

# SYSTÈME CANADIEN DE SURVEILLANCE ET DE PRÉVISIONS DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DANS L'ARCTIQUE (CAMPS) :

proposition d'un système de connaissances coordonné pour comprendre et anticiper les changements dans les écosystèmes nordiques du Canada



**Donald S. McLennan<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> *Sciences et technologie, Savoir polaire Canada*

\* [donald.mclennan@polar.gc.ca](mailto:donald.mclennan@polar.gc.ca)

## Résumé

Il est maintenant bien documenté que le Nord canadien est en train de changer et que ces changements ont et continueront d'avoir des répercussions importantes sur les collectivités, sur les mandats des organismes gouvernementaux et sur la compréhension et l'atténuation des répercussions du développement industriel. En raison de problèmes systémiques liés à la prestation de la recherche, notre état actuel des connaissances est limité sur les plans spatial et temporel, et il est insuffisant pour fournir la profondeur et l'ampleur des connaissances nécessaires pour surveiller, comprendre et prévoir les changements, réduire le risque de surprise écologique et éclairer les décisions proactives de gestion adaptative. Le système canadien de surveillance et de prévisions des conditions météorologiques dans l'Arctique (Canadian Arctic Monitoring and Prediction System ou CAMPS) est une proposition visant à amorcer un dialogue national entre tous les intervenants du Nord en vue de l'élaboration d'un système stratégique de connaissances pour le Nord qui viserait à coordonner les initiatives scientifiques en cours afin d'optimiser les investissements actuels, de proposer de nouveaux investissements scientifiques stratégiques et de mobiliser le capital intellectuel du savoir autochtone (SA) présent dans les collectivités du Nord. Les éléments clés du CAMPS comprennent (1) des investissements stratégiques à long terme visant à maintenir l'infrastructure de recherche dans le Nord et à soutenir des expériences de surveillance fondées sur les

hypothèses coordonnées, multiéchelles et à long terme pour les écosystèmes terrestres et d'eau douce du Nord; (2) des investissements à long terme dans les collectivités du Nord en vue d'accroître la capacité locale et de faire appel à la SA afin que des partenariats entre le milieu scientifique et les collectivités puissent être établis et que les collectivités puissent servir de réseau d'observatoires pour les écosystèmes côtiers et marins du Nord; (3) la coordination de ces initiatives avec la surveillance continue par des organismes gouvernementaux, des universités, des organismes de revendications territoriales, des collectivités et l'industrie afin d'élaborer des évaluations régionales à nationales des changements écologiques dans les écosystèmes arctiques et subarctiques, et faire des prédictions sur les changements à court et à long terme. On propose une marche à suivre efficace qui consisterait à planifier et à élaborer une mise en œuvre régionale du CAMPS comme preuve de concept afin de démontrer la faisabilité et l'utilité de l'approche proposée.

## Introduction : Besoins de connaissances dans un Arctique en évolution

Il est bien connu que le climat se réchauffe beaucoup plus rapidement dans l'Arctique et la région subarctique que dans les latitudes méridionales (GIEC, 2014; Serreze et coll. 2009) — un réchauffement qui entraîne d'importants

*Citation suggérée :*

McLennan, D.S. 2018. « *Système canadien de surveillance et de prévisions des conditions météorologiques dans l'Arctique (CAMPS) : proposition d'un système de connaissances coordonné pour comprendre et anticiper les changements dans les écosystèmes nordiques du Canada* », *Savoir polaire : Aqhaliat* 2018, *Savoir polaire Canada*, p. 63–69. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.24

changements dans les interactions abiotiques et biotiques qui déterminent en grande partie l'abondance et la santé de nombreuses espèces nordiques (Settele et coll. 2014). Dans les systèmes côtiers et marins de l'Arctique, la diminution de la saison des glaces de mer et le réchauffement de l'eau de mer ont une incidence directe sur les biotes qui en dépendent (Eamer et coll. 2013; AMAP 2017), alors que l'augmentation du niveau de la mer et des taux d'érosion côtière (Forbes 2011; Gunther et coll. 2015; Lantuit et coll. 2015) ont des répercussions sur les terres humides côtières vulnérables qui fournissent des habitats de halte migratoire et de nidification essentiels à de nombreuses espèces d'oiseaux de rivage et de sauvagines migratrices (Provencher et coll. 2018; Jorgensen et coll. 2018). La dégradation du pergélisol sur les rives de lacs et de cours d'eau exposés et l'approfondissement des couches actives du sol ont des répercussions sur les biotes dans les systèmes d'eau douce (Balzer et coll. 2014; Sniderhan et Balzer 2016) et changent la qualité et la quantité des rejets des rivières dans les écosystèmes marins côtiers. Il s'agit d'un facteur déterminant des processus physiques qui ont une incidence directe et indirecte sur les espèces marines côtières (Frey et coll. 2009; Carmack et coll. 2016; Alkire et coll. 2017). Dans les écosystèmes terrestres, le réchauffement de la température de l'air et du sol, la dégradation du pergélisol et la réduction de la saison de la neige entraînent du remplissage et des changements dans la dominance relative des arbustes, dont les effets sur l'habitat sont inconnus (Myers-Smith et coll. 2011; Tape et coll. 2006, 2012). Dans certaines régions, les cycles historiques des lemmings sont réduits ou ont chuté, ce qui peut avoir des effets en cascade sur les nombreuses espèces qui s'en nourrissent (Schmidt et coll. 2014). Les populations de caribous du Nord sont quant à elles à des creux historiques (Gunn et coll. 2010; Parlee et coll. 2018; CARMA 2018) et un dépérissement des bœufs musqués attribuables à des maladies se produit dans l'ouest de l'Arctique, des tendances qui, pour l'instant, sont largement inexplicables (Kutz et coll. 2015). D'autres facteurs, comme l'acidification des océans (Steinacher et coll. 2009; Yamamoto-Kawai 2009), l'augmentation des contaminants (Schuster et coll. 2018), l'invasion par des espèces du sud (Lawler et coll. 2009), et l'accroissement du tourisme, de l'activité militaire et du développement industriel peuvent tous avoir des répercussions importantes sur les biotes du Nord.

Ce qui est clair en ce moment, c'est que les changements environnementaux se poursuivent, s'accroissent et se produisent dans tous les écosystèmes du Nord canadien à des vitesses différentes et ont des effets différents, selon

le contexte régional. Ensemble, ces changements continus interagissent de façon complexe à l'échelle spatiale et temporelle et créent une grande incertitude pour le gouvernement et les organismes régionaux qui sont chargés de mandats de conservation de la biodiversité, pour les collectivités qui dépendent de la récolte d'espèces sauvages (c.-à-d. des aliments traditionnels prélevés dans la nature) et des écosystèmes sains, ainsi que pour les promoteurs et les exploitants industriels chargés de réduire au minimum et d'atténuer les répercussions potentielles des projets de développement en cours et proposés.

## La nécessité d'une approche à l'échelle nationale

En raison de la grande variabilité de la portée géographique des écosystèmes nordiques du Canada et de la complexité globale des changements prévus et de leurs interactions, il est proposé ici qu'une approche stratégique à l'échelle nationale soit nécessaire pour acquérir une compréhension approfondie de la façon et de la raison de ces changements, afin de prévoir les changements et de contribuer à l'élaboration de stratégies d'adaptation proactives pour le Nord. À l'heure actuelle, dans le nord du Canada, la surveillance et la recherche qui pourraient contribuer efficacement à notre compréhension de ces multiples changements sont en grande partie fragmentées et non coordonnées. Par exemple, de nombreux ministères mènent d'excellents programmes de recherche et de surveillance mis en œuvre pour remplir leurs mandats spécifiques, mais ces programmes sont mal liés au travail connexe des organismes universitaires, de l'industrie ou des collectivités. Le Canada a la chance d'avoir une culture de scientifiques nordiques actifs de calibre mondial et, bien que certains chercheurs universitaires aient réussi à maintenir des sites de recherche qui soutiennent des programmes de surveillance et de recherche à long terme, ils sont par nécessité limités sur le plan temporel en raison des ententes de financement à court terme et sur le plan spatial en raison de la portée géographique limitée de leurs domaines de recherche. Les collectivités de l'Arctique possèdent une mine de connaissances autochtones et, bien qu'une partie de la surveillance communautaire se fasse dans l'Arctique et dans la région subarctique, les programmes manquent généralement de durabilité à long terme et de liens régionaux et, dans de nombreux cas, les connaissances autochtones ne sont pas mobilisées efficacement.

Ces problèmes systémiques dans notre structure de recherche et de surveillance dans le Nord font en sorte

que nous ne sommes pas en mesure de comprendre ou de prévoir des changements importants à une échelle pertinente quant à l'impact potentiel de ces changements. Par exemple, les changements dans les écosystèmes terrestres, comme la dominance relative des arbustes, l'apport de carbone du sol dans l'atmosphère, l'arrivée de nouvelles espèces et la durée de la saison de croissance, sont bien documentés à l'échelle locale. Mais une question essentielle demeure. Comment ces changements locaux se répercutent-ils à l'échelle régionale et nationale pour ce qui est de la contribution globale du carbone à l'atmosphère, des changements dans les rétroactions du climat sur les terres, des progrès des espèces migratrices vers le nord et des changements dans l'habitat d'espèces aussi variées que le caribou? Pour répondre à cette question à multiples facettes ainsi qu'à d'autres questions, il faut adopter une approche de surveillance expérimentale à long terme et à plusieurs échelles qui coordonne la science dans le Nord et les ressources en matière de connaissances autochtones. Cette approche permettrait de mettre en œuvre ces expériences de surveillance à long terme dans un réseau d'observation soutenu, qui tiendraient compte de la variabilité écologique du Nord dans les écosystèmes terrestres, dulcicoles et marins côtiers. Elle se fonderait également sur les programmes actuels et les relierait en plus d'attirer de nouveaux investissements, ce qui appuierait une approche nationale stratégique en matière de surveillance et de recherche dans le Nord canadien. En plus du financement requis, un défi clé consistera à coordonner le large éventail d'acteurs qui peuvent contribuer à un tel réseau, y compris les gouvernements fédéral et territoriaux, les institutions chargées des revendications territoriales, les collectivités, les organisations autochtones, l'industrie, les universitaires et les ONG.

## Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique : Une proposition pour un système de savoir nordique

Le Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique est une proposition visant à mesurer, à comprendre et à prévoir l'évolution de la biodiversité, les facteurs abiotiques associés et les processus écologiques de façon coordonnée, à diverses échelles dans l'Arctique et les écosystèmes terrestres, dulcicoles et marins côtiers du nord du Canada. Il peut en outre permettre de lancer un dialogue national entre tous les acteurs du Nord, ce qui peut mener à l'élaboration d'un système stratégique de connaissances

du Nord qui coordonnera les initiatives scientifiques et communautaires en cours. Cette coordination optimisera les investissements actuels, proposera de nouveaux investissements stratégiques dans les sciences au besoin et mobilisera plus efficacement le capital intellectuel et les connaissances autochtones dans les collectivités du Nord. Parmi les éléments clés du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique, on compte (1) des investissements à long terme afin de soutenir l'infrastructure de recherches nordiques en utilisant et soutenant les sites de recherche actuels afin de créer un réseau d'observation du Nord relié et de maintenir la tenue d'expériences de supervision coordonnées à long terme; (2) des expériences à long terme dans le réseau d'observation, qui seraient conçues pour quantifier les relations parmi les facteurs abiotiques, les processus écosystémiques et les résultats biotiques visés (p. ex., les spécimens d'intérêt, les changements d'habitats, les changements dans les rétroactions du climat sur les terres et les cours d'eau), de sorte que des modèles à l'échelle locale axés sur le processus puissent être élaborés et extrapolés à l'échelle régionale et nationale au moyen d'outils de télédétection; (3) des investissements à long terme au sein des collectivités nordiques afin de renforcer les capacités locales et de faire appel aux connaissances autochtones, établissant ainsi des partenariats science-collectivité qui permettraient de créer un réseau d'observation communautaire dans le Nord, et (4) la coordination de ces initiatives, appuyée par la supervision continue des organismes gouvernementaux, des universités, des responsables des revendications territoriales, des collectivités, et de l'industrie, en vue d'élaborer des évaluations régionales et nationales des changements écologiques et de l'état des écosystèmes arctiques et subarctiques, et de faire des prédictions des changements à court et long terme.

Le Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique, tel que proposé, comporte trois volets (fig. 1). L'assise du système est le réseau d'observation du Nord, dont un site de surveillance phare à La Station canadienne de recherche dans l'Extrême-Arctique (SCREA) qui fera office de plaque tournante. Le réseau d'observation serait mis en œuvre à partir de sites de recherches nordiques déjà établis (p. ex., des stations de recherche organisées par le Centre d'études nordiques, le Canadian Network of Northern Research Operators et le Changing Cold Regions Network) et permettrait de superviser les systèmes terrestres et dulcicoles et serait testé dans des collectivités côtières sélectionnées au moyen d'embarcations côtières (p. ex., petites embarcations des collectivités,

petits bateaux de l'Arctic Research Foundation) et de bateaux plus gros (p. ex., brise-glaces de la Garde côtière canadienne) afin de superviser les écosystèmes côtiers marins. En fonction des commentaires et de l'orientation des équipes scientifiques pertinentes et des spécialistes des connaissances autochtones, chaque site mettrait en œuvre et maintiendrait des expériences de surveillance coordonnées et à long terme qui permettraient d'établir un lien entre les facteurs abiotiques et les processus écologiques et les résultats en matière de biodiversité dans les écosystèmes terrestres, dulcicoles et marins côtiers. Afin d'élaborer un consensus sur la conception et l'analyse des expériences à long terme, on propose de réunir les spécialistes du domaine et du secteur en vue de mettre en œuvre des approches qui reflètent les plus récentes pratiques exemplaires dans leur domaine (p. ex., pour la supervision terrestre, les disciplines comprendraient les études des sols comme la microbiologie, la physique des sols, les cycles de pergélisol et de nutriments, les changements de la végétation selon une vaste gamme d'échelles ainsi que les changements de la faune chez les petits mammifères, les oiseaux de rivage et les oiseaux chanteurs et les arthropodes.

Le volet intermédiaire du système permettrait d'accéder aux données de surveillance et de les intégrer. Ces données seraient tirées de la vaste gamme de programmes de surveillance fondés sur le mandat mené par divers organismes gouvernementaux fédéraux et territoriaux du Nord, par des conseils de cogestion des revendications territoriales, l'industrie, des organismes universitaires et des programmes de surveillance communautaire. Grâce à la coordination, les résultats de ces programmes pourraient être utilisés pour étalonner et valider des modèles de télédétection à l'échelle régionale qui proviennent d'expériences de surveillance à long terme menées par le réseau d'observation.

Le troisième et dernier volet du Système canadien de surveillance et de prévisions des conditions météorologiques dans l'Arctique utilisera des données d'observation et des modèles régionaux et nationaux tirés du réseau d'observation, des données sur des espèces précises ou ciblées provenant des ministères et des universités, ainsi que d'autres données du volet intermédiaire tirées de programmes de surveillance fondés sur le mandat afin d'élaborer des modèles de télédétection qui permettraient

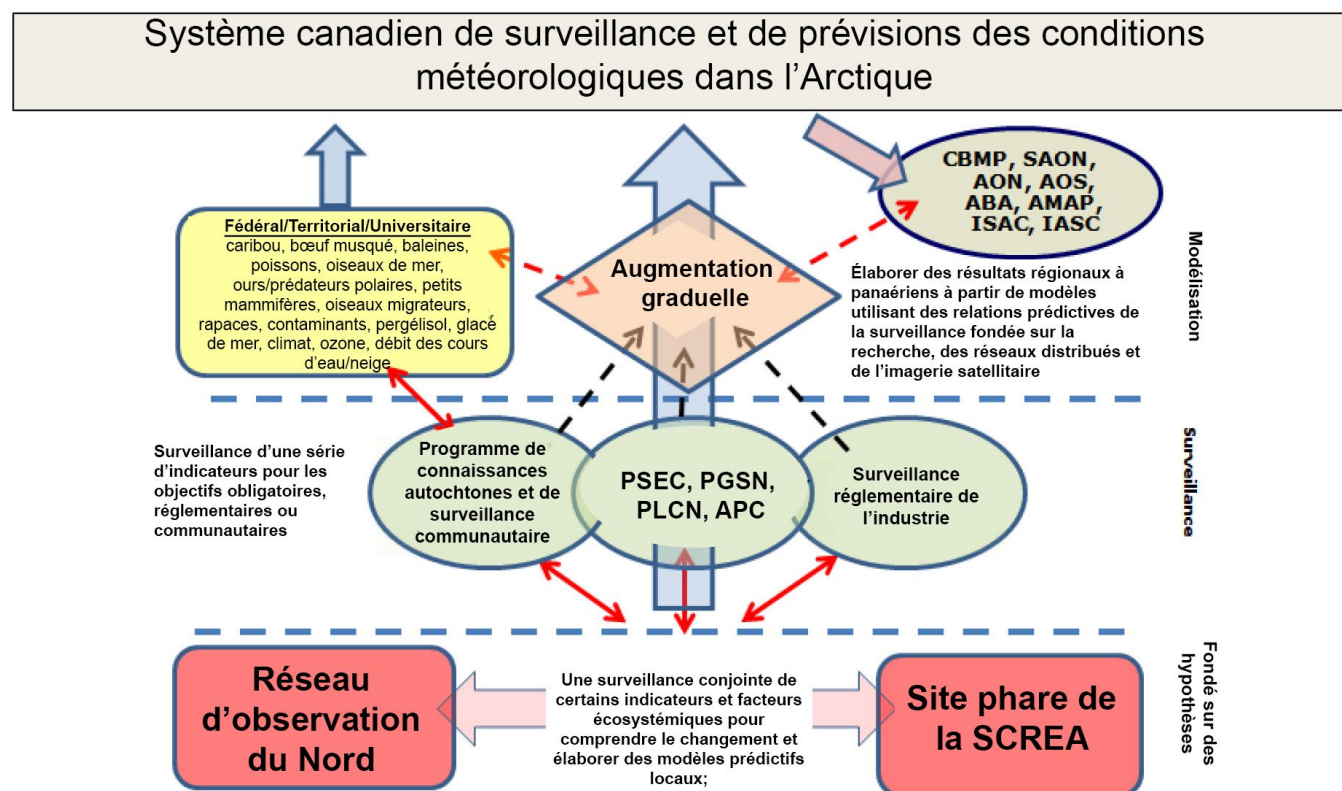


Figure 1 : Schéma du projet de Réseau canadien de surveillance et de prévision de l'Arctique — voir le texte pour discussion. CA = connaissances autochtones; PSEC = Programme de surveillance des effets cumulatifs; PGSN = Programme général de mentorat du Nunavut; PLCN = Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord; APC = Agence Parcs Canada; CBMP = Programme de surveillance de la biodiversité circumpolaire; SAON = Réseau d'observation durable de l'Arctique; AON = Réseau d'observation de l'Arctique; AOS = Sommet d'observation de l'Arctique; ABA = Arctic Biodiversity Assessment; ISAC = International Study of Arctic Change; IASC = Comité scientifique international.

d'extrapoler les résultats à l'échelle régionale et nationale dans le but de faire des prédictions des changements en utilisant les mesures de surveillance appropriées (p. ex., les changements dans la composition, la structure et la productivité végétale entraînées par les changements des sols et des facteurs des sites causés par les changements climatiques; les changements des systèmes d'eau douce qui entraînent la dégradation accélérée du pergélisol et les changements du cycle de neige; et les changements dans le biote mer-glace entraînés par les changements des mers et des glaces et le réchauffement des eaux).

## Préoccupations pour la collectivité

Le succès du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique dépendra en grande partie de la participation et du dévouement des membres des collectivités du Nord, des organismes directeurs communautaires et régionaux et des organisations autochtones associées. L'un des aspects importants du Système consiste à mettre à profit et à soutenir les connaissances et l'expérience autochtones inhérentes aux collectivités du Nord — les connaissances et l'expérience acquises au fil des siècles d'observation et d'accès aux ressources naturelles. L'approche proposée établit des partenariats scientifiques communautaires et crée un réseau de collectivités du Nord pour travailler en tant que partenaires égaux avec les chercheurs à la conception, à la mise en œuvre et à la diffusion de la recherche tout en ayant accès à l'information recueillie sur les collectivités et en contrôlant la façon dont l'information est utilisée et diffusée (ITK, 2016). Des investissements dans la formation communautaire, l'emploi et l'infrastructure, ainsi qu'une contribution significative à la conception de la surveillance à long terme à mettre en œuvre, contribueraient à l'autodétermination et à des économies durables dans les collectivités participantes. La recherche et la surveillance communautaires sont essentielles à la réussite du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique et comprennent deux activités clés : (1) les activités lancées et mises en œuvre par les collectivités pour répondre aux besoins clés de la collectivité (appuyées par la science au besoin) et (2) les activités qui font partie d'activités scientifiques coordonnées à l'échelle régionale, où les membres de la collectivité seraient employés et recevraient de la formation, du soutien scientifique et de l'équipement pour effectuer la surveillance. Il est primordial que l'information recueillie au moyen d'approches de surveillance communautaire le soit selon des protocoles et des conceptions normalisés afin d'établir un lien efficace

avec les activités régionales du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique.

## Discussion

L'élément clé de cette proposition est l'engagement et la coordination d'un éventail d'acteurs du Nord à une échelle qui n'a pas été atteinte jusqu'à maintenant, et il est important de ne pas sous-estimer le défi que représente une telle participation. Par ailleurs, la coordination entre les mandats, les organismes et les organisations est considérée comme un objectif louable par tous les acteurs depuis de nombreuses années. Les partenariats fructueux seront couronnés de succès s'ils profitent à toutes les parties en ce qui concerne l'investissement que chacune fait dans le système de connaissances proposé pour le Nord. Le Nord canadien est vaste, et son accès est médiocre et il y a de grandes lacunes en matière de connaissances, et tous les acteurs du Nord sont limités en matière de financement et d'expertise nécessaires pour comprendre les changements écologiques complexes, interactifs et accélérés qui se produisent. Bien qu'ambitieuse, une telle coalition est absolument essentielle pour atteindre les objectifs du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique.

En plus d'un engagement communautaire significatif, une autre clé du succès de cette proposition est de travailler à l'obtention d'un financement à long terme pour le réseau de sites de recherche qui mettrait en œuvre les expériences coordonnées. Ce financement contribuerait grandement à « garder les lumières allumées » sur les sites de recherche et à offrir une formation et un soutien à l'emploi au personnel technique du Nord qui assurerait la surveillance des expériences à long terme. Un tel investissement aurait l'avantage secondaire d'aider à sécuriser ces sites pour la recherche scientifique de toutes sortes, dont les résultats sont cruciaux pour soutenir le développement et l'évolution des expériences de surveillance coordonnées à long terme.

On s'attend à ce que la mise en œuvre du Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique se fasse à l'échelle régionale afin de tirer parti des partenariats régionaux et des activités régionales en place, mais une approche normalisée des expériences à long terme et l'élargissement des modèles permettraient de dresser des résumés nationaux des activités régionales. S'il était mis en œuvre, le Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique fournirait des renseignements utiles et opportuns à diverses échelles sur les changements

en cours et prévus dans les écosystèmes du Nord, ce qui appuierait des approches d'adaptation proactives pour les collectivités, les industries et les gouvernements du Nord. Les investissements dans le Système canadien de surveillance et de prévision pour l'Arctique appuieraient également la recherche universitaire au sein d'un réseau stratégique de sites de recherche dans le Nord, renforceraient les capacités des collectivités du Nord, appuieraient la résilience et l'autodétermination dans ces collectivités et optimiseraient les investissements actuels en matière de science dans le Nord.

## Références

Alkire, M. B., Jacobson, A. D., Lehn, G. O., Macdonald, R. W., and Rossi, M.W. 2017. On the geochemical heterogeneity of rivers draining into the straits and channels of the Canadian Arctic Archipelago. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 122 (10):2527–2547. Available from <http://doi.org/10.1002/2016JG003723>.

Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2017. Snow, water, ice, and permafrost in the Arctic (SWIPA). Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway. Xiv + 269 pp.

Baltzer, J. L., Veness, T., Chasmer, L. E., Sniderhan, A. E., and Quinton, W. L. 2014. Forests on thawing permafrost: Fragmentation, edge effects, and net forest loss. *Global Change Biology* 20:824–834. doi:10.1111/gcb.12349.

Carmack, E. C., Yamamoto-Kawai, M., Haine, T. W. N., Bacon, S., Bluhm, B. A., Lique, C., and Williams, W. J. 2016. Freshwater and its role in the Arctic marine system: Sources, disposition, storage, export, and physical and biogeochemical consequences in the Arctic and global oceans. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 121 (3):675–717. Available from <http://doi.org/10.1002/2015JG003140>.

CircumArctic Rangifer Monitoring and Assessment Network (CARMA). Available from <https://carma.caff.is/herds> [accessed March 2018].

Eamer, J., Donaldson, G.M., Gaston, A.J., Kosobokova, K.N., Lárusson, K.F., Melnikov, I.A., Reist, J.D., Richardson, E., Staples, L., and von Quillfeldt, C.H. 2013. Life linked to ice: A guide to sea-ice-associated biodiversity in this time of rapid change. CAFF Assessment Series No. 10. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. ISBN: 978-9935-431-25-7.

Forbes, D.L. (ed.). 2011. State of the Arctic coast 2010: Scientific review and outlook. International Arctic Science Committee, Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, Arctic Monitoring and Assessment Programme, International Permafrost Association. Helmholtz-Zentrum, Geesthacht, Germany. 178 pp. Available from <http://arcticcoasts.org>.

Frey, K. E. and McClelland, J.W. 2009. Impacts of permafrost degradation on Arctic river biogeochemistry. *Hydrological Processes* 23 (1):169–182. Available from <http://doi.org/10.1002/hyp.7196>.

Gunn, A., Russell, D., and Eamer, J. 2010. Northern caribou population trends in Canada: Canadian biodiversity; Ecosystem status and trends. Technical Thematic Report No. 10, Canadian Councils of Resource Ministers of the Environment.

Günther, F., Overduin, P.P., Yakshina, I.A., Opel, T., Baranskaya, A.V., and Grigoriev, M.N. 2015. Observing Muostakh disappear: Permafrost thaw subsidence and erosion of a ground-ice-rich island in response to Arctic summer warming and sea-ice reduction. *The Cryosphere* 9:151–178.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core writing team, Pachauri, R.K. and Meyer, L.A. (eds.), IPCC, Geneva, Switzerland. 151 pp.

Inuit Tapiriit Kanatami (ITK). 2016–2019. Strategy and action plan. Available from [https://www.itk.ca/wp-content/uploads/2016/04/ITK\\_2016-2019-Strategy-Plan\\_E.pdf](https://www.itk.ca/wp-content/uploads/2016/04/ITK_2016-2019-Strategy-Plan_E.pdf).

Jorgensen, M.T., Frost, G.V., and Dissing, D. 2018. Drivers of landscape changes in coastal ecosystems of the Yukon-Kuskokwim Delta, Alaska. *Remote Sensing*, 10, pp 1-27. doi:10.3390/rs 10081280.

Kutz, S., Bollinger, T., Branigan, M. et al. 2015. *Erysipelothrix rhusiopathiae* associated with recent widespread muskox mortalities in the Canadian Arctic. *The Canadian Veterinary Journal* 56 (6):560–563.

Lantuit, H., Overduin, P., Couture, N., Wetterich, S., Aré, F., Atkinson, D., Brown, J., Cherkashov, G., Drozdov, D., Forbes, D., Graves-Gaylord, A., Grigoriev, M., Hubberten, H.W., Jordan, J., Jorgensen, T., Ødegård, R., Ogorodov, S., Pollard, W., Rachold, V., Sedenko, S., Solomon, S., Steenhuisen, F., Lantz, T.C., and Kokelj, S.V. 2008. Increasing rates of retrogressive thaw slump activity in the Mackenzie Delta region, Canada. *Geophysical Research Letters* 35, L06502. doi:10.1029/2007GL032433.

Lawler, J.L., Shafer, S.L., White, D., Kareiva, P., Maurer, E.P., Blaustein, A.R., and Bartlein, P.J. 2009. Projected climate-induced faunal change in the western hemisphere. *Ecology* 90 (3):588–597.

McLennan, D.S., Mackenzie, W.H., Meidinger, D.V., Wagner, J., and Arko, C. 2018. A standardized ecosystem classification for the coordination and design of long-term terrestrial ecosystem monitoring in Arctic-Subarctic biomes. *Arctic* 71(Suppl. 1):1–15.

McLennan, D.S. and Wagner, J. In prep. The Canadian High Arctic Research Station monitoring plan: Pilot phase for terrestrial ecosystems. CAFF Report, CAFF International Secretariat, Akureyri, Iceland.

Myers-Smith, I.H., Forbes, B.C., Wilmking, M., Hallinger, M., Lantz, T., Blok, D., Tape, K.D., Macias-Fauria, M., Sass-Klaassen, U., Levesque, E., Boudreau, S., Ropars, P., Hermanutz, L., Trant, A., Siegwart Collier, L., Weijers, S., Rozema, J., Rayback, S.A., Schmidt, N.M., Schaeppman-Strub, G., Wip, S., Rixen, C., Menard, C.B., Venn, S., Goetz, S., Andreu-Hayles, L., Elmendorf, S., Ravolainen, V., Welker, J., Grogan, P., Epstein, H.E., and Hik, D.S. 2011. Shrub expansion in tundra ecosystems: Dynamics, impacts, and research priorities. *Environmental Research Letters* 6 (2011) 045509 (15pp). doi:10.1088/1748-9326/6/4/045509.

Parlee, B.L., Sandlos, J., and Natcher, D.C. 2018. Undermining subsistence: Barren-ground caribou in a “tragedy of open access.” *Science Advances* 4:e1701611.

Provencher, J. V., Johnston, E., Syroechkovskiy, N., Crockford, N., Lanctot, R.B., Millington, S., Clay, R., Donaldson, G., Ekker, M., Gilchrist, G., Black, A., Crawford, R., Price, C., and Barry, T. 2018. Arctic migratory birds initiative (AMBI): Revised workplan 2015–2019. CAFF Strategies Series No. 6. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. ISBN: 978-9935-431-72-1.

Schmidt, N.M., Ims, R.A., Høye, T.T., Gilg, O., Hansen, L.H., Hansen, J., Lund, M., Fuglei, E., Forchhammer, M.C., and Sittler, B. 2012. Response of an Arctic predator guild to collapsing lemming cycles. *Proceedings of the Royal Society B* 279:4417–4422. doi:10.1098/rspb.2012.1490.

Schuster, P. F., Schaefer, K.M., Aiken, G.R., Antweiler, R.C., Dewild, J.F., Gryziec, J.D., and Zhang, T. 2018. Permafrost stores a globally significant amount of mercury. *Geophysical Research Letters* 45. Available from <https://doi.org/10.1002/2017GL075571>.

Serreze, M.C., Barrett, A.P., Stroeve, J.C., Kindig, D.N., and Holland, M.M. 2009. The emergence of surface-based Arctic amplification. *The Cryosphere* 3:11–19.

Settele, J. et al. 2014. Terrestrial and inland water systems. In Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability: Part A - Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., and White, L.L. (eds.), Cambridge University Press. pp. 271–359.

Sniderhan, A. E. and Baltzer, J.L. 2016. Growth dynamics of black spruce (*Picea mariana*) in a rapidly thawing discontinuous permafrost peatland. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 121:2988–3000. doi:10.1002/2016JG003528.

Steinacher, M., Joos, F., Frolicher, T.L., Plattner, G.K., and Doney, S.C. 2009. Imminent ocean acidification in the Arctic projected with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model. *Biogeosciences* 6:515–533.

Streletskaya, I. and Vasiliev, A. 2015. The Arctic coastal dynamics database: A new classification scheme and statistics on Arctic permafrost coastlines. *Estuaries and Coasts* 35:383–400. doi:10.1007/s12237-010-9362-6, 2011a.

Tape, K., Sturm, M., and Racine, C. 2006. The evidence for shrub expansion in northern Alaska and the Pan-Arctic. *Global Change Biology* 12:686–702.

Tape, K.D., Hallinger, M., Welker, J.M., and Ruess, R.W. 2012. Landscape heterogeneity of shrub expansion in Arctic Alaska. *Ecosystems* 15:711–724. doi: 10.1007/s10021-012-9540-4.

Yamamoto-Kawai, M., McLaughlin, F.A., Carmack, E.C., Nishino, S., and Shimada, K. 2009. Aragonite undersaturation in the Arctic Ocean: Effects of ocean acidification and sea ice melt. *Science* 326 (5956):1098–1100.