont modifiées par l'absorption biologique et les processus microbiens, ce qui entraîne une diminution des concentrations d'éléments nutritifs le long du corridor de transport de l'ouest vers la mer de Lincoln et le détroit de Nares. Tuvaijuittuq subit également l'influence des eaux de l'Atlantique. La dérive transpolaire, qui s'écoule directement vers l'île d'Ellesmere depuis la Russie, bifurque à l'intérieur de la ZPM, de sorte que les conditions dans la partie nord-est sont influencées moins par les eaux du Pacifique et plus fortement par celles de l'Atlantique. L'influence variable de la dérive transpolaire et du tourbillon de Beaufort, liée à des profils climatiques à grande échelle comme l'oscillation arctique, a des effets majeurs sur les propriétés, la productivité et les écosystèmes océaniques à Tuvaijuittuq.

En raison de son emplacement à l'entrée des eaux du Nord et de la baie de Baffin, et à l'extrémité réceptrice des influences lointaines des eaux du Pacifique et de l'Atlantique, ainsi que de la glace de mer, Tuvaijuittuq joue un rôle clé dans la connectivité de tout le système arctique.

Objectifs

Les objectifs de l'examen par les pairs sont les suivants :

1. décrire et cartographier (dans la mesure du possible) les principales caractéristiques biophysiques et écologiques de la ZPM de Tuvaijuittuq et des zones adjacentes (le cas échéant), si possible :
 - a. les caractéristiques océanographiques physiques et biologiques qui prédominent ou sont uniques, ainsi que les caractéristiques des glaces de mer;
 - b. les caractéristiques des habitats prédominants, uniques ou vulnérables;

- c. les principales espèces écologiques et les facteurs abiotiques et biotiques qui les touchent;
2. déterminer les sensibilités et vulnérabilités connues des habitats et des principales espèces écologiques dans la ZPM de Tuvaijuittuq;
3. cerner les principales incertitudes et les lacunes dans les connaissances relatives à la compréhension actuelle de l'environnement existant et des principales espèces écologiques dans la ZPM de Tuvaijuittuq, et recommander des mesures pour combler ces lacunes, si possible;
4. fournir des avis scientifiques à prendre en considération pour élaborer des objectifs et des priorités de conservation, ainsi que des limites définies pour la ZPM de Tuvaijuittuq.

Analyse et réponse

Charette et ses collaborateurs (2020) ont rédigé un aperçu biophysique et écologique de la région de Tuvaijuittuq et des zones adjacentes, à partir d'une analyse documentaire exhaustive de documents scientifiques publiés, de rapports et de revues à comité de lecture, ainsi que de l'Inuk Qaujimagatungit (IQ) connu. Le rapport précise également les agents de stress connus ou potentiels pour l'écosystème, et met en lumière les domaines où les connaissances scientifiques pourraient faire défaut dans la région.

Bien que la région de Tuvaijuittuq ait fait l'objet de visites et d'études intermittentes au fil des ans, il existe un nombre écrasant de lacunes dans les connaissances, attribuables en grande partie à la nature très éloignée de la région et à la difficulté d'accès en raison de la présence d'une épaisse glace de mer de plusieurs années. En plus du manque général de connaissances sur la région, le système présente un degré élevé de connectivité et de complexité (p. ex. influence de la glace de mer, forçages climatiques et océanographiques en champ proche et en champ éloigné), puisqu'il relie la mer de Beaufort aux eaux du Nord et aux écosystèmes de la baie de Baffin et de la mer du Labrador, plus en aval. Il existe des lacunes généralisées dans les connaissances pour toutes les composantes de l'écosystème (p. ex. habitats de glace uniques, invertébrés benthiques, poissons, oiseaux, mammifères marins) ou, dans d'autres cas, les données disponibles sont limitées sur le plan spatial et temporel et il faut mener d'autres études pour déterminer l'état ou les tendances. La couverture des données est extrêmement médiocre même pour les caractéristiques écologiques structurelles fondamentales telles que la bathymétrie, avec des levés tous les 20 km environ dans certaines régions et aucun dans les fjords de Tuvaijuittuq (voir la carte des levés bathymétriques dans Charette *et al.* [2020]).

Pour combler ces lacunes et tenter de soutenir les engagements pris par le Canada dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique, le MPO a entrepris un programme de recherche afin de recueillir des données sur les écosystèmes dans la région de Tuvaijuittuq, en partenariat avec d'autres organismes fédéraux (Environnement et Changement climatique Canada [ECCC], ministère de la Défense nationale [MDN], Recherche et développement pour la défense Canada [RDDC]) et en consultation avec les collectivités les plus proches de Tuvaijuittuq (p. ex. Grise Fiord, Resolute Bay et Arctic Bay). Le Programme multidisciplinaire de l'Arctique (PMA) – dernière zone de glace constitue un premier effort de collecte de connaissances écosystémiques de référence à Tuvaijuittuq. Le programme étudie l'écosystème unique de la glace de plusieurs années de la région, selon une approche écosystémique qui intègre les composantes physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème, y compris les relevés sur les mammifères marins (Loewen *et al.* 2018, Michel et Lange 2018, Michel *et al.* 2019). De nouvelles connaissances scientifiques sur les espèces qui habitent la région et l'utilisation de l'habitat émergent, par exemple, la présence de nombreux morses de l'Atlantique

(*Odobenus rosmarus rosmarus*) et narvals (*Monodon Monoceros*) dans le fjord Archer, plus au nord que leur aire de répartition connue (Yurkowski *et al.* 2019, C. Carlyle, MPO, comm. pers.). La plupart des résultats sont en cours d'analyse et n'ont pas encore été publiés dans des publications scientifiques évaluées par des pairs. Un numéro spécial de la revue scientifique *Elementa Science of the Anthropocene* sera publié dans les prochains mois et présentera une compilation des résultats et des premières constatations de cette recherche écosystémique. Parmi les faits saillants des nouvelles découvertes, présentées lors de réunions communautaires, on peut citer les observations de benthos abondant et diversifié dans les zones couvertes par la glace de plusieurs années, une constatation qui n'aurait pas été possible sans l'utilisation de nouvelles technologies (véhicule sous-marin téléguidé).

En plus de l'aperçu général de l'écosystème (Charette *et al.* 2020), les observations de première main et les connaissances d'experts qui ont mené des travaux sur le terrain et fait de la recherche dans la région fourniront des renseignements sur nos connaissances ainsi que notre compréhension de l'écosystème à l'appui des recommandations et des avis pour Tuvaijuittuq.

Tuvaijuittuq est située à la limite septentrionale de l'archipel arctique canadien et est éloignée des collectivités nordiques. Cependant, l'empreinte écologique et culturelle de Tuvaijuittuq s'étend bien au-delà de ses limites. En particulier, Tuvaijuittuq est la région en amont pour l'exportation de la glace de mer et des propriétés océaniques dans les chenaux de l'archipel arctique canadien et les eaux du Nord, à sa limite orientale dans la mer de Lincoln. L'exportation de la glace de mer et des propriétés physiques, chimiques et biologiques des eaux de Tuvaijuittuq influencent les processus dans la baie de Baffin et même jusque dans la mer du Labrador. La connectivité océan/glace de mer et la connectivité biologique entre Tuvaijuittuq et les régions adjacentes (p. ex. l'archipel arctique canadien, y compris le détroit de Lancaster) sont importantes sur les plans écologique et culturel pour les collectivités inuites qui vivent au-delà des limites de Tuvaijuittuq.

Importance écologique et principales lacunes dans les connaissances

Glace de plusieurs années

Tuvaijuittuq est une région unique où on trouve de la glace de plusieurs années persistante. Depuis le début des enregistrements par satellite en 1979, l'étendue de la glace de mer en été dans l'Arctique a diminué de plus de 30 % (Meier *et al.* 2014, Perovich *et al.* 2019). La vieille glace de plusieurs années (plus de 4 ans), qui représentait 33 % de la banquise de l'océan Arctique en mars 1985, n'en constituait plus que 1,2 % en mars 2019. Le reste de la glace la plus vieille et la plus épaisse est largement confiné à la région de Tuvaijuittuq (Tilling *et al.* 2018, Perovich *et al.* 2019).

Les champs de glace sont composés de deux principaux types de glace : la glace de première année et la glace de plusieurs années. La glace de première année se forme lorsque les cristaux de frazil, qui sont le premier résultat de la congélation de l'eau de mer, s'agglutinent et se lient pour former des nilas (NSIDC 2018). La glace de première année est le type de glace qui domine en hiver les mers de l'Arctique où la glace disparaît ou fond en été. Elle n'est pas si courante dans la plus grande partie de Tuvaijuittuq, où la surface de la mer est déjà occupée en majorité par la glace à la fin de la saison de dégel. Toutefois, pendant la saison de congélation, la glace de première année se forme dans les chenaux qui s'ouvrent continuellement dans la banquise, ainsi que dans les fjords et les échancrures. La glace de plusieurs années est une glace de première année qui a perdu de l'épaisseur au cours de l'été et a commencé à accumuler de la nouvelle glace sur sa face intérieure (Barber *et al.* 2010, NSIDC 2018). La

glace de première année et la glace de plusieurs années ont des propriétés physiques et morphologiques distinctes qui les différencient (Johnston 2017). En outre, il existe d'importantes différences entre la glace de plusieurs années, formée en grande partie par des processus thermodynamiques, et la glace de plusieurs années hummockée, issue des crêtes de pression. La glace de plusieurs années est le type de glace dominant à Tuvaijuittuq, mais la glace de première année est également présente et domine localement dans le détroit de Nansen et les fjords de l'ouest de l'île d'Ellesmere (Service canadien des glaces 2016a, 2016b). La glace de plusieurs années de Tuvaijuittuq se caractérise par de lourdes crêtes, accumulées pendant de nombreuses années en mer et accrues localement par l'action de grandes forces de compression et de cisaillement. De fait, la domination de la glace de plusieurs années est précisément la raison pour laquelle cette ZPM a été créée.

Tous les types de glace perdent de la force pendant la saison de la fonte, mais la diminution est la plus faible dans la glace de plusieurs années, en particulier dans les types hummockés qui sont abondants à Tuvaijuittuq (Johnston 2017). La formation de crêtes est un facteur très important du régime des glaces de Tuvaijuittuq en raison de la pression élevée des glaces. Elle augmente considérablement et rapidement l'épaisseur de la glace tout le long de la côte extérieure, du détroit de Fram au détroit de M'Clure (Bourke and Garrett 1987).

L'épaisse glace de plusieurs années s'accumule à Tuvaijuittuq en raison des vents et des courants océaniques persistants qui poussent la glace de mer vers et dans les îles de la Reine-Élisabeth et le nord du Groenland (Howell *et al.* 2008; Moore *et al.* 2019). C'est également de Tuvaijuittuq que provient la glace de plusieurs années qui est transportée vers le sud dans les îles de la Reine-Élisabeth et dans la baie de Baffin par le détroit de Nares (Howell *et al.* 2008, Rasmussen *et al.* 2011). Le transport de la glace au sud vers les îles de la Reine-Élisabeth a lieu en été, mais s'arrête en automne et en hiver, car la banquise flottante bloque les détroits des îles de la Reine-Élisabeth reliés à Tuvaijuittuq en formant des arches (Melling 2002). La plupart des années, la glace de plusieurs années emportée vers le sud depuis la mer de Lincoln (région de l'est de Tuvaijuittuq), jusqu'à la baie de Baffin en passant par le détroit de Nares, est bloquée par une arche de glace saisonnière qui se forme pendant l'hiver à l'extrémité nord du détroit de Smith, jusqu'à la débâcle printanière lorsque le flux de glace vers le sud jusque dans la baie de Baffin reprend (Dumont *et al.* 2009, Ryan et Münchow 2017). Les arches de glace dans le détroit de Smith et le golfe Amundsen sont les plus connues et les plus précaires des arches de glace dans les îles de la Reine-Élisabeth. Leurs dates de formation très variables d'une année à l'autre sont une indication de leur fragilité inhérente; certaines années, elles ne se forment pas. Une analyse de la date de la dislocation de l'arche de glace dans le détroit de Nares, au nord du détroit de Smith, entre 1968 et 2014 montre que l'arche de glace s'est formée régulièrement jusqu'en 1990, après quoi elle n'a pas pu se former à plusieurs reprises, ce qui s'est répercuté sur la glace de mer et les conditions biologiques dans les eaux du Nord. (Barber et Massom 2007, Blais *et al.* 2017).

Cependant, les arches apparemment plus fiables en travers d'autres chenaux ne peuvent pas nécessairement être tenues pour acquises dans un climat changeant. Si elles ne se forment pas à l'avenir, des chenaux comme le détroit de Sverdrup, le détroit de Peary, la mer du Prince Gustave-Adolf et le détroit de Ballantyne, d'une largeur combinée de 275 km – comparable au courant glaciaire de l'est du Groenland – pourraient pousser une superficie similaire de glace (1 M km²) chaque année hors de Tuvaijuittuq. Une telle fuite de la barrière de glace pourrait avoir de graves conséquences pour Tuvaijuittuq.

Tuvaijuittuq signifie « l'endroit où la glace ne fond jamais » en inuktitut, car la glace de plusieurs années y est présente à des concentrations de 9 à 10 dixièmes toute l'année (CIS 2020). En hiver, sa composante mobile (banquise) peut se trouver à différentes distances au large, mais

elle est séparée des littoraux extérieurs des îles de l'Extrême-Arctique par une zone de glace de rive (10/10) contenant une agrégation dense de floes de glace de plusieurs années dans une matrice de glace de première année (Melling 2002). Des déplacements épisodiques de la banquise sous l'effet du vent loin de la lisière de la banquise côtière ouvrent de façon répétée un chenal de séparation (qui fait partie du système de chenaux de séparation circumpolaire) le long de cette lisière. Le chenal s'étend parfois sur 2 000 km depuis le golfe Amundsen jusqu'à la pointe nord de l'île d'Ellesmere (Stirling and Cleator 1981, Fissel *et al.* 1984a, 1984b, Smith Jr. and Barber 2007). Dans des conditions hivernales glaciales, le chenal de séparation ouvert est rapidement recouvert d'une fine glace de première année. En été, les mêmes événements exposent la surface de la mer qui demeure libre de glace. Les chenaux de séparation peuvent représenter des zones de productivité marine accrue à plusieurs niveaux trophiques au printemps et en été (Barber *et al.* 2010). Toutefois, leur importance pour l'écosystème marin de Tuvaijuittuq demeure inconnue.

Lacunes dans les connaissances

- Des données sur la concentration de la glace de plusieurs années et de première année fondées sur l'imagerie par radar à synthèse d'ouverture (RSO) RADARSAT sont disponibles dans les [archives du Service canadien des glaces](#), et deux études récentes évaluent les tendances de la glace de mer dans certaines parties de Tuvaijuittuq (Howell et Brady 2019, Moore *et al.* 2019). Cependant, il est urgent de caractériser les propriétés et la dynamique de la glace de mer dans la région, en particulier l'épaisseur et les tendances de la glace de plusieurs années, qui sont nécessaires pour améliorer les connaissances de référence et aider à délimiter les futures prévisions des changements climatiques.
- La banquise côtière entre les îles de la Reine-Élisabeth, qui empêche la glace de dériver vers le sud-est à partir de Tuvaijuittuq pendant la majeure partie de l'année, est un facteur critique dans l'existence d'une dernière zone théorique de glace. Il est facile d'observer la formation et l'effondrement saisonniers des arches de glace, mais on ne les comprend pas. Ce manque de compréhension empêche de prévoir de manière fiable l'avenir de Tuvaijuittuq dans le contexte des changements climatiques.
- Une polynie de chenaux de séparation s'ouvre périodiquement entre novembre et mai dans la mer de Lincoln, mais on connaît mal la période et les mécanismes de sa formation, sa productivité ou le biote qu'elle soutient.

Plateaux de glace de l'île d'Ellesmere

L'île d'Ellesmere, qui est directement adjacente à Tuvaijuittuq, est le seul endroit au Canada où l'on trouve des plateaux de glace (Dowdeswell et Jeffries 2017, Mueller *et al.* 2017). Ces plateaux sont des vestiges d'une plateforme plus vaste et plus contiguë (8 900 km²) qui bordait toute la côte nord de l'île d'Ellesmere depuis 5 500 ans jusqu'au début du XX^e siècle (Vincent *et al.* 2001, England *et al.* 2008, Mueller *et al.* 2017). Depuis, l'amincissement de la glace et de grands événements de vêlage, qui coïncident habituellement avec des étés plus chauds que d'habitude, ont entraîné un déclin continu du plateau de glace (Braun 2017). De 1906 à 2015, la couverture de surface des plateaux de glace d'Ellesmere a diminué, passant de 8 597 km² à 535 km², ce qui a entraîné la création de quatre grands plateaux (Ward Hunt, Ward Hunt East, Milne et Petersen) et de neuf petits plateaux (moins de 10 km²) (Ward Hunt Northwest, Ward Hunt North, M'Clintock, Petersen North, Wooton, Wooton East, Ayles East, Serson et Serson East) (Mueller *et al.* 2017). Le plus grand plateau restant est le plateau de glace Ward Hunt (224 km², Figure 2) qui, avec le plateau de glace Ward Hunt East et trois petits plateaux de glace, fait actuellement partie du parc national Quttinirpaaq (Parcs Canada, 2009, Mueller *et al.*

2017). Les autres plateaux de glace à l'ouest de l'inlet M'Clintock sont tous situés à Tuvaijuittuq (Figure 2).

Les plateaux de glace de l'île d'Ellesmere à l'intérieur de Tuvaijuittuq abritent également des tapis microbiens dominés par les cyanobactéries (Vincent *et al.* 2004, Jungblut *et al.* 2017). En 2001 et 2002, on a estimé à 34 Gg de matières organiques les stocks de matelas microbiens des plateaux de glace de l'île d'Ellesmere (Mueller *et al.* 2006) et la production primaire annuelle du plateau de glace Ward Hunt a été établie à 108 g C m⁻² par an (Mueller *et al.* 2005). De plus, en 2001, respectivement 10 % et 44 % des surfaces des deux plateaux de glace les mieux étudiés, Ward Hunt et Markham, aujourd'hui disparu, pouvaient convenir aux communautés de tapis microbiens (Mueller *et al.* 2006). La grande majorité de cet habitat de première qualité du plateau de glace a été perdue en raison du vêlage qui a eu lieu de 2008 à 2012 (Mueller *et al.* 2008, Vincent *et al.* 2011, Mueller *et al.* 2017).

Les plateaux de glace de l'île d'Ellesmere sont un habitat de la mouette blanche (*Pagophila eburnea*), une espèce en voie de disparition au Canada. Les collectivités nordiques (Resolute Bay et Grise Fiord) considèrent également que cette espèce est en déclin. Les mouettes blanches nichent sur les nunataks au-dessus des plateaux de glace de l'île d'Ellesmere et se nourrissent exclusivement dans le milieu marin adjacent aux plateaux de glace (J. Provencher, ECCC, comm. pers.).

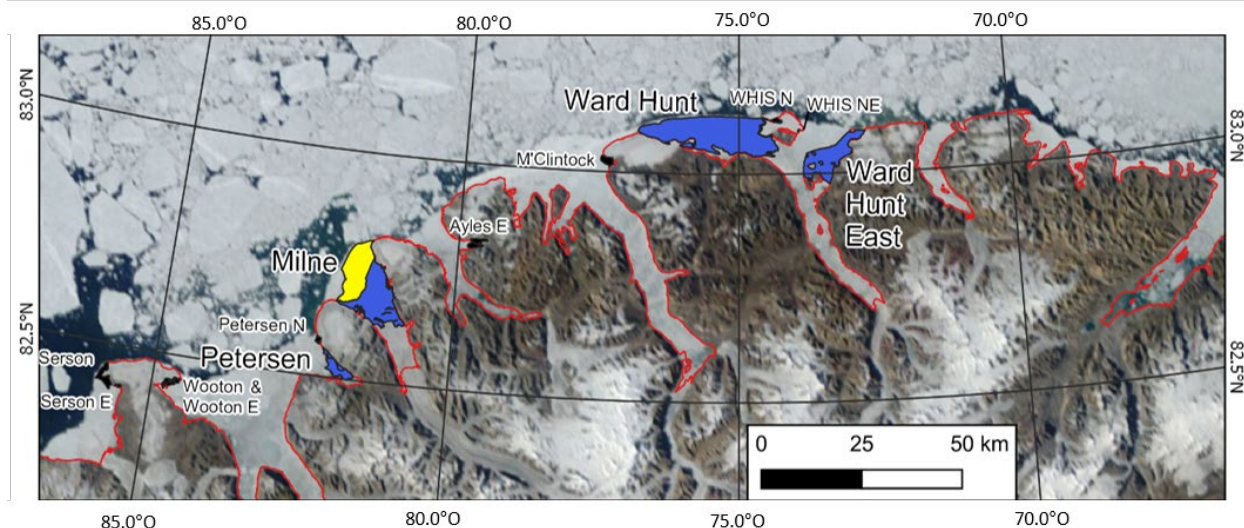


Figure 2. Emplacement des quatre grands plateaux de glace (plus de 10 km²; en bleu) et des neuf petits plateaux de glace (moins de 10 km²; en noir) de l'île d'Ellesmere en 2015 (Mueller *et al.* 2017). La zone qui a vêlé du plateau de glace Milne à la fin du mois de juillet 2020 est indiquée en jaune. L'image MODIS du 26 juillet 2020 en arrière-plan est reproduite avec l'aimable autorisation de la NASA. WHIS : Plateau de glace Ward Hunt.

Lacunes dans les connaissances

- L'utilisation de l'habitat des plateaux de glace de l'île d'Ellesmere par les espèces d'oiseaux, en particulier la mouette blanche, une espèce en péril au Canada, est mal documentée. On manque totalement de connaissances sur leur abondance, leur répartition et leur dépendance, aux différents stades de leur cycle biologique, à l'égard d'un régime alimentaire marin dans les eaux côtières près de l'île d'Ellesmere.

- Une étude plus approfondie des plateaux de glace à l'évolution rapide, de leur biote unique et de leur connectivité avec l'écosystème côtier de Tuvaijuittuq est nécessaire afin de mieux comprendre les conditions physiques changeantes du système plateau-océan et leur influence sur la diversité, la répartition et l'abondance du biote.

Fjords de Tuvaijuittuq

Fjords du nord de l'île d'Ellesmere

Le côté terre de Tuvaijuittuq se distingue par un grand nombre de baies, d'anses et de fjords. Plusieurs des fjords et des anses pénètrent à l'intérieur des terres sur plus de 50 km dans le nord de l'île d'Ellesmere, notamment l'inlet Clements-Markham, le fjord Markham, le fjord Disraeli, l'inlet McClintock, l'inlet Yelverton et l'inlet Philipps, et certains contiennent, ou ont récemment contenu, les plateaux de glace d'Ellesmere et les écosystèmes associés. Malgré leur vaste étendue collective et la diversité de leurs formes et de leurs tailles, on connaît mal la plupart de ces caractéristiques côtières, et même les connaissances les plus élémentaires sur leur bathymétrie – la forme du fond marin et la profondeur de l'eau – sont rares ou complètement absentes (voir Charette *et al.* 2020).

Quelques sites ont été explorés dans le cadre de projets de recherche précis, et ces études ont relevé des environnements et des écosystèmes inhabituels. Par exemple, le bras Taconite abrite une colonne d'eau bien stratifiée avec un profil thermique inhabituel et des eaux de fond anoxiques (Ludlum 1996). Le fjord Disraeli contenait un lac d'épibanquise où vivait du zooplancton d'eau douce (Van Hove *et al.* 2001), mais il a disparu par une fissure dans le plateau de glace Ward Hunt en 2002-2003 (Mueller *et al.* 2003). Avec la débâcle du plateau de glace Ward Hunt, enregistrée par caméra automatisée en 2011-2012 (NEIGE 2020), c'est maintenant un vaste écosystème de fjord alimenté par des glaciers, nouvellement ouvert sur l'océan Arctique, avec des portions restantes de la glace de rive du plateau de glace Ward Hunt.

Des travaux de recherche sont en cours dans le fjord Milne et portent sur le plateau de glace Milne, le lac d'épibanquise connexe, le glacier Milne et, plus récemment, le bassin hydrographique avoisinant. La colonne d'eau de ce fjord est fortement modifiée par la présence du plateau de glace Milne, lequel est responsable de la création de la forte halocline qui délimite le fond du lac d'épibanquise à une profondeur d'environ 10 m (Hamilton 2016, Veillette *et al.* 2008, Thaler *et al.* 2017). L'eau du fjord se distingue de l'eau ambiante au large à une profondeur de 50 m (la calaison moyenne du plateau de glace Milne) et à une profondeur inférieure à 260 m, qui a été utilisée pour déduire la présence d'un seuil sous le plateau de glace. Le plateau de glace Milne et la langue glaciaire du glacier Milne ne sont pas en contact avec de l'eau de l'Atlantique relativement chaude (moins de 200 m de profondeur), ce qui a contribué à prévenir une fonte rapide de ces caractéristiques cryosphériques (Hamilton 2016). Un amarrage océanographique fixé dans la glace au milieu du fjord Milne et de nombreux profils CTP ont démontré l'importance des processus terrestres-marins dans cet environnement de fjord. Le lac d'épibanquise s'approfondit de façon saisonnière en réaction aux apports d'eau de fonte provenant du bassin versant environnant (Hamilton *et al.* 2017). Cette découverte, ainsi que celle d'un chenal d'écoulement sous le plateau de glace Milne, ont mené à des efforts de modélisation visant à mieux comprendre le mélange dans le fjord pendant l'hiver (Bonneau 2020) et la modélisation du ruissellement à l'échelle du bassin versant est maintenant en cours pour mieux délimiter les relations entre le climat et l'océanographie du fjord. L'atmosphère s'est beaucoup réchauffée dans cette région au cours des 50 dernières années (White et Copland 2019) et continuera de le faire, ce qui aura des répercussions profondes sur le ruissellement des systèmes et des écosystèmes du fjord, qu'ils contiennent ou non des plateaux de glace.

Toutes ces caractéristiques côtières devraient être considérées comme une composante de Tuvaijuittuq, en ce sens qu'elles contiennent la glace de plusieurs années ou sont fortement influencés par celle-ci le long de la côte et qu'elles fournissent des habitats diversifiés pour la vie marine dans la région. Elles constituent également l'interface entre la terre et la mer, et servent de conduits pour le transfert des eaux de fonte de la neige et de la glace de l'île d'Ellesmere vers l'océan Arctique, ainsi que du carbone organique, des nutriments et du biote comme les microbes et les poissons.

Les nombreux fjords de cette région nous rappellent également que la mer et la terre sont intimement liées dans cette région, notamment sur la côte nord du parc national Quttinirpaaq. La glace épaisse de Tuvaijuittuq est poussée contre la barrière terrestre de l'île d'Ellesmere et s'y accumule, et les paysages, le climat et les écosystèmes de ces terres nordiques sont fortement influencés par la glace de mer persistante. Sur ce littoral, de nombreux lacs interagissent avec la mer à divers degrés, dont beaucoup qui se jettent dans la mer (comme les lacs de l'inlet Taconite, Ludlam 1996; lac Ward Hunt, Bégin *et al.* 2020), certains abritant des ombles chevaliers qui migrent probablement entre les habitats marins et d'eau douce (Veillette *et al.* 2012), et plusieurs qui sont issus du soulèvement de l'océan Arctique côtier au cours des derniers milliers d'années, emprisonnant encore des eaux de mer anciennes dans leurs bassins (Hattersley-Smith *et al.* 1970).

Complexe du détroit de Nansen et du fjord Greely

En plus de la protection des caractéristiques clés déterminées à Tuvaijuittuq lors des études préliminaires et susmentionnées, la région du détroit de Nansen et du fjord Greely est également considérée comme une région clé pour la conservation. Le fjord offre une voie d'écoulement des calottes glaciaires de l'île d'Ellesmere vers l'écosystème côtier de Tuvaijuittuq, et peut probablement être caractérisé par une série de conditions océanographiques et biogéophysiques uniques résultant de ces influences. Cette région est adjacente à deux caractéristiques importantes de Tuvaijuittuq dont la protection est recommandée (la banquise permanente et les plateaux de glace de l'île d'Ellesmere), est un peu plus facile d'accès que le reste de Tuvaijuittuq et on dispose d'importantes données climatiques de référence fournies par la station voisine d'ECCC à Eureka. L'habitat de nidification potentiel des oiseaux de mer a été désigné comme une caractéristique importante de la région (eBird 2017). Durant les réunions de mobilisation et de consultation, les membres de la collectivité ont expliqué que la zone était un habitat important pour les déplacements sur la glace de mer de la population de caribou de Peary (*Rangifer tarandus pearyi*), inscrite comme en voie de disparition aux termes de la *Loi sur les espèces en péril*. (R. Eagleson, Agence Parcs Canada, comm. pers.).

Habitat des mammifères marins dans la baie Lady Franklin et le fjord Archer

Le phoque annelé (*Pusa hispida*), le phoque barbu (*Erignathus barbatus*) et l'ours blanc sont présents à Tuvaijuittuq, mais leur abondance, leur répartition et leurs interactions écologiques dans cette zone sont largement inconnues (COSEPAC 2008, Stephenson et Hartwig 2010). L'information sur les observations de mammifères marins dans la région de Tuvaijuittuq est principalement fondée sur des observations opportunistes tirées des dossiers d'explorateurs de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle, qui incluaient des observations de morses de l'Atlantique et de narvals (Greely 1886, Peary 1910).

Le premier relevé aérien systématique sur les mammifères marins à Tuvaijuittuq, effectué en 2018 dans la région au nord et au nord-est de l'île d'Ellesmere, a révélé la présence de morses dans le fjord Archer, beaucoup plus au nord que leur aire de répartition connue (Yurkowski *et al.* 2019). Ces observations ont été confirmées dans un relevé subséquent en 2019, lequel a

également révélé la présence de narvals, dont un âgé d'un an, dans la même région, près de la tête du fjord Archer (C. Carlyle, MPO, comm. pers.). En tout, 36 morses de l'Atlantique, 29 narvals, 34 phoques annelés et deux phoques barbus ont été observés. Cela indique que le fjord Archer pourrait être un endroit où se rassemblent de nombreux individus de plusieurs espèces de mammifères marins (p. ex. morse de l'Atlantique, narval, phoque barbu et phoque annelé), peut-être en raison d'une productivité accrue par rapport aux zones environnantes. À mesure que le détroit de Nares s'ouvre pendant la débâcle estivale, la zone devient accessible aux mammifères marins qui peuvent se déplacer vers le nord à partir des eaux du Nord, ainsi qu'entre le Groenland et les eaux canadiennes.

Lacunes dans les connaissances

- Il existe des lacunes fondamentales en ce qui concerne l'océanographie et l'écologie des fjords de Tuvaijuittuq, y compris des levés bathymétriques rares ou absents.
- Les fjords constituent une zone de connectivité entre la terre, les plateaux de glace et l'océan. La charge et le cycle des matières dans les fjords, les échanges avec l'océan côtier et les réactions aux changements climatiques exigent un échantillonnage et une surveillance spécialisés à des endroits clés. Les changements rapides ainsi que l'effondrement récent des plateaux de glace (p. ex. le plateau de glace Milne à l'été 2020) nécessitent une attention immédiate.
- On connaît mal la répartition des mammifères marins et leur utilisation de l'habitat à Tuvaijuittuq. Des morses de l'Atlantique et des narvals n'ont été observés qu'au fjord Archer, à Tuvaijuittuq, ainsi que des phoques annelés, des phoques barbus et des ours polaires, qui sont également présents dans le reste de la ZPM. Cependant, les relevés sur les mammifères marins effectués à Tuvaijuittuq sont limités dans l'espace et le temps, et l'utilisation saisonnière de la région par ces espèces de mammifères marins et leur comportement sont en grande partie inconnus.

Communautés associées à la glace de mer

La glace de mer de plusieurs années offre un habitat unique, mais peu étudié, à un certain nombre d'espèces associées à la glace, allant des microbes et amphipodes adaptés à la glace aux oiseaux de mer et aux ours polaires. La glace de plusieurs années plus ancienne, en particulier les crêtes épaisses et les hummocks que l'on trouve à Tuvaijuittuq, est considérée comme un habitat important pour le biote dépendant de la glace, comme l'espèce zooplanctonique clé *Gammarus wilkitzkii* (Hop et Pavlova 2008; Gradinger *et al.* 2010). La mince couverture de neige associée aux hummocks augmenterait la transmission de la lumière comparativement aux zones environnantes où la couverture de neige est plus épaisse, offrant ainsi un habitat convenable aux communautés d'algues glaciaires (Lange *et al.* 2017). Bien que la glace de plusieurs années soit généralement considérée comme moins productive que la glace de première année, on a constaté que la biomasse moyenne de la chlorophylle-a était beaucoup plus élevée dans les carottes de glace prélevées dans les hummocks de glace de plusieurs années dans la mer de Lincoln que dans la glace de plusieurs années plus mince (c.-à-d. non hummockée) (Lange *et al.* 2015, 2017). Les algues glaciaires sont une composante essentielle à la base des réseaux trophiques marins de l'Arctique, soutenant le plancton, les invertébrés benthiques et la faune sous la glace, grâce à des processus comme le couplage glace-pélagique-benthique, qui est une importante voie de transfert de la production associée à la glace vers le réseau trophique.

À ce jour, plusieurs espèces d'algues, de bactéries, de virus et d'autres microbes ont été identifiées à Tuvaijuittuq dans le cadre du Programme multidisciplinaire de l'Arctique – dernière

zone de glace (Charette *et al.* 2020), contribuant à la diversité globale de l'écosystème marin arctique. Il existe des preuves de différentes signatures de lipides (Kohlbach *et al.* 2020) et de différentes compositions de la communauté d'algues glaciaires entre la glace de plusieurs années et la glace de première année à Tuvaijuittuq (J. Charette, MPO, comm. pers.) et dans d'autres zones de l'océan Arctique (Hop *et al.* 2020). La glace de plusieurs années présente également une plus grande diversité de la flore et de la faune associées à la glace comparativement à la glace de première année (Melnikov *et al.* 2002, Hop *et al.* 2011, 2020).

Les invertébrés servent de lien dans les réseaux trophiques marins de l'Arctique, rendant l'énergie des producteurs primaires accessible aux niveaux trophiques supérieurs comme les poissons (p. ex., Michaud *et al.* 1996), les baleines (e.g., Lowry *et al.* 2004, Pomerleau *et al.* 2011), les phoques (p. ex., Harwood *et al.* 2015) et les oiseaux (p. ex., Jakubas *et al.* 2017). Les invertébrés associés à la glace peuvent être divisés en deux catégories : les espèces qui sont des utilisateurs obligatoires de la glace tout au long de leur cycle biologique et qui dépendent donc de la glace de plusieurs années (les espèces « autochtones ») et les espèces qui utilisent la glace de mer de façon facultative et qui peuvent prospérer dans des environnements de glace saisonnière (les espèces « allochtones »; Gulliksen and Lønne 1991, Barber *et al.* 2015). La faune et le zooplancton associés à la glace consomment les algues glaciaires sous la glace, sur place ou lorsque les algues coulent dans la colonne d'eau (Michel *et al.* 1996, 2002), passant des sources associées à la glace aux sources phytoplanctoniques à mesure que la saison avance (Brown and Belt 2012). L'absorption et le stockage de grandes quantités de lipides pendant les proliférations d'algues glaciaires et de phytoplancton sont essentiels à la survie de ce zooplancton arctique (Sørdeide *et al.* 2010, Record *et al.* 2018). Les espèces de zooplancton associées à la glace *Calanus hyperboreus* et *C. glacialis* synchronisent leurs cycles de reproduction avec la prolifération des algues glaciaires pour tirer parti des acides gras polyinsaturés de grande qualité produits par les diatomées de glace, qui sont importants pour la reproduction et pour constituer des réserves pour la diapause pendant l'hiver (Falk-Petersen *et al.* 2009, Record *et al.* 2018).

Les diverses espèces ont des cycles biologiques et des associations à la glace de mer différents, qui sont décrits plus en détail dans Charette *et al.* (2020). *G. wilkitzkii*, une espèce autochtone que l'on ne trouve pas fréquemment dans les zones couvertes de glace de première année de l'archipel arctique canadien, a été observée attachée à la glace de mer à Tuvaijuittuq (C. Michel et S. Duerksen, MPO, comm. pers.). Cette espèce a été découverte dans des zones de glace saisonnière, mais avec une biomasse de 10 à 100 fois inférieure à celle relevée dans la glace de plusieurs années; en outre, les taux de croissance des individus dans les zones de glace de première année étaient également plus faibles que dans les régions de glace de plusieurs années, ce qui indique que la glace de première année est un habitat de piètre qualité pour ces amphipodes (Beuchel and Lønne 2002).

La morue polaire (*Boreogadus Saida*) est une espèce circumpolaire, très dépendante de la glace de mer (Welch *et al.* 1993, Mecklenburg *et al.* 2011), qui joue un rôle essentiel sur le plan écologique en tant que prédateur et que proie dans les réseaux trophiques pélagiques et benthiques des systèmes marins de l'Arctique (e.g., Crawford *et al.* 2012, David *et al.* 2016, Kohlbach *et al.* 2017, Coad and Reist 2018). Bien qu'il s'agisse d'une espèce importante sur les plans écologique et biologique, on connaît mal l'écologie et les déplacements de la morue polaire, particulièrement dans les régions où la glace de plusieurs années est très concentrée. La morue polaire fraie probablement sous la glace et ses œufs flottent à la surface et éclosent près de l'interface eau-glace (Bain *et al.* 1977). Les larves de morue polaire utilisent la sous-surface de la glace et ses chenaux et coins saumâtres pour se nourrir et éviter les prédateurs (Bain *et al.* 1977, Gradinger and Bluhm 2004). La morue polaire adulte est fortement associée à

la glace de mer et, dans le centre de l'océan Arctique, des abondances plus fortes étaient liées à une épaisse couche de glace et à des densités plus élevées de l'amphipode *Apherusa glacialis* (David *et al.* 2016). Le régime alimentaire de la morue polaire se compose principalement d'espèces associées à la glace comme les copépodes calanoïdes, les amphipodes et les mysididés (David *et al.* 2016, Kohlbach *et al.* 2017). La morue polaire, à son tour, est importante dans le régime alimentaire d'autres poissons, de mammifères marins et d'oiseaux de mer, qui se concentrent tous à la limite de dislocation des glaces pour se nourrir (Bradstreet and Cross 1982, Welch *et al.* 1993, Kovacs *et al.* 2011), et elle représente un lien clé entre la production primaire dans l'Arctique et les niveaux trophiques supérieurs.

La perte de glace de plusieurs années dans l'océan Arctique aura probablement des effets complexes sur les populations de morue polaire : elle pourrait réduire la disponibilité d'abris essentiels contre les prédateurs et la disponibilité des habitats de quête de nourriture en les dispersant sur une plus grande zone (Gradinger and Bluhm 2004, Marz 2010, Meier *et al.* 2014). Il a toutefois été prouvé que la débâcle précoce de la glace de mer augmentera le succès du recrutement des morues polaires juvéniles en allongeant les saisons de croissance (LeBlanc *et al.* 2019). Il est peu probable que la morue polaire soit remplacée par des espèces du sud à Tuvaijuittuq, et la persistance de la glace de mer dans la région peut offrir un refuge aux populations de morue.

Le couplage glace de mer-pélagique-benthique est un processus clé par lequel la production associée à la glace de mer est reliée et transférée aux réseaux trophiques pélagiques et benthiques. Le couplage étroit entre la glace de mer et les réseaux trophiques pélagiques et benthiques a fait l'objet d'études saisonnières (p. ex. Michel *et al.* 1996, 2006) et l'utilisation de biomarqueurs a révélé l'importance des producteurs primaires de la glace de mer pour les brouteurs pélagiques et le benthos (Søreide *et al.* 2010, Kohlbach *et al.* 2019). Les preuves de l'exportation rapide vers le bas des algues glaciaires à des profondeurs supérieures à 4 000 m dans le centre de l'océan Arctique mettent en évidence le rôle important du couplage glace de mer-benthique dans les réseaux trophiques de l'Arctique (Boetius *et al.* 2013).

On connaît mal la répartition des grands mammifères marins et leur utilisation de l'habitat de la glace de mer à Tuvaijuittuq. Le phoque annelé, le phoque barbu et l'ours blanc fréquentent la région, mais il n'y a pas d'évaluation quantitative. Des relevés aériens récents ont également montré la présence de nombreux morses et narvals dans le fjord Archer (voir la section précédente).

Lacunes dans les connaissances

- Seules quelques d'études ont été consacrées aux producteurs primaires et aux processus écologiques à Tuvaijuittuq, et fournissent des renseignements de référence très limités pour la région. De plus, ces études sont très restreintes dans le temps et l'espace, ce qui laisse d'importantes lacunes dans les connaissances sur la grande majorité de la région, et la plus grande partie de l'année. Il existe quelques preuves que les crêtes et les hummocks de la glace de plusieurs années constituent un habitat unique pour les communautés associées à la glace, mais des études supplémentaires sont nécessaires pour comprendre les profils de diversité et de productivité. Actuellement, aucune donnée n'a été publiée sur la productivité marine associée à la glace ou aux eaux libres à Tuvaijuittuq. La saisonnalité, la répartition spatiale et la capacité d'adaptation des producteurs primaires et du zooplancton aux changements de la glace de mer sont toutes inconnues pour la région.
- Il n'y a pas d'études publiées sur la composition et l'abondance des communautés d'invertébrés associées à la glace à Tuvaijuittuq. Des renseignements de référence sur la

répartition, la composition des espèces, l'abondance et les relations entre les écosystèmes pour les espèces associées à la glace et les espèces des eaux libres sont nécessaires.

- On a déterminé que le couplage glace-pélagique-benthique est un important mécanisme de cycle du carbone et de transfert dans le réseau trophique dans de nombreuses zones arctiques couvertes de glace, mais cette information essentielle fait défaut pour Tuvaijuittuq. De même, il n'existe pas d'évaluation quantitative des communautés benthiques qui dépendent de ce couplage à Tuvaijuittuq.
- On comprend encore mal le rôle de la glace de plusieurs années en tant qu'habitat des communautés biologiques associées aux glaces, leur productivité et les liens avec les niveaux trophiques supérieurs.
- Dans l'ensemble, il y a de vastes lacunes dans les connaissances de base sur les producteurs primaires et secondaires et leur couplage, à l'échelle locale, régionale et saisonnière.
- Les données sur les ours blancs de la sous-population du bassin arctique sont considérées comme insuffisantes dans toute l'aire de répartition de l'espèce, y compris à Tuvaijuittuq. Nous avons besoin de données de référence sur l'utilisation de Tuvaijuittuq et des zones adjacentes de glace de plusieurs années par l'ours blanc pour surveiller les changements de la répartition et de l'utilisation de l'habitat au fil du temps, à mesure que la configuration de la glace de mer dans l'Arctique continue de changer.

Biodiversité

Malgré son emplacement éloigné au nord, Tuvaijuittuq renferme une remarquable diversité de types d'habitats. Outre le vaste écosystème de glace de mer de plusieurs années, la région compte bien d'autres habitats dominés par la glace, notamment la glace de mer annuelle, les plateaux de glace de l'île d'Ellesmere et les environnements associés, des fjords et des anses (voir la section précédente), des chenaux de diverses tailles et durées dans la banquise et des lagunes côtières, dont certaines ont été séparées de la mer il n'y a que quelques milliers d'années et retiennent encore l'ancienne eau de mer de l'océan côtier. Sur le littoral, là où la glace de rive se forme et fond, les macrophytes marins (algues) et les communautés côtières de vertébrés et d'invertébrés sont également façonnés par la dynamique des glaces. L'écosystème de la glace de mer de plusieurs années comprend les habitats non seulement sur, dans et immédiatement sous la glace, mais aussi la colonne d'eau sous-jacente qui est reliée à la glace de mer par les échanges de matières dissoutes (comme les éléments nutritifs) et particulaires (p. ex. l'incorporation d'organismes de l'eau dans la glace et leur exportation hors de la glace), de même que les propriétés telles que la chaleur ou la saumure qui influencent également la dynamique de l'océan. Les modifications des propriétés océaniques dans l'océan couvert de glace ou dans les chenaux ouverts ont une incidence sur les écosystèmes en aval. Les propriétés océaniques dépendent également des processus en amont. À Tuvaijuittuq, les forçages dominants sont la circulation à grande échelle des eaux du Pacifique et de l'Atlantique influencée par le tourbillon de Beaufort et la dérive transpolaire, qui façonnent également la biodiversité. Ces forçages sont soumis à la variabilité associée aux oscillations climatiques (c.-à-d. l'oscillation arctique), superposée aux changements climatiques (p. ex. augmentation de la teneur en eau douce dans le tourbillon de Beaufort), avec des impacts en cascade anticipés, mais inconnus sur la structure et la diversité des écosystèmes de Tuvaijuittuq.

Compte tenu de cette diversité d'habitats, Tuvaijuittuq soutient probablement diverses communautés biologiques, mais on connaît mal l'abondance, la productivité ou la composition

des espèces dans la région. La récente découverte d'animaux vivant dans des cavités à l'intérieur du plateau de glace Milne (WIRL 2020) laisse supposer que l'exploration et la cartographie de la richesse biologique de cette région nous réservent d'autres surprises. Au cours des dernières expéditions du Programme multidisciplinaire de l'Arctique – dernière zone de glace, l'utilisation d'un véhicule sous-marin téléguidé (VTG) équipé d'une caméra a permis d'observer directement le zooplancton et les poissons sous la glace, ainsi que les communautés benthiques (S. Duerksen, MPO, comm. pers; Charette *et al.* 2020). Des essaims d'amphipodes (*A. glacialis*) ont été observés nageant directement sous la glace et de nombreux *G. wilkitzkii* ont été repérés attachés sur le fond de la glace de mer. Des morues polaires ont été observées sous la glace de plusieurs années. Les plongées du VTG ont également révélé diverses communautés d'organismes benthiques sous l'océan couvert de glace. Des concentrations de crinoïdes, des ophiures et des fausses étoiles de mer (Ophiuroidea), des étoiles de mer (Asteroidea), des bancs de pétoncles, des éponges siliceuses, des coraux mous, des gorgones, des anémones et des limaces de mer ont été fréquemment trouvés. Plusieurs espèces de poissons benthiques, dont des chabots (Cottoidea) et des unernaks (*Gymnelus* spp.), des seiches (*Sepia* spp.) et des pieuvres (*Bathypolypus arcticus*) ont également été détectées. De nombreux types de pycnogonides (Pycnogonida) étaient très abondants et un individu a été observé portant une couvée de jeunes.

Les méthodes de collecte traditionnelles, c'est-à-dire les filets à zooplancton, ont révélé une abondance de grands copépodes calanoïdes (*C. hyperboreus* et *C. glacialis*), ainsi que *Paraeuchata norvegica*, *Metridia Longa* et *Themisto* spp., le ptéropode *Clione Limacina* et des zooplanctons gélatineux comme *Mertensia ovuma* et *Beroe* spp. Un grand siphonophore (*Marrus orthocana*), mesurant environ 2 m de long, a été observé sous la glace en 2019.

Les techniques classiques de collecte et d'identification de la biodiversité aux niveaux trophiques inférieurs sont maintenant complétées par des techniques de microbiologie moléculaire qui peuvent révéler la riche diversité des espèces microbiennes dans tous les domaines de la vie. Par exemple, des communautés inhabituelles d'espèces dominées par les chlorophytes ont été observées dans le lac d'épibanquise associé au plateau de glace Milne (Thaler *et al.* 2017), et on a constaté que les bactéries photosynthétiques dominaient les eaux de mer anciennes des lacs côtiers du nord de l'île d'Ellesmere (p. ex. Labbé *et al.* 2020). Les analyses des îles de glace vêlées des plateaux de glace indiquent qu'elles contiennent un biote inhabituel, et de nouvelles espèces de levure psychrophile ont été décrites dans ces habitats de Tuvaijuittuq (Tsuji *et al.* 2018). Toutefois, ces études n'en sont qu'à leurs balbutiements et le développement continu de méthodes moléculaires ouvre de nouvelles possibilités pour évaluer la diversité taxonomique et fonctionnelle de ces habitats nordiques. Les enregistrements d'espèces d'oiseaux sur la côte (p. ex. le Tableau 2 dans Vincent *et al.* 2011) et d'espèces de poissons sont pour la plupart anecdotiques, comme le rapport d'un flétan d'un mètre de long dans le fjord Disraeli (G. Hattersley-Smith, MDN, comm. pers.) et de Mouettes blanches survolant le plateau de glace Milne (D. Mueller, Université Carleton, comm. pers.).

Il y a très peu d'information sur la diversité et l'abondance des poissons à Tuvaijuittuq et dans les environs. En particulier, le saïda imberbe (*Arctogadus glacialis*), la morue polaire, l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*), le chaboisseau à quatre cornes (*Myoxocephalus quadricornus*) et le flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) ont été confirmés à plus de 83 °N, dans les limites de Tuvaijuittuq (voir le Tableau 6 dans Charette *et al.* 2020). L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) inclut des parties de Tuvaijuittuq dans l'aire de répartition de la laimargue atlantique (*Somniosus Microcephalus*) (UICN 2020). Le détroit de Nansen abrite également de nombreuses espèces de poissons, en particulier les *Cottidae*, et la lycode glaciale (*Lycodes frigidus*) a été observée dans le bassin Canada, dans les eaux

profondes juste à l'extérieur de Tuvaijuittuq (voir le Tableau 6 dans Charette *et al.* 2020). Les profondeurs de l'eau prévues à Tuvaijuittuq conviennent au flétan du Groenland, que l'on trouve souvent sous la glace de mer; sa présence est donc probable, mais aucune observation directe n'a été faite (Coad et Riest 2018, K. Hedges, MPO, comm. pers.).

À Tuvaijuittuq, on a observé l'omble chevalier au large de la pointe nord de l'île d'Ellesmere et dans le détroit de Nansen et le fjord Greely (Coad and Reist 2004, 2018). Aucune rivière importante n'est présente à Tuvaijuittuq, mais certains lacs se déversant dans la mer abritent des ombles chevaliers qui migrent probablement entre les habitats marins et d'eau douce (Veillette *et al.* 2012). Bien que l'omble chevalier soit l'espèce la plus couramment pêchée au Nunavut, il n'existe pas de pêche commerciale ou de subsistance à l'intérieur ou à proximité de Tuvaijuittuq (Nunavut 2016). Les permis pour la pêche exploratoire existants au Nunavut n'incluent pas non plus Tuvaijuittuq (Nunavut 2016).

Les oiseaux de mer fréquentent souvent Tuvaijuittuq, mais ils ne sont pas aussi abondants que dans les régions du sud, peut-être en raison d'une contribution moindre des zones productives d'eaux libres (p. ex. polynies, limites de dislocation des glaces) qui soutiennent habituellement les colonies nicheuses. Plusieurs espèces d'importance nationale et internationale utilisent la région de Tuvaijuittuq (Conservation de la flore et de la faune arctiques 2013). La mouette blanche et la mouette rosée (*Rhodosterhia rosea*), classées en voie de disparition au Canada (COSEPAC 2006), ont été observées à Tuvaijuittuq, mais on ignore leur abondance, leur répartition et leur utilisation de l'habitat dans la ZPM. Bien que la seule colonie connue de mouettes rosées se trouve au sud de la région, cette espèce a fait l'objet d'un suivi à l'aide d'enregistreurs utilisant la zone à l'intérieur de Tuvaijuittuq (J. Provencher, ECCC, comm. pers.). La sterne arctique (*Sterna paradisaea*) et le goéland bourgmestre (*Larus hyperboreus*) sont deux espèces qui ne sont pas inscrites à la liste de la *Loi sur les espèces en péril*, mais dont les populations déclinent au Canada. Ce sont deux espèces associées à la glace qui nichent au sud de Tuvaijuittuq (Mallory *et al.* 2020) et dépendront probablement davantage de l'habitat dans cette région dans les prochaines décennies.

L'écosystème de Tuvaijuittuq est contigu aux terres côtières et à des régions dominées par la glace à l'est et à l'ouest. En particulier, la côte nord du Groenland, avec sa zone de glace épaisse, ses fjords et ses paysages désertiques polaires, ressemble beaucoup à celle de Tuvaijuittuq et fait partie du même écosystème global.

Lacunes dans les connaissances

- Les communautés de poissons n'ont pas été étudiées à Tuvaijuittuq. La morue polaire est une espèce associée à la glace et un lien important entre les niveaux trophiques inférieurs et supérieurs des réseaux trophiques marins de l'Arctique. On manque totalement de connaissances sur la morue polaire et les autres espèces de poissons à Tuvaijuittuq. Il n'y a pas de rivières importantes à Tuvaijuittuq; il est donc peu probable que cette région offre un habitat convenable pour d'importantes populations d'omble chevalier anadrome.
- On ignore en grande partie la répartition des espèces d'oiseaux observées à Tuvaijuittuq et leur utilisation de l'habitat, y compris pour la Mouette blanche et la Mouette rosée, toutes deux classées comme espèces en voie de disparition (COSEPAC 2006).
- Les plongées exploratoires du VTG durant le Programme multidisciplinaire de l'Arctique – dernière zone de glace ont révélé la présence de divers organismes benthiques, dont des éponges siliceuses à croissance lente. On manque totalement de connaissances sur la diversité, l'abondance et la répartition des espèces benthiques à Tuvaijuittuq, ainsi que sur

leur lien avec la glace de mer et la productivité océanique et leur rôle dans le régime alimentaire des mammifères marins et des oiseaux.

- Notre connaissance actuelle de Tuvaijuittuq est fondée sur des observations éparses plutôt que sur des relevés écosystémiques dédiés et une surveillance soutenue de l'écosystème. Le caractère unique et la diversité des habitats de Tuvaijuittuq suggèrent une forte biodiversité potentielle. Toutefois, ces habitats ou types d'écosystèmes uniques ne sont encore ni répertoriés, ni adéquatement caractérisés.

Autres considérations

- Tuvaijuittuq est l'un des écosystèmes de l'Arctique les moins étudiés. Il s'agit d'un écosystème unique où la glace de mer de plusieurs années devrait demeurer alors qu'elle disparaît rapidement de vastes étendues de l'océan Arctique. Tuvaijuittuq peut offrir un refuge aux espèces associées à la glace à mesure que la glace de mer de l'Arctique continue de décliner.
- Il existe de vastes lacunes dans les connaissances sur Tuvaijuittuq, y compris les composantes et les fonctions de l'écosystème, les processus océaniques et de la glace de mer en champ proche et en champ éloigné, la connectivité avec d'autres écosystèmes (p. ex. les eaux du Nord, le tourbillon de Beaufort) et la saisonnalité. Nos connaissances sont également limitées sur le plan spatial dans cette vaste région.
- La présence documentée de nombreux morses de l'Atlantique et narvals dans le fjord Archer, plus au nord que leur aire de répartition décrite précédemment, montre à quel point nous connaissons mal la répartition des espèces à Tuvaijuittuq et leur utilisation de l'habitat. De récentes indications d'espèces benthiques diverses et étonnamment abondantes dans la région font également ressortir l'importance probable du couplage glace de mer-pélagique-benthique sur le plateau, et soulignent notre connaissance limitée de cet écosystème éloigné.
- Des évaluations continues des écosystèmes et la surveillance des changements écosystémiques fourniront la base scientifique nécessaire pour étayer les considérations de gestion pour Tuvaijuittuq. Des études écosystémiques constantes à long terme à des endroits clés sont nécessaires pour combler les lacunes dans les connaissances sur les écosystèmes à Tuvaijuittuq, afin de caractériser les conditions de référence, les changements en cours et de mieux prédire les futures conditions dans cet écosystème unique.
- La connectivité de Tuvaijuittuq avec l'écosystème plus vaste de la glace de plusieurs années et des caractéristiques océaniques côtières et à grande échelle justifie des liens avec les activités de conservation vers l'ouest avec les Territoires du Nord-Ouest et la région désignée des Inuvialuit, vers le sud avec le [parc national Quttinirpaq](#), au Nunavut, et vers l'est avec le Conseil de l'Arctique, en vue de mettre en place un réseau d'AMP, ainsi que des liens avec les activités de conservation dans le nord du Groenland comme la réserve de biosphère du Nord-Est du Groenland (UNESCO 2014).

Sources d'incertitude

La principale incertitude en ce qui concerne Tuvaijuittuq est le manque de données sur toutes les composantes de l'écosystème dans la région. La seule étude écosystémique de Tuvaijuittuq est le récent Programme multidisciplinaire de l'Arctique – dernière zone de glace du MPO, qui a mené des campagnes sur le terrain près de la station des Forces canadiennes d'Alert au

printemps 2018 et 2019 (le programme de terrain 2020 a été annulé en raison de la pandémie de COVID-19; Michel et Lange 2018; Michel *et al.* 2019). Les résultats de ce programme sont toutefois localisés dans l'espace et le temps (p. ex. Lange *et al.* 2019, Kohlbach *et al.* 2020), à l'exception des relevés aériens sur les mammifères marins qui couvraient le plateau et le détroit de Nares et le fjord Archer au sud (Yurkowski *et al.* 2019).

Dans l'ensemble, seule une très petite partie de l'environnement marin de Tuvaijuittuq a été étudiée, et seulement au printemps et en été. Les changements extrêmement rapides associés aux changements climatiques, par exemple, la perte dramatique des plateaux de glace et des lacs d'épibanquise, nécessitent une mobilisation immédiate pour établir la base de référence qui évolue rapidement.

Agents de stress et vulnérabilités

Changements climatiques

Les changements climatiques représentent une menace importante pour Tuvaijuittuq. L'étendue globale et l'épaisseur de la glace de mer de l'Arctique, particulièrement pendant l'été, ont considérablement diminué au cours des dernières décennies, car la glace de plusieurs années est remplacée par une glace de première année plus mince dans de vastes régions de l'océan Arctique (Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique (PSEA) 2017; Perovich *et al.* 2019). Au cours des dernières décennies, la glace plus vieille est devenue moins fréquente (Perovich *et al.* 2019), de sorte qu'en 2019, la glace arctique de plus de trois ans ne couvrait que 0,9 M km², contre 3,5 M km² en 1985. Tuvaijuittuq semble maintenant abriter la majeure partie de la glace la plus ancienne de l'Arctique et une fraction importante du reste de la glace de plusieurs années (Perovich *et al.* 2019). Les récents événements importants de vêlage des plateaux de glace comprennent la disparition complète des plateaux de glace Ayles et Markham en 2005 et en 2008, respectivement (Copland *et al.* 2007, Mueller *et al.* 2008, White *et al.* 2015), et les pertes importantes des plateaux de glace Ward Hunt, Petersen, Serson et Milne (White *et al.* 2015, Copland *et al.* 2018, WIRL 2020). La plupart des périodes de vêlage et de dislocation importants des plateaux de glace ont coïncidé avec des étés plus chauds que d'habitude dans le nord de l'île d'Ellesmere (White *et al.* 2015, Braun 2017).

Les changements de la composition de la glace de mer (p. ex. glace de plusieurs années par rapport à glace de première année) ainsi que de son étendue spatiale et saisonnière ont une incidence sur toutes les composantes de l'écosystème, y compris les processus physiques, chimiques et biologiques à diverses échelles (voir l'examen dans PSEA 2017). La composition, l'emplacement, la période et l'ampleur des proliférations d'algues glaciaires et de phytoplancton (les fondements des écosystèmes marins de l'Arctique) sont déjà touchés par les changements climatiques et de la glace de mer dans l'Arctique (p. ex. Comeau *et al.* 2011, Leu *et al.* 2011, Ardyna *et al.* 2014). À leur tour, ces changements ont des effets en cascade sur la diversité et l'abondance des niveaux trophiques supérieurs, la nature du transfert d'énergie dans le réseau trophique, le cycle du carbone et des éléments, ainsi que la structure et les fonctions globales de l'écosystème (p. ex. Meier *et al.* 2014, Michel *et al.* 2015, Underwood *et al.* 2019). Par exemple, le déclin de la glace de plusieurs années dans le bassin Canada a été associé à une diminution de l'abondance de l'espèce de zooplancton associée à la glace *G. wilkitzkii* (Melnikov *et al.* 2002). Cette espèce importante sur le plan écologique a été trouvée dans de grands regroupements sous la glace de plusieurs années à Tuvaijuittuq (S. Duerksen, MPO, comm. pers., Charette *et al.* 2020). Les espèces de grands copépodes riches en lipides comme *G. wilkitzkii* constituent une source de nourriture essentielle pour les niveaux trophiques supérieurs, et les changements dans leur abondance et la composition des communautés zooplanctoniques ont donc des répercussions en cascade sur le réseau trophique.

La modélisation bayésienne montre également l'importance de Tuvaijuittuq en tant que refuge couvert de glace pour les espèces associées à la glace, comme les ours polaires, à mesure que le climat continue de se réchauffer et que la couverture de glace de mer diminue dans d'autres régions (Atwood *et al.* 2016). Ces espèces sont particulièrement sensibles aux changements climatiques et à la perte de la glace de mer (p. ex. Laidre *et al.* 2008).

L'analyse des ensembles de données sur la température à long terme (60 ans) dans l'Arctique canadien a révélé des hausses relativement importantes et souvent graves de la température moyenne annuelle de l'air; l'une des augmentations les plus fortes est intervenue à Eureka (van Wijngaarden 2015). Les simulations des modèles climatiques suggèrent une augmentation des précipitations pour la région de Tuvaijuittuq d'ici la fin du siècle (Šeparović *et al.* 2013).

L'accélération de la fonte des glaciers sur l'île d'Ellesmere due aux changements climatiques devrait accroître le déversement d'eau douce et de ses constituants provenant de la fonte des glaciers dans la région littorale de Tuvaijuittuq.

De plus, la variabilité climatique et les changements climatiques influent sur la position du front qui sépare les eaux du Pacifique et de l'Atlantique dans le centre de l'océan Arctique, et donc sur la signature de ces masses d'eau à Tuvaijuittuq. On ignore la réaction de ces forçages océaniques en champ éloigné aux changements climatiques et leur influence sur l'écosystème marin de Tuvaijuittuq.

Trafic maritime et exploitation des ressources

Un résumé des passages récents de navires à Tuvaijuittuq est présenté dans Charette *et al.* (2020; Tableau 8). L'exploitation potentielle des ressources et le trafic maritime correspondant à Tuvaijuittuq et dans les zones adjacentes de banquise permanente sont considérés comme des activités à haut risque et à coût élevé en raison, en partie, de l'éloignement et des dangers que présente l'exploitation dans une zone où la couverture de glace de plusieurs années est épaisse. Le potentiel global d'exploitation dans la région est par conséquent limité (Gavrilchuk et Lesage 2014). L'extraction de gisements de pétrole et de gaz dans le bassin de Sverdrup, aux îles de la Reine-Élisabeth (Adams 2014, Gavrilchuk et Lesage 2014), bien que peu probable jusqu'à ce qu'une plus grande partie de la glace de plusieurs années disparaisse, pourrait avoir des effets négatifs directs et indirects sur les principales caractéristiques et le biote. De plus, l'intensification du trafic maritime dans l'Arctique à mesure que les voies de navigation s'ouvrent avec le déclin de la glace de mer peut être un agent de stress dans la partie nord de la ZPM.

Bien que l'intérêt pour le tourisme des paquebots de croisière à Tuvaijuittuq puisse augmenter à mesure que la glace de plusieurs années diminue, ce type d'activité est actuellement minime en raison des problèmes d'accessibilité et des conditions de glace dangereuses. Une analyse du trafic maritime effectuée par Maerospace Corp. (2019) a révélé qu'entre 2012 et 2019, un seul navire à passagers (le Kapitan Khlebnikov, en septembre 2016) est entré à Tuvaijuittuq, dans le fjord Greely, par le détroit d'Eureka. À l'exception de ce navire, les seules traces confirmées à Tuvaijuittuq durant cette période étaient celles de quatre brise-glaces, dont trois navires canadiens (navire de la Garde côtière canadienne [NGCC] Des Groseilliers, NGCC Henry Larsen et NGCC Amundsen) et un suédois (Oden) (Amundsen Science 2019, Maerospace Corp. 2019). Les navires n'étaient présents que dans deux régions, le fjord Greely ou le bassin Hall et le détroit de Robeson.

Les préoccupations environnementales liées au développement commercial et à l'augmentation du trafic maritime dans la région comprennent, sans toutefois s'y limiter, les dommages à l'habitat et les perturbations/blessures du biote causés par le bruit, les déversements d'hydrocarbures et le rejet d'autres contaminants, le déglacage, la circulation (p. ex. collisions

avec des navires), les échouements/naufages et les rejets (p. ex. eau de cale/eaux grises, déchets, ballast) (Adams 2014, MPO 2020).

Pêches et activités de subsistance

À l'heure actuelle, il n'y a pas de récolte commerciale et de subsistance à Tuvaijuittuq en raison de son éloignement, de sa couverture dense de glace de plusieurs années, des coûts élevés de récolte et des conditions de voyage dangereuses (MPO 2019, Maerospace Corp. 2019). Les collectivités les plus proches qui comptent des exploitants de ressources naturelles, Grise Fiord et Resolute Bay, se trouvent à plus de 600 km de Tuvaijuittuq; toutefois, la région revêt une importance culturelle pour ces collectivités et d'autres de la région du Qikiqtani. La répartition et l'abondance des espèces commerciales potentielles comme l'omble chevalier, le flétan du Groenland et la crevette nordique (*Pandalus borealis*) sont en grande partie inconnues dans la région; toutefois, d'après les conditions océanographiques générales à Tuvaijuittuq, la région pourrait ne pas convenir à la pêche de ces espèces (Charette *et al.* 2020). On manque aussi de connaissances sur la répartition des mammifères marins et leur utilisation de l'habitat à Tuvaijuittuq, malgré les observations de phoques annelés, de phoques barbus, d'ours blancs, de morses de l'Atlantique et de narvals dans le fjord Archer au cours des derniers étés (Yurkowski *et al.* 2019, C. Carlyle, MPO, comm. pers.). Cependant, pour le morse de l'Atlantique et le narval, on ignore quelles populations et quels stocks ils représentent ainsi que le niveau de pression de récolte qu'ils peuvent subir pendant leurs migrations à destination et en provenance de la ZPM.

Bien que la pêche commerciale à Tuvaijuittuq puisse devenir intéressante dans l'avenir, cette activité est très peu probable en raison de la glace de mer et des conditions océanographiques. Une évaluation de la capacité de production de Tuvaijuittuq est la première étape vers une évaluation du potentiel de pêche.

Expansion des aires de répartition

Il y a de plus en plus de preuves de l'expansion vers le pôle des espèces pélagiques de la région subarctique, du phytoplancton aux poissons, aux points d'accès dans l'Arctique du Pacifique et de l'Arctique européen (Fossheim *et al.* 2015, Eriksen *et al.* 2017, Spies *et al.* 2020); ces expansions sont en grande partie attribuables à l'advection (Oziel *et al.* 2020). La région de Tuvaijuittuq n'est pas directement reliée à ces points d'accès, car elle est située loin en aval des influences des eaux de l'Atlantique ou du Pacifique, agissant également comme une voie de transit des eaux de la mer de Beaufort et du bassin arctique pour leur exportation par le conduit étroit du détroit de Nares. Les eaux de Tuvaijuittuq sont en amont de celles de la baie de Baffin, ce qui signifie que les eaux arctiques de Tuvaijuittuq sont transportées dans les eaux du Nord et plus au sud jusqu'à la baie de Baffin, mais que les eaux de l'Atlantique du courant de l'Ouest du Groenland n'atteignent pas Tuvaijuittuq. Ainsi, la région de Tuvaijuittuq n'est pas exposée à l'influence directe de l'expansion des aires de répartition par l'advection d'espèces subarctiques, c.-à-d. l'advection d'espèces planctoniques ou de stades larvaires d'espèces benthiques et pélagiques. On prévoit que des espèces très mobiles comme les mammifères marins et les oiseaux de mer, y compris les goélands et les sternes, qui peuvent migrer jusqu'à Tuvaijuittuq, soit de façon opportuniste, soit par un comportement appris/adaptatif, à mesure que les conditions climatiques et de la glace de mer changent, pourraient élargir leur aire de répartition vers le nord jusqu'à Tuvaijuittuq. L'augmentation de l'abondance de ces espèces et l'élargissement de leur aire de répartition se répercuteraient sur les réseaux trophiques en raison des effets descendants de la prédation et de la concurrence. Par exemple, la prédation accrue sur les espèces benthiques dont la croissance est potentiellement lente à Tuvaijuittuq, par un plus grand nombre de prédateurs d'espèces

benthiques comme les morses, pourrait avoir des impacts disproportionnés sur les communautés benthiques. Selon les conditions océaniques, des espèces de poissons pourraient étendre leur aire de répartition dans la région est de Tuvaijuittuq.

Polluants transportés sur de grandes distances

Comme d'autres régions de l'Arctique, Tuvaijuittuq est considérée comme un environnement récepteur pour les polluants mondiaux, y compris les polluants organiques persistants (POP), le mercure et les microplastiques. Les POP et le mercure peuvent s'accumuler chez les espèces de niveau trophique élevé d'intérêt pour Tuvaijuittuq, comme l'ours blanc et la Mouette blanche, dans des concentrations suffisamment importantes pour les exposer à un risque élevé d'effets nocifs sur la reproduction et d'autres effets sur la santé (PSEA 2018). La surveillance et l'évaluation futures de la santé des écosystèmes et de la faune dans la zone devraient tenir compte des effets des polluants mondiaux en les combinant avec les autres agents de stress actuels et prévus.

Conclusions

Deux types d'habitats uniques et vulnérables, la glace de mer de plusieurs années et les plateaux de glace de l'île d'Ellesmere, sont reconnus comme des caractéristiques prédominantes, uniques et sensibles dans la région de Tuvaijuittuq. De plus, les zones extracôtières, côtières et les plateaux de glace abritent une diversité d'écosystèmes et d'habitats. Les communautés associées à la glace dans la région sont des groupes d'espèces clés d'intérêt influencés par les facteurs physiques et océanographiques de la région, car ils définissent les voies trophiques, du zooplancton et du benthos jusqu'aux oiseaux et aux mammifères marins. Les fjords qui relient les plateaux de glace au domaine marin constituent des zones clés de changement, qui influencent les processus écosystémiques à de multiples échelles, de la diversité microbienne aux processus de mélange et de stratification. Le détroit de Nansen/fjord Greely est également considéré comme une zone clé potentielle en raison de la connectivité associée à des types d'habitats importants. Les récentes découvertes sur l'utilisation de la baie Lady Franklin et du fjord Archer par plusieurs espèces de mammifères marins (p. ex. morse de l'Atlantique, narval) donnent à penser que ces zones sont un habitat important dans la région de Tuvaijuittuq. De vastes zones de Tuvaijuittuq n'ont pas encore été explorées et, à ce titre, nous manquons actuellement de renseignements de référence essentiels pour comprendre la biodiversité, la répartition des espèces et leur utilisation de l'habitat de la région, et les modifications qui y sont induites par les changements climatiques.

Objectifs de conservation

Compte tenu des caractéristiques écologiques uniques des eaux marines au nord de l'île d'Ellesmere, des fjords adjacents et des écosystèmes côtiers, les objectifs de conservation de la ZPM de Tuvaijuittuq sont les suivants :

- **Glacé de plusieurs années, plateaux de glace d'Ellesmere et fjords**
 - Protéger une vaste zone océanique couverte de glace de plusieurs années dans l'Extrême-Arctique canadien, les zones côtières, les bras de mer et les fjords connexes, de même que les plateaux de glace d'Ellesmere restants contre les activités humaines potentiellement dangereuses.
 - Décrire et surveiller les caractéristiques physiques et biologiques de la glace de mer, des eaux océaniques et des plateaux de glace d'Ellesmere, ainsi que leurs écosystèmes

connexes, afin de détecter les changements et de prévoir les répercussions qui en découlent.

- **Communautés associées à la glace et biodiversité**
 - Décrire et conserver la diversité des espèces et des écosystèmes dans les zones extracôtières et côtières, les fjords et les plateaux de glace.
 - Cartographier la biogéographie de Tuvaijuittuq, y compris des levés du fond marin et la caractérisation des zones inexplorées.
 - Surveiller les communautés de la glace de mer et les réseaux trophiques pour évaluer leur sensibilité aux forçages climatiques.
 - Décrire et étudier la répartition des mammifères marins et leur utilisation de l'habitat dans la baie Lady Franklin, le fjord Archer et dans l'ensemble de Tuvaijuittuq, de même que les processus écologiques qui soutiennent ces espèces.
 - Décrire et protéger les espèces en péril à Tuvaijuittuq, et étayer les plans de rétablissement et d'action existants.
 - Décrire les caractéristiques écologiques et la connectivité écologique, les réseaux trophiques et l'utilisation de l'habitat par les espèces, depuis la glace de mer, les processus océaniques et la productivité primaire jusqu'aux consommateurs des niveaux trophiques supérieurs.

Collaborateurs

- Christine Michel, MPO Science, Région de l'Ontario et des Prairies
- Joannie Charette, MPO Science, Région de l'Ontario et des Prairies
- Steve Duerksen, MPO Science, Région de l'Ontario et des Prairies
- Kayla Gagliardi, MPO Science, Région de l'Ontario et des Prairies
- Kevin Hedges, MPO Science, Région de l'Ontario et des Prairies
- Shannon MacPhee, MPO Science, Région de l'Ontario et des Prairies
- Joclyn Paulic, MPO Science, Région de l'Ontario et des Prairies
- Monika Pućko, MPO Science, Région de l'Ontario et des Prairies
- David Yurkowski, MPO Science, Région de l'Ontario et des Prairies
- Humfrey Melling, MPO Science, Région du Pacifique
- Clark Richards, MPO Science, Région des Maritimes
- Chandra Chambers, Planification et conservation marines du MPO, région de l'Arctique
- Diane Blanchard, Parcs Canada
- Ryan Eagleson, Parcs Canada
- Stephen McCanny, Parcs Canada
- Candace Newman, Parcs Canada
- Zoya Martin, gouvernement du Nunavut, ministère de l'Environnement
- Derek Mueller, Université Carleton

- Jennifer Provencher, Service canadien de la faune
- Andrew Randall, Association inuite du Qikiqtani
- Alexandra Steffen, Environnement et Changement climatique Canada
- Connie Lovejoy, Université Laval
- Jean-Éric Tremblay, Université Laval
- Warwick Vincent, Université Laval

Approuvé par

Lianne Postma, Région de l'Ontario et des Prairies, gestionnaire de division par intérim

Gavin Christie, Région de l'Ontario et des Prairies, directeur régional des Sciences par intérim

(le 20 novembre 2020)

Sources de renseignements

La présente réponse des Sciences découle du processus de réponse des Sciences du 6 et 7 octobre et le 28 octobre 2020 sur la détermination des caractéristiques biophysiques et écologiques clés de la zone de protection marine (ZPM) de Tuvaijuittuq.

Adams, P. 2014. Last Ice Area Greenland and Canada. WWF-Global Arctic Programme, Ottawa, ON. 66 p.

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). 2017. Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xiv + 269 p.

AMAP. 2018. AMAP Assessment 2018: Biological Effects of Contaminants on Arctic Wildlife and Fish. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Tromsø, Norway. vii + 84 p.

Ardyna, M., Babin, M., Gosselin, M., Devred, E., Rainville, L., and Tremblay, J.É. 2014. Recent Arctic Ocean sea ice loss triggers novel fall phytoplankton blooms. *Geophys. Res. Lett.* 41(17): 6207–6212.

Atwood, T.C., Marcot, B.G., Douglas, D.C., Amstrup, S.C., Rode, K.D., Durner, G.M., and Bromaghin, J.F. 2016. Forecasting the relative influence of environmental and anthropogenic stressors on polar bears. *Ecosphere* 7(6): e01370.

Bain, H., Thomson, D., Foy, M., and Griffiths, W. 1977. Marine ecology of fast-ice edges in Wellington Channel and Resolute Passage, N.W.T. Unpubl. Rep. by LGL Ltd., Toronto, ON. 262 p.

Barber, D., Asplin, M., Gratton, Y., Lukovich, J., Galley, R., Raddatz, R., 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.

Barber, D., Mundy, C., Kirillov, S., Stark, H., Candlish, L., Burgers, T., Campbell, K., Kenyon, K., Wang, F., Wang, K., Dmitrenko, I., and Papakyriakou, T. 2019. Physical, biological, and chemical processes in the North Water (NOW) Polynya. *In* North Water Polynya Conference, Copenhagen 2017. Edited by A. Mosbech and L. A. Kyhn. Aarhus University, Aarhus, Denmark. pp. 28–35.

- Barber, D.G., and Massom, R.A. 2007. The role of sea ice in Arctic and Antarctic polynyas. Elsevier Oceanogr. Ser. 74: 1–54.
- Barber, D.G., Hop, H., Mundy, C.J., Else, B., Dmitrenko, I.A., Tremblay, J.-E., Ehn, J.K., Assmy, P., Daase, M., and Candlish, L.M. 2015. Selected physical, biological and biogeochemical implications of a rapidly changing Arctic Marginal Ice Zone. Prog. Oceanogr. 139: 122–150.
- Bégin, P.N., Tanabe, Y., Kumagai, M., Culley, A.I., Paquette, M., Sarrazin, D., Uchida, M., and Vincent, W.F. 2020. Extreme warming and regime shift toward amplified variability in a far northern lake. Limnol. Oceanogr. 9999: 1–13.
- Beuchel, F., and Lønne, O. 2002. Population dynamics of the sympagic amphipods *Gammarus wilkitzkii* and *Apherusa glacialis* in sea ice north of Svalbard. Polar Biol. 25: 241–250.
- 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: 2480–2497.
- Boetius, A., Albrecht, S., Bakker, K., Bienhold, C., Felden, J., Fernández-Méndez, M., Hendricks, S., Katlein, C., Lalande, C., and Krumpen, T. 2013. Export of algal biomass from the melting Arctic sea ice. Science 339(6126): 1430–1432.
- Bonneau, J. 2020. Winter dynamics in an epishelf lake. Thesis (M. Sc.) University of British Columbia, Vancouver, BC. xvii + 90 p.
- Bourke, R.H., and Garrett, R.P. 1987. Sea ice thickness distribution in the Arctic Ocean. Cold Reg. Sci. Technol. 13: 259–280.
- Bradstreet, M.S., and Cross, W.E. 1982. Trophic relationships at high Arctic ice edges. Arctic 35: 1–12.
- Braun, C. 2017. The surface mass balance of the Ward Hunt Ice Shelf and Ward Hunt Ice Rise, Ellesmere Island, Nunavut, Canada. In Arctic ice shelves and ice islands. Edited by L. Copland and D. Mueller. Springer Polar Sciences, Dordrecht, The Netherlands. pp. 149–183.
- Brown, T.A., and Belt, S.T. 2012. Closely linked sea ice–pelagic coupling in the Amundsen Gulf revealed by the sea ice diatom biomarker IP25. J. Plankton Res. 34: 647–654.
- CAFF (Conservation of Arctic Flora and Fauna). 2013. Arctic Biodiversity Assessment. Status and trends in Arctic biodiversity. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. 674 p.
- Charette, J., Melling, H., Duerksen, S., Johnson, M., Dawson, K., Brandt, C., Remnant, R. and Michel, C. 2020. Biophysical and Ecological Overview of the Tuvaijuittuq Area. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3408: xi + 112 p.
- CIS (Canadian Ice Service). 2016a. [Annual Arctic Ice Atlas: Winter 2015 to 2016](#). Environment and Climate Change Canada, Ottawa, ON. 18 p.
- CIS. 2016b. [Seasonal Summary: North American Arctic Waters: Summer 2016](#). Environment and Climate Change Canada, Ottawa, ON. 28 p.
- CIS. 2020. [Canadian Ice Service Digital Ice Chart Archive](#) [Online]. (accessed 15 March 2020).
- Coad, B.W., and Reist, J.D. 2004. [Annotated list of the Arctic Marine Fishes of Canada](#). Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2674: iv + 112 p.

- Coad, B.W., and Reist, J.D. (ed.). 2018. Marine Fishes of Arctic Canada. University of Toronto Press, Toronto, ON. 632 p.
- Comeau, A.M., Li, W.K., Tremblay, J.-É., Carmack, E.C., and Lovejoy, C. 2011. Arctic Ocean microbial community structure before and after the 2007 record sea ice minimum. *Plos One* 6: e27492.
- Copland, L., Mueller, D.R., and Weir, L. 2007. Rapid loss of the Ayles ice shelf, Ellesmere Island, Canada. *Geophys. Res. Lett.* 34: L21501.
- Copland, L., White, A., Crawford, A., Mueller, D.R., Van Wychen, W., Thomson, L., and Vincent, W.F. 2018. Glaciers, Ice Shelves and Ice Islands. *In* From Science to Policy in the Eastern Canadian Arctic: An Integrated Regional Impact Study (IRIS) of Climate Change and Modernization. Edited by T. Bell and T. Brown. ArcticNet, Quebec City, QC. pp. 95–117.
- COSEPAC (Comité sur la situation des espèces en péril au Canada). 2006. [Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la Mouette blanche \(*Pagophila eburnea*\) au Canada – Mise à jour](#). Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. vii + 46 p.
- COSEPAC. 2008. [Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur l'ours blanc \(*Ursus maritimus*\) au Canada – Mise à jour](#). Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. vii + 84 p.
- Crawford, R.E., Vagle, S., and Carmack, E.C. 2012. Water mass and bathymetric characteristics of polar cod habitat along the continental shelf and slope of the Beaufort and Chukchi seas. *Polar Biol.* 35: 179–190.
- David, C., Lange, B., Krumpen, T., Schaafsma, F., van Franeker, J.A., and Flores, H. 2016. Under-ice distribution of polar cod *Boreogadus saida* in the central Arctic Ocean and their association with sea-ice habitat properties. *Polar Biol.* 39: 981–994.
- DFO. 2011. [Zonal Advisory Meeting of the National Marine Mammal Peer Review Committee \(NMMPRC\): Advice on a community allocations model for harvesting Baffin Bay Narwhal: May 6, 2011](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2011/025.
- Dowdeswell, J.A., and Jeffries, M.O. 2017. Arctic ice shelves: An introduction. *In* Arctic ice shelves and ice islands. Edited by L. Copland and D. Mueller. Springer Polar Sciences, Dordrecht, The Netherlands. pp. 3–21.
- Dumont, D., Gratton, Y., and Arbetter, T.E. 2009. Modeling the dynamics of the North Water polynya ice bridge. *J. Phys. Oceanogr.* 39: 1448–1461.
- eBird. 2017. eBird: [An online database of bird distribution and abundance](#) [web application]. eBird, The Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. (accessed 7 July 2020).
- England, J.H., Lakeman, T.R., Lemmen, D.S., Bednarski, J.M., Stewart, T.G., and Evans, D.J. 2008. A millennial-scale record of Arctic Ocean sea ice variability and the demise of the Ellesmere Island ice shelves. *Geophys. Res. Lett.* 35: L19502.
- Eriksen, E., Skjoldal, H.R., Gjørseter, H., and Primicerio, R. 2017. Spatial and temporal changes in the Barents Sea pelagic compartment during the recent warming. *Prog. Oceanogr.* 151: 206–226.
- Falk-Petersen, S., Mayzaud, P., Kattner, G., and Sargent, J.R. 2009. Lipids and life strategy of Arctic *Calanus*. *Mar. Biol. Res.* 5: 18–39.
- Fissel, D., Knight, D., and Birch, J. 1984a. An oceanographic survey of the Canadian Arctic Archipelago, March 1982. *Cont. Rep. Hydrog. Ocean Sci.* 15: 415 p.

- Fissel, D., Lemon, D. and Knight, D. 1984b. An oceanographic survey of the Canadian Arctic Archipelago, March 1983. Cont. Rep. Hydrog. Ocean Sci. 16: xvi + 355 p.
- Fossheim, M., Primicerio, R., Johannesen, E., Ingvaldsen, R.B., Aschan, M.M., and Dolgov, A.V. 2015. Recent warming leads to a rapid borealization of fish communities in the Arctic. Nat. Clim. Change 5: 673–677.
- Gavrilchuk, K., and Lesage, V. 2014. [Large-scale marine development projects \(mineral, oil and gas, infrastructure\) proposed for Canada's North](#). Fisheries and Oceans Canada, Maurice Lamontagne Institute, Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3069: viii + 84 p.
- Gerland, S., Aars, J., Bracegirdle, T., Carmack, E., Hop, H., Hovelsrud, G., Kovacs, K., Lydersen, C., Perovich, D., Richter-Menge, J., Rybråten, S., Strøm, H., and Turner, J. 2007. Ice in the sea. In Global Outlook for Ice & Snow. Edited by J. Eamer. UN Environment Program, Nairobi, KY. pp. 63–96.
- Gradinger, R., Bluhm, B., and Iken, K. 2010. Arctic sea-ice ridges—Safe heavens for sea-ice fauna during periods of extreme ice melt? Deep-Sea Res. Pt II 57: 86–95.
- Gradinger, R.R., and Bluhm, B.A. 2004. In-situ observations on the distribution and behavior of amphipods and Arctic cod (*Boreogadus saida*) under the sea ice of the High Arctic Canada Basin. Polar Biol. 27: 595–603.
- Greely, A.W. 1886. Natural history notes. Appendix VII. In Three years of Arctic service; an account of the Lady Franklin Bay Expedition of 1881-84 and the attainment of the farthest north. Vol. 2. Edited by A. W. Greely. Richard Bentley and Son, London, England. pp. 359–371.
- Gulliksen, B., and Lønne, O. 1991. Sea ice macrofauna in the Antarctic and the Arctic. J. Marine Syst. 2: 53–61.
- Hamilton, A.K. 2016. Ice-ocean interactions in Milne Fiord. Thesis (Ph. D.) University of British Columbia, Vancouver, BC. xv + 151 p.
- Hamilton, A.K., Laval, B.E., Mueller, D., Vincent, W.F., and Copland, L. 2017. Dynamic response of an Arctic epishelf lake to seasonal and long-term forcing: implications for ice shelf thickness. The Cryosphere 11: 2189–2211.
- Harwood, L.A., Smith, T.G., Auld, J., Melling, H., and Yurkowski, D.J. 2015. Seasonal movements and diving of ringed seals, *Pusa hispida*, in the Western Canadian Arctic, 1999-2001 and 2010-11. Arctic 68: 193–209.
- Hattersley-Smith, G., Keys, J., Serson, H., and Mielke, J.E. 1970. Density stratified lakes in northern Ellesmere Island. Nature 225: 55–56.
- Hibler III, W. 1989. Arctic ice-ocean dynamics. In The Arctic Seas-climatology, oceanography, geology, and biology. Edited by Y. Herman. Springer, New York, NY. pp. 47–91.
- Hop, H., Poltermann, M., Lønne, O.J., Falk-Petersen, S., Korsnes, R., and Budgell, W.P. 2000. Ice amphipod distribution relative to ice density and under-ice topography in the northern Barents Sea. Polar Biol. 23: 357–367.
- Hop, H., and Pavlova, O. 2008. Distribution and biomass transport of ice amphipods in drifting sea ice around Svalbard. Deep-Sea Res. Pt II 55: 2292–2307.
- Hop, H., Mundy, C.J., Gosselin, M., Rossnagel, A.L., and Barber, D.G. 2011. Zooplankton boom and ice amphipod bust below melting sea ice in the Amundsen Gulf, Arctic Canada. Polar Biol. 34: 1947–1958.

- Hop, H., Vihtakari, M., Bluhm, B.A., Assmy, P., Poulin, M., Gradinger, R., Peeken, I., Von Quillfeldt, C., Olsen, L.M., and Zhitina, L. 2020. Changes in sea-ice protist diversity with declining sea ice in the Arctic Ocean from the 1980s to 2010s. *Front. Mar. Sci.* 7: 243.
- Howell, S.E., Tivy, A., Yackel, J.J., Else, B.G., and Duguay, C.R. 2008. Changing sea ice melt parameters in the Canadian Arctic Archipelago: Implications for the future presence of multiyear ice. *J. Geophys. Res.-Oceans* 113: C09030.
- Howell, S.E., and Brady, M. 2019. The dynamic response of sea ice to warming in the Canadian Arctic Archipelago. *Geophys. Res. Lett.* 46: 13119–13125.
- Ingram, R.G., Bâcle, J., Barber, D.G., Gratton, Y., and Melling, H. 2002. An overview of physical processes in the North Water. *Deep-Sea Res. Pt II* 49: 4893–4906.
- Jakubas, D., Wojczulanis-Jakubas, K., Iliszko, L.M., Strøm, H., and Stempniewicz, L. 2017. Habitat foraging niche of a High Arctic zooplanktivorous seabird in a changing environment. *Sci. Rep.* 7: 1–14.
- Johnston, M. 2017. Seasonal changes in the properties of first-year, second-year and multi-year ice. *Cold Reg. Sci. Technol.* 141: 36–53.
- Jungblut, A.D., Mueller, D., and Vincent, W.F. 2017. Arctic ice shelf ecosystems. *In Arctic ice shelves and ice islands*. Edited by L. Copland and D. Mueller. Springer Polar Sciences, Dordrecht, The Netherlands. pp. 227–260.
- Kohlbach, D., Schaafsma, F.L., Graeve, M., Lebreton, B., Lange, B.A., David, C., Vortkamp, M., and Flores, H. 2017. Strong linkage of polar cod (*Boreogadus saida*) to sea ice algae-produced carbon: evidence from stomach content, fatty acid and stable isotope analyses. *Prog. Oceanogr.* 152: 62–74.
- Kohlbach, D., Ferguson, S.H., Brown, T.A., and Michel, C. 2019. Landfast sea ice-benthic coupling during spring and potential impacts of system changes on food web dynamics in Eclipse Sound, Canadian Arctic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 627: 33–48.
- Kohlbach, D., Duerksen, S., Lange, B., Charette, J., Reppchen, A., Tremblay, P., Campbell, K., Ferguson, S., and Michel, C. 2020. Fatty acids and stable isotope signatures of first-year and multi-year sea ice in the Canadian High Arctic. *Elementa Sci. Anthropocene. Dans la presse.*
- Kovacs, K.M., Lydersen, C., Overland, J.E., and Moore, S.E. 2011. Impacts of changing sea-ice conditions on Arctic marine mammals. *Mar. Biodivers.* 41: 181–194.
- Labbé, M., Girard, C., Vincent, W.F., and Culley, A.I. 2020. Extreme Viral Partitioning in a Marine-Derived High Arctic Lake. *mSphere* 5: e00334-00320.
- Laidre, K.L., Stirling, I., Lowery, L.F., Wiig, Ø, Heide-Jørgensen, M.P., and S.H. Ferguson, 2008. Quantifying the sensitivity of Arctic marine mammals to climate-induced habitat change. *Ecol. App.* 18(Suppl. 2): S97–S125.
- Lange, B.A., Michel, C., Beckers, J.F., Casey, J.A., Flores, H., Hatam, I., Meisterhans, G., Niemi, A., and Haas, C. 2015. Comparing springtime ice-algal chlorophyll *a* and physical properties of multi-year and first-year sea ice from the Lincoln Sea. *Plos One* 10: e0122418.
- Lange, B.A., Flores, H., Michel, C., Beckers, J.F., Bublitz, A., Casey, J.A., Castellani, G., Hatam, I., Reppchen, A., and Rudolph, S.A. 2017. Pan-Arctic sea ice-algal chl *a* biomass and suitable habitat are largely underestimated for multiyear ice. *Glob. Change Biol.* 23: 4581–4597.

- Lange, B.A., Haas, C., Charette, J., Katlein, C., Campbell, K., Duerksen, S., Coupel, P., Anhaus, P., Jutila, A., and Tremblay, P.O. 2019. Contrasting Ice Algae and Snow-Dependent Irradiance Relationships Between First-Year and Multiyear Sea Ice. *Geophys. Res. Lett.* 46: 10834–10843.
- LeBlanc, M., Geoffroy, M., Bouchard, C., Gauthier, S., Majewski, A., Reist, J.D., and Fortier, L. 2019. Pelagic production and the recruitment of juvenile polar cod *Boreogadus saida* in Canadian Arctic Seas. *Polar Biol.* 43: 1043–1054.
- Leu, E., Søreide, J., Hessen, D., Falk-Petersen, S., and Berge, J. 2011. Consequences of changing sea-ice cover for primary and secondary producers in the European Arctic shelf seas: timing, quantity, and quality. *Prog. Oceanogr.* 90: 18–32.
- Loewen, T.N., and Michel, C. 2018. [Proceedings of the Multidisciplinary Arctic Program \(MAP\) – Last Ice: Science Planning Workshop, January 16-17, 2018](#). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3159: vii + 53 p.
- Lowry, L.F., Sheffield, G., and George, J.C. 2004. Bowhead whale feeding in the Alaskan Beaufort Sea, based on stomach contents analyses. *J. Cetacean Res. Manag.* 6: 215–223.
- Ludlam, S.D. 1996. Stratification patterns in Taconite Inlet, Ellesmere Island, N.W.T. *J. Paleolimnol.* 16: 205–215.
- Maerospace Corp. 2019. Spatial Analysis of Vessel Traffic in the Canadian Arctic Tuvaijuittuq MPA. A report submitted to Canadian Space Agency by Maerospace Corp. Maerospace Corp, Waterloo, ON. 23 p.
- 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.A. 2020. Identifying key marine habitat sites for seabirds and sea ducks in the Canadian Arctic. *Environ. Rev.* 00: 1–26. doi: [10.1139/er-2018-0067](https://doi.org/10.1139/er-2018-0067).
- Marz, S. 2010. Arctic sea ice ecosystem: A summary of species that depend on and associate with sea ice and projected impacts from sea ice changes. A report prepared for Conservation of Arctic Flora and Fauna, Anchorage, AK. 64 p.
- Mecklenburg, C.W., Møller, P.R. and Steinke, D. 2011. Biodiversity of arctic marine fishes: taxonomy and zoogeography. *Mar. Biodivers.* 41: 109–140.
- Meier, W.N., Hovelsrud, G.K., Van Oort, B.E., Key, J.R., Kovacs, K.M., Michel, C., Haas, C., Granskog, M.A., Gerland, S., and Perovich, D.K. 2014. Arctic sea ice in transformation: A review of recent observed changes and impacts on biology and human activity. *Rev. Geophys.* 52: 185–217.
- Melling, H. 2002. Sea ice of the northern Canadian Arctic Archipelago. *J. Geophys. Res.-Oceans* 107: 3181.
- Melnikov, I.A., Kolosova, E.G., Welch, H.E., and Zhitina, L.S. 2002. Sea ice biological communities and nutrient dynamics in the Canada Basin of the Arctic Ocean. *Deep-Sea Res. Pt II* 49: 1623–1649.
- Michaud, J., Fortier, L., Rowe, P., and Ramseier, R. 1996. Feeding success and survivorship of Arctic cod larvae, *Boreogadus saida*, in the Northeast Water Polynya (Greenland Sea). *Fish. Oceanogr.* 5: 120–135.

- Michel, C., Legendre, L., Ingram, R., Gosselin, M., and Levasseur, M. 1996. Carbon budget of sea-ice algae in spring: Evidence of a significant transfer to zooplankton grazers. *J. Geophys. Res.-Oceans* 101: 18345–18360.
- Michel, C., Nielsen, T.G., Nozais, C., and Gosselin, M. 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.
- 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., Hamilton, J., Hansen, E., Barber, D., Reigstad, M., Iacozza, J., Seuthe, L., and Niemi, A. 2015. Arctic Ocean outflow shelves in the changing Arctic: A review and perspectives. *Prog. Oceanogr.* 139: 66–88.
- Michel, C., and Lange, B. 2018. [Multidisciplinary Arctic Program \(MAP\) – Last Ice: Science Plan, Spring 2018 Field Campaign](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3157: vii + 21 p.
- Michel, C., Charette, J., Duerksen, S., Lange, B., and Tremblay, P. 2019. [Multidisciplinary Arctic Program \(MAP\) - Last Ice: Science Plan, Spring 2019 Field Campaign](#). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3182: vii + 19 p.
- Moore, G., Schweiger, A., Zhang, J., and Steele, M. 2019. Spatiotemporal variability of sea ice in the arctic's last ice area. *Geophys. Res. Lett.* 46: 11237–11243.
- MPO. 2019. [Zone de protection marine \(ZPM\) de Tuvaijuittuq](#) [en ligne]. (accédé le 13 novembre 2019).
- MPO. 2020. [Avis scientifique sur les séquences des effets pour la navigation maritime au Canada : Effets biologiques et écologiques](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci.* 2020/030.
- Mueller, D., Copland, L., and Jeffries, M.O. 2017. Changes in Canadian Arctic ice shelf extent since 1906. *In Arctic ice shelves and ice islands*. Edited by L. Copland and D. Mueller. Springer Polar Sciences, Dordrecht, The Netherlands. pp. 109–148.
- Mueller, D.R., Vincent, W.F., and Jeffries, M.O. 2003. Break-up of the largest Arctic ice shelf and associated loss of an epishelf lake. *Geophys. Res. Lett.* 30(20): 2031.
- Mueller, D.R., Vincent, W.F., Bonilla, S., and Laurion, I. 2005. Extremotrophs, extremophiles and broadband pigmentation strategies in a high arctic ice shelf ecosystem. *FEMS Microbiol. Ecol.* 53: 73–87.
- Mueller, D.R., Vincent, W.F., and Jeffries, M.O. 2006. Environmental gradients, fragmented habitats, and microbiota of a northern ice shelf cryoecosystem, Ellesmere Island, Canada. *Arct. Antarct. Alp. Res.* 38: 593–607.
- Mueller, D.R., Copland, L., Hamilton, A., and Stern, D. 2008. Examining Arctic ice shelves prior to the 2008 breakup. *EOS Trans. Am. Geophys. Un.* 89(49): 502–503.
- Münchow, A. 2016. Volume and freshwater flux observations from Nares Strait to the west of Greenland at daily time scales from 2003 to 2009. *J. Phys. Oceanogr.* 46: 141–157.
- NEIGE. 2020. Dynamics of ice cover over a far northern fiord: Direct observations of Disraeli Fiord, Canadian High Arctic, by automated camera, v. 1.0 (2011-2019). Nordicana D77. doi: [10.5885/45654CE-270458B4B50F45AA](https://doi.org/10.5885/45654CE-270458B4B50F45AA).
- NSIDC. 2018. [Ice formation](#) [Online]. (accessed 27 February 2018).

- Nunavut. 2016. Nunavut Fisheries Strategy 2016-2020. Government of Nunavut, Iqaluit, NU. 50 p.
- O'Brien, A.M. 2019. Variability of Sea Ice Drift through Nares Strait, Nunavut, Canada. Thesis (M. Sc.) York University, Toronto, ON. 129 p.
- Oziel, L., Baudena, A., Ardyna, M., Massicotte, P., Randelhoff, A., Sallée, J.-B., Ingvaldsen, R., Devred, E., and Babin, M. 2020. Faster Atlantic currents drive poleward expansion of temperate phytoplankton in the Arctic Ocean. *Nat. Commun.* 11: 1–8.
- Parks Canada. 2009. Quttinirpaaq National Park of Canada: Management Plan. Parks Canada, Pangnirtung, NU. xiii + 75 p.
- Peary, R.E. 1910. *The North Pole*. Hodder and Stoughton, London, England. xii + 326 p.
- Perovich, D., Meier, W., Tschudi, M., Farrell, S., Hendricks, S., Gerland, S., Kaleschke, L., Ricker, R., Tian-Kunze, X., Webster, M., and Wood, K. 2019. Sea Ice. In [Arctic Report Card 2019](#). Edited by J. Richter-Menge, M.L. Druckenmiller, and M. Jeffries. National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D.C. pp. 26–34.
- Pomerleau, C., Winkler, G., Sastri, A.R., Nelson, R.J., Vagle, S., Lesage, V., and Ferguson, S.H. 2011. Spatial patterns in zooplankton communities across the eastern Canadian sub-Arctic and Arctic waters: insights from stable carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) isotope ratios. *J. Plankton Res.* 33: 1779–1792.
- Rasmussen, T.A., Kliem, N., and Kaas, E. 2011. The Effect of climate change on the sea ice and hydrography in Nares Strait. *Atmos. Ocean* 49: 245–258.
- Record, N.R., Ji, R., Maps, F., Varpe, Ø., Runge, J.A., Petrik, C.M., and Johns, D. 2018. Copepod diapause and the biogeography of the marine lipidscape. *J. Biogeogr.* 45: 2238–2251.
- Ryan, P.A., and Münchow, A. 2017. Sea ice draft observations in Nares Strait from 2003 to 2012. *J. Geophys. Res.-Oceans* 122: 3057–3080.
- Šeparović, L., Alexandru, A., Laprise, R., Martynov, A., Sushama, L., Winger, K., Tete, K., and Valin, M. 2013. Present climate and climate change over North America as simulated by the fifth-generation Canadian regional climate model. *Clim. Dynam.* 41: 3167–3201.
- Smith Jr., W.O., and Barber, D. 2007. *Polynyas: windows to the world*. Elsevier Science & Technology, Amsterdam, The Netherlands. 458 p.
- Søreide, J.E., Leu, E.V., Berge, J., Graeve, M., and Falk-Petersen, S. 2010. Timing of blooms, algal food quality and *Calanus glacialis* reproduction and growth in a changing Arctic. *Glob. Change Biol.* 16: 3154–3163.
- Spies, I., Gruenthal, K.M., Drinan, D.P., Hollowed, A.B., Stevenson, D.E., Tarpey, C.M., and Hauser, L. 2020. Genetic evidence of a northward range expansion in the eastern Bering Sea stock of Pacific cod. *Evol. Appl.* 13: 362–375.
- Stephenson, S.A., and Hartwig, L. 2010. [The Arctic Marine Workshop](#). *Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2934: vi + 67 p.
- Stirling, I., and Cleator, H. 1981. Polynyas in the Canadian Arctic. Canadian Wildlife Service Occasional Paper No. 45. Environment Canada, Ottawa, ON. 70 p.

- Thaler, M., Vincent, W.F., Lionard, M., Hamilton, A.K., and Lovejoy, C. 2017. Microbial community structure and interannual change in the last epishelf lake ecosystem in the North Polar Region. *Front. Mar. Sci.* 3: 275.
- Tilling, R. L., Ridout, A., and Shepherd, A. 2018. Estimating arctic sea ice thickness and volume using CryoSat-2 radar altimeter data. *Adv. Space Res.* 62(6): 1203–1225.
- Tsuji, M., Tanabe, Y., Vincent, W.F., and Uchida, M. 2018. *Gelidatrema psychrophila* sp. nov., a novel yeast species isolated from an ice island in the Canadian High Arctic. *Mycoscience* 59(1): 67–70.
- Underwood, G.J., Michel, C., Meisterhans, G., Niemi, A., Belzile, C., Witt, M., Dumbrell, A.J., and Koch, B.P. 2019. Organic matter from Arctic sea-ice loss alters bacterial community structure and function. *Nat. Clim. Change* 9: 170–176.
- UNESCO. 2014. [North-East Greenland](#) [Online]. (accessed 28 October 2020).
- Van Hove, P., Swadling, K.M., Gibson, J.A., Belzile, C., and Vincent, W.F. 2001. Farthest north lake and fjord populations of calanoid copepods *Limnocalanus macrurus* and *Drepanopus bungei* in the Canadian high Arctic. *Polar Biol.* 24: 303–307.
- Van Wijngaarden, W. 2015. Temperature trends in the Canadian arctic during 1895–2014. *Theor. Appl. Climatol.* 120: 609–615.
- Veillette, J., Mueller, D.R., Antoniadis, D., and Vincent, W.F. 2008. Arctic epishelf lakes as sentinel ecosystems: Past, present and future. *J. Geophys. Res.-Biogeo.* 113: G04014.
- Veillette, J., Muir, D.C., Antoniadis, D., Small, J.M., Spencer, C., Loewen, T.N., Babaluk, J.A., Reist, J.D., and Vincent, W.F. 2012. Perfluorinated chemicals in meromictic lakes on the northern coast of Ellesmere Island, High Arctic Canada. *Arctic* 65: 245–256.
- Vincent, W.F., Gibson, J., and Jeffries, M. 2001. Ice-shelf collapse, climate change, and habitat loss in the Canadian high Arctic. *Polar Rec.* 37: 133–142.
- Vincent, W.F., Mueller, D.R., and Bonilla, S. 2004. Ecosystems on ice: the microbial ecology of Markham Ice Shelf in the high Arctic. *Cryobiology* 48: 103–112.
- Vincent, W.F., Fortier, D., Lévesque, E., Boulanger-Lapointe, N., Tremblay, B., Sarrazin, D., Antoniadis, D., and Mueller, D.R. 2011. Extreme ecosystems and geosystems in the Canadian High Arctic: Ward Hunt Island and vicinity. *Ecoscience* 18: 236–261.
- Welch, H.E., Crawford, R.E., and Hop, H. 1993. Occurrence of Arctic cod (*Boreogadus saida*) schools and their vulnerability to predation in the Canadian High Arctic. *Arctic* 46: 331–339.
- White, A., Copland, L., Mueller, D., and Van Wychen, W. 2015. Assessment of historical changes (1959-2012) and the causes of recent break-ups of the Petersen Ice Shelf, Nunavut, Canada. *Ann. Glaciol.* 56: 65–76.
- White, A., and Copland, L. 2019. Loss of floating glacier tongues from the Yelverton Bay region, Ellesmere Island, Canada. *J. Glaciol.* 65: 376–394.
- WIRL. 2020. [Summer 2020 loss of Arctic ice shelves](#) [Online]. (accessed 26 August 2020).
- Yurkowski, D.J., Auger-Méthé, M., Mallory, M.L., Wong, S.N., Gilchrist, G., Derocher, A.E., Richardson, E., Lunn, N.J., Hussey, N.E., and Marcoux, M. 2019. Abundance and species diversity hotspots of tracked marine predators across the North American Arctic. *Divers. Distrib.* 25: 328–345.

Le présent rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques (CAS)

Région de l'Ontario et des Prairies

Pêches et Océans Canada

501, University Crescent

Winnipeg, (Manitoba) R3T 2N6

Téléphone : (204) 983-5232

Courriel : xcna-csa-cas@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-3815

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2020



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2020. Détermination de l'importance écologique, des lacunes dans les connaissances et des objectifs de conservation pour la zone de protection marine de Tuvaijuittuq. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2020/056.

Also available in English:

DFO. 2020. Identification of Ecological Significance, Knowledge Gaps and Conservation Objectives for the Tuvaijuittuq Marine Protected Area. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2020/056.