



IRSEM

INSTITUT DE RECHERCHE STRATÉGIQUE
DE L'ÉCOLE MILITAIRE

Juin 2020

RÉALITÉS OPÉRATIONNELLES DE L'ENVIRONNEMENT ARCTIQUE

APPROCHES TRANSDISCIPLINAIRES
ET TRANSECTORIELLES DES IMPACTS
DU CHANGEMENT CLIMATIQUE
DANS LES SOUS-RÉGIONS ARCTIQUES

Dr Magali Vullierme (dir.)

ÉTUDE – n° 74



**MINISTÈRE
DES ARMÉES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



RÉALITÉS OPÉRATIONNELLES DE L'ENVIRONNEMENT ARCTIQUE

APPROCHES TRANSDISCIPLINAIRES
ET TRANSECTORIELLES DES IMPACTS
DU CHANGEMENT CLIMATIQUE
DANS LES SOUS-RÉGIONS ARCTIQUES

Dr Magali Vullierme (dir.)

Pour citer cette étude

Magali Vullierme (dir.), *Réalités opérationnelles de l'environnement arctique – Approches transdisciplinaires et transsectorielles des impacts du changement climatique dans les sous-régions arctiques*, Étude n° 74, IRSEM, juin 2020.

Dépôt légal

ISSN : 2268-3194

ISBN : 978-2-11-152712-6

DERNIÈRES ÉTUDES DE L'IRSEM

73. *La Diplomatie des garde-côtes en Asie du Sud-Est*
Benoît de TRÉGLODÉ et Éric FRÉCON (dir.)
72. *La Criticité des matières premières stratégiques pour l'industrie de défense*
Raphaël DANINO-PERRAUD
71. *Le Sri Lanka, l'Inde et le Pakistan face à la Belt and Road Initiative chinoise*
Raphaëlle KHAN
70. *Risques géopolitiques, crises et ressources naturelles. Approches transversales et apport des sciences humaines*
Sarah ADJEL, Angélique PALLE et Noémie REBIÈRE (dir.)
69. *Contemporary Society-centric Warfare: Insights from the Israeli experience*
Jonathan (Yoni) Shimshoni and Ariel (Eli) Levite
68. *Les États-Unis divisés : la démocratie américaine à l'épreuve de la présidence Trump*
Frédéric GAGNON, Frédéric HEURTEBIZE et Maud QUESSARD (dir.)
67. *Le Financement chinois dans le secteur des transports en Afrique : un risque maîtrisé*
Juliette GENEVAZ et Denis TULL
66. *L'Expérience militaire dans les médias (2008-2018). Une diversification des formes de récits*
Bénédicte CHÉRON
65. *MCO 4.0. Le potentiel des technologies de l'industrie 4.0 appliquées au maintien en condition opérationnelle (MCO) des équipements de défense*
Josselin DROFF, ICA Benoît RADEMACHER

ÉQUIPE

Directeur

Jean-Baptiste JEANGÈNE VILMER

Directeur scientifique

Jean-Vincent HOLEINDRE

Secrétaire général

CRG1 (2S) Étienne VUILLERMET

Chef du soutien à la recherche

Caroline VERSTAPPEN

Éditrice

Chantal DUKERS

Retrouvez l'IRSEM sur les réseaux sociaux :

@ <https://www.irsem.fr>



@IRSEM1



PRÉSENTATION DE L'IRSEM

Créé en 2009, l'Institut de recherche stratégique de l'École militaire (IRSEM) est un organisme extérieur de la Direction générale des relations internationales et de la stratégie (DGRIS) du ministère des Armées. Composé d'une quarantaine de personnes, civiles et militaires, sa mission principale est de renforcer la recherche française sur les questions de défense et de sécurité.

L'équipe de recherche est répartie en cinq domaines :

- Espace euratlantique - Russie - Moyen-Orient.

- Afrique - Asie.

- Armement et économie de défense, qui s'intéresse aux questions économiques liées à la défense et aux questions stratégiques résultant des développements technologiques.

- Défense et société, qui examine le lien armées-nation, l'attitude de l'opinion publique vis-à-vis des questions de défense, et la sociologie de la violence, de la guerre et des forces armées.

- Pensée stratégique, qui étudie la conduite des conflits armés à tous les niveaux (stratégique, opératif, tactique).

En plus de conduire de la recherche interne (au profit du ministère) et externe (à destination de la communauté scientifique), l'IRSEM favorise l'émergence d'une nouvelle génération de chercheurs (la « relève stratégique ») en encadrant des doctorants dans un séminaire mensuel et en octroyant des allocations doctorales et postdoctorales. Les chercheurs de l'Institut contribuent aussi à l'enseignement militaire supérieur et, au travers de leurs publications, leur participation à des colloques et leur présence dans les médias, au débat public sur les questions de défense et de sécurité.

AVERTISSEMENT : l'IRSEM a vocation à contribuer au débat public sur les questions de défense et de sécurité. Ses publications n'engagent que leurs auteurs et ne constituent en aucune manière une position officielle du ministère des Armées.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	9
INTRODUCTION	11
Plan.....	15
ENVIRONNEMENTS POLAIRES ET DÉFIS D'EXPLOITATIONS	
CONTRAINTES OPÉRATIONNELLES POUR LE SOUTIEN À LA SCIENCE AU SVALBARD : EXPÉRIENCE SUR LE SITE DE NY AALESUND ET DE LA BASE DE CORBEL.....	
19	
Patrice Bretel	
Avertissement	19
Résumé	19
Abstract.....	20
Introduction.....	20
Présentation de l'Institut polaire français Paul-Émile Victor et activités arctiques	21
Évolutions climatiques et perspective : conséquences opérationnelles	26
Des solutions techniques soumises aux contraintes législatives.....	30
Conclusion	32
LES OPÉRATIONS EXTRACTIVES EN ARCTIQUE : LES CAS D'EQUINOR ET DE NORILSK NICKEL.....	
33	
Florian Vidal	
Résumé	33
Abstract.....	33
Introduction	34
La complexité des opérations en mer de Barents.....	35
Les activités minières, des ambitions renouvelées.....	38
Perspectives et limites opérationnelles en Arctique	41
ENJEUX SANITAIRES DES MILIEUX ARCTIQUES	
HEALTH AND MENTAL WELL-BEING IN THE ARCTIC - IMPACTED BY CLIMATE CHANGE AND PERMAFROST THAW.....	
45	
Ulla Timlin & Arja Rautio	
Abstract	45
Résumé	45
Introduction	46
Arctic - a space for everyone who can handle the climate?	46
Health and well-being among Arctic people.....	49
Researchers and local people working together	57

ADAPTATIONS OPÉRATIONNELLES ET ÉVOLUTIONS CLIMATIQUES

TRANSPORT MARITIME EN ARCTIQUE : FAUT-IL REDOUTER LES <i>POLAR LOWS</i> ?	63
Chantal Claud	
Résumé	63
Abstract	63
Introduction	64
Caractérisation de ces tempêtes	64
Analyse climatologique des <i>polar lows</i> en mers nordiques	66
Leurs impacts	67
Leur prévision	69
Changement climatique et <i>polar lows</i>	70
LA MARITIMISATION DE L'ARCTIQUE : RÉALITÉ ET PERSPECTIVES	73
Hervé Baudu	
Résumé	73
Abstract	73
Introduction	74
L'Arctique : un espace fermé	75
La route maritime du Nord	78
Tensions sous-jacentes	81
L'ACCÉLÉRATION DU DÉGEL DU PERGÉLISOL : IMPACTS STRATÉGIQUES ET DÉFIS LOGISTIQUES CIRCUMPOLAIRES	83
Magali Vullierme	
Résumé	83
Abstract	83
Introduction	84
Le dégel du pergélisol, un enjeu circumpolaire	85
Une inégale répartition des infrastructures arctiques	89
Des impacts stratégiques et logistiques circumpolaires	93
Conclusion	95
LES AUTEURS	97

AVANT-PROPOS

Cette étude publie les actes de la journée de séminaire organisée le 3 février 2020 par l'IRSEM et le laboratoire CEARC (Cultures, environnements, Arctique, représentations, climat, Université Paris-Saclay, UVSQ).

Ce séminaire international et transdisciplinaire portait sur les réalités opérationnelles de l'environnement arctique face aux changements climatiques. Il avait pour objectif principal de proposer une vision réaliste des sous-régions arctiques en donnant la parole à des spécialistes du climat, des universitaires de terrain, des opérationnels, mais également des habitants de ces régions.

Durant cette journée, des experts, des planificateurs, opérateurs ou logisticiens issus des milieux universitaires, militaires et industriels ont débattu autour de cinq thématiques : environnement arctique et d'exploitations, enjeux sanitaires, évolution du climat et adaptation opérationnelle, recherche et éthique dans l'environnement arctique.

Reproduisant une partie de ces débats, cette étude réunit les contributions d'experts canadiens, finlandais et français ayant participé à cette journée de réflexion transdisciplinaire.

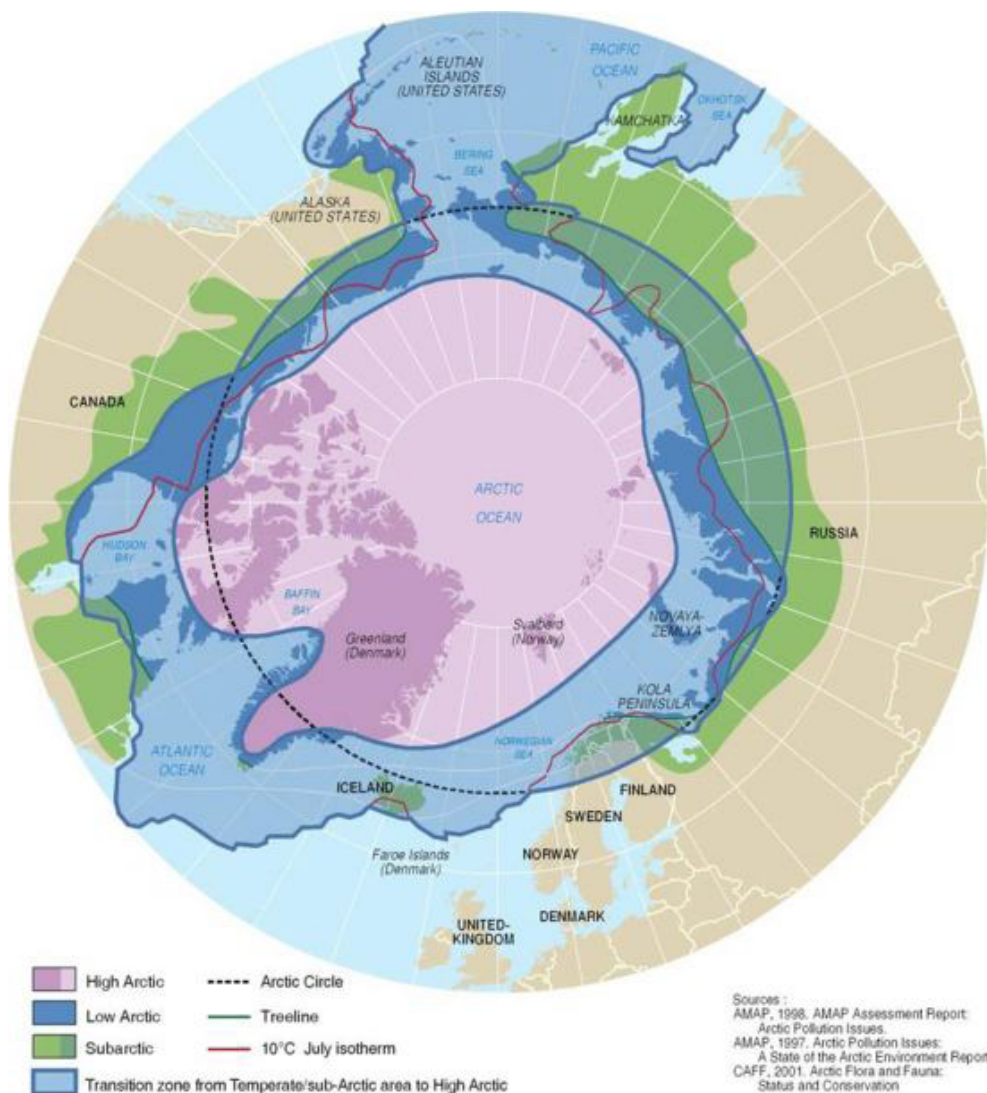
INTRODUCTION

Région polaire située autour du pôle Nord et de l'océan Glacial Arctique, l'Arctique (du grec ancien *Arktos*, ἄρκτος, ours) est l'exact opposé de l'Antarctique : l'Antarctique est un continent recouvert de glace entouré d'océans et de mers ; l'Arctique est un océan recouvert de glace entouré d'États souverains. En effet, l'océan Glacial Arctique est bordé de cinq États : les États-Unis d'Amérique (Alaska), le Canada, le royaume du Danemark (Groenland), le royaume de Norvège (Svalbard) et la Fédération de Russie. Une définition élargie inclut trois autres États : la république d'Islande, le royaume de Suède et la république de Finlande.

Au sein de ces États arctiques, la délimitation de leurs sous-régions arctiques fluctue selon trois critères. Comme le montre la carte (figure 1), celles-ci peuvent être définies comme a) les sous-régions localisées au nord du cercle arctique (66°33' de latitude nord) ; b) les sous-régions enregistrant une température moyenne en dessous de 10°C (« isotherme +10°C ») lors du mois le plus chaud ; ou c) les sous-régions situées au nord de la limite des arbres, ce qui correspond à la transition entre la taïga et la toundra. Tributaire de critères climatiques, la délimitation de ces sous-régions est directement impactée par les effets du changement climatique. Par exemple, certaines régions du nord de la Sibérie ont enregistré des températures largement supérieures à 10°C pendant l'été 2016 (35°C à l'été 2016 dans la péninsule de Yamal). Autre exemple, la taïga mord de plus en plus sur la toundra, ce qui modifie tant la faune que la flore¹.

1. Joan Nymand Larsen, Oleg A. Anisimov, Andrew Constable, Anne B. Hollowed, Nancy Maynard, Pal Prestrud, Terry D. Prowse et John M.R. Stone, « [Polar Regions](#) », in Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2014, p. 1567-1612.

Figure 1
Les frontières de l'Arctique



Source : UNEP/GRID-Arendal (2004). Vital Arctic Graphics.

Depuis 1987, les relations diplomatiques dans l'Arctique sont construites avant tout autour des enjeux environnementaux. Tout d'abord, dans son discours de Mourmansk, Mikhaïl Gorbatchev², alors secrétaire général du Parti communiste de l'Union soviétique, prône la « démilitarisation du Nord et l'établissement d'un processus de coopération internationale portant sur les questions de protection de l'environnement, d'exploitation des ressources, d'échanges scientifiques, de gestion du trafic maritime³ ». Cette même année, le rapport Brundtland propose la première définition du concept de développement durable, qui répond « aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations à venir de satisfaire les leurs⁴ ». Au début des années 1990, l'émergence du concept de développement durable couplée aux idées présentes dans le discours de Mourmansk gagne assez de poids politique pour aboutir à la création d'un régime de protection de l'environnement arctique, formalisé par l'Arctic Environmental Protection Strategy (AEPS)⁵, ancêtre du Conseil de l'Arctique⁶.

2. Mikhaïl Gorbatchev, « [The Speech in Murmansk at the ceremonial meeting on the occasion of the presentation of the Order of Lenin and the Gold Star Medal to the city of Murmansk](#) », Moscou, 1^{er} octobre 1987. Voir également : Evgenia L. Issaraelian, « L'initiative de Gorbatchev à Mourmansk et les mesures de restauration de la confiance dans l'Arctique », *Études internationales*, 20:1, 1989, p. 61-70.

3. Frédéric Lasserre (dir.), *Passages et mers arctiques, Géopolitique d'une région en mutation*, Chaire de recherche du Canada en droit de l'environnement, Presses de l'Université du Québec, 2010, p. 122.

4. Organisation des Nations unies (ONU), *Notre avenir à tous*, Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (dit « Rapport Brundtland »), 1987, p. 14.

5. Lassi Heininen (ed.), *Security and Sovereignty in the North Atlantic*, Palgrave Macmillan, 2014, p. 32.

6. Le Conseil de l'Arctique est un forum intergouvernemental institué par la Déclaration d'Ottawa en 1996. Les huit États arctiques (États-Unis, Canada, Danemark, Islande, Norvège, Suède, Finlande et Russie) en sont membres permanents, aux côtés de six institutions représentant les peuples autochtones. Par ailleurs, treize États non arctiques, treize organisations gouvernementales et douze non gouvernementales bénéficient du statut d'observateurs. La France est membre observateur du Conseil de l'Arctique depuis 2000. Pour

Régulièrement, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) alerte sur l'aggravation des risques liés au changement climatique⁷. Ainsi, son Rapport spécial sur les impacts d'un réchauffement planétaire de 1,5°C du 8 octobre 2018 indique qu'un tel réchauffement augmenterait les risques pour « la santé, les moyens de subsistance, la sécurité alimentaire, l'approvisionnement en eau, la sécurité humaine et la croissance économique⁸ ». Cette aggravation est d'autant plus inquiétante pour les sous-régions arctiques, où les impacts du changement climatique se ressentent « deux fois plus rapidement » que dans le reste du monde⁹.

Face à ces bouleversements, les régions arctiques sont souvent décrites comme de nouveaux théâtres d'exploration, d'exploitation ou encore, de résurgence du risque militaire. Toutefois, les évolutions possibles ne peuvent être considérées qu'au regard de la réalité de l'environnement arctique : climat hostile, distances entre communautés, absence d'infrastructures constituent autant de facteurs à prendre en compte, dans un contexte qui évolue avec le changement climatique.

Afin de proposer un panorama d'ensemble de ces différents aspects de l'environnement arctique, cette étude réunit les contributions d'experts autour de trois thématiques : environnement arctique et d'exploitations, enjeux sanitaires, évolution du climat et adaptation opérationnelle. Ces contributions, issues d'une expérience de terrain ou de travaux de recherche, ou des deux, illustrent la complexité d'un environnement, qui,

plus d'informations, consulter le site institutionnel du Conseil de l'Arctique : <https://arctic-council.org/en/>.

7. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), *Special Report on Global Warming of 1.5°C*, 2018 ; GIEC, *Climate Change and Land*, 2019 ; GIEC, *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2019 ; GIEC, *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, 2019. Les autres rapports du GIEC ont été publiés en 1990, 1995, 2001, 2007 et 2014. Ces rapports compilent quatre documents : un rapport de synthèse et un rapport par groupes de travail.

8. GIEC, « Special Report on Global Warming... », B.5, *op. cit.*, p. 11.

9. Larsen *et. al.*, « Polar Regions », *op. cit.*

bien qu'impacté par le changement climatique, reste globalement hostile à l'homme. Elles illustrent également la diversité des enjeux touchant cet environnement et des approches pour mieux les appréhender. Elles visent, enfin, à travers la journée de séminaire et ces restitutions, à amorcer un échange d'expérience entre ces milieux très cloisonnés afin, peut-être, de contribuer de façon plus collective à la réflexion autour d'une sécurisation croissante de l'Arctique.

PLAN

Cette étude est construite en trois parties.

La première partie expose les défis logistiques et d'exploitation des environnements polaires en mettant en perspective des expériences complémentaires concernant ces défis : expérience logistique terrestre de l'Institut polaire français (IPF) - IPEV en Arctique et expertise concernant les exploitations offshore et minière en Norvège et Russie. Patrice Bretel, directeur de la stratégie et de l'innovation de l'IPF-IPEV, y présente les défis logistiques rencontrés par l'Institut, agence de moyens au service de la science, sur la base de Ny-Aalesund (Svalbard, Norvège), dans un contexte de réduction des périodes de glace de mer dans le Kongsfjorden et au Svalbard et de dégel du pergélisol. Florian Vidal, chercheur à l'IFRI et au LIED, aborde les défis logistiques des opérations extractives à travers deux études de cas : Equinor (exploitation offshore en mer de Barents, Norvège) et Nor nickel (exploitation minière à Norilsk, Russie).

La deuxième partie contribue à une réflexion sur les enjeux sanitaires touchant les populations locales des régions arctiques. Couvrant des enjeux de santé physique ou de santé mentale, elle présente les résultats des travaux de deux chercheuses finlandaises conduits au sein du projet Nunataryuk. Arja Rautio, professeure à la faculté de médecine de l'Université d'Oulu et vice-présidente de l'Université de l'Arctique, et Ulla Timlin, chercheuse à la faculté de médecine de l'Université d'Oulu, expertes vivant dans les sous-régions arctiques qui étudient les

enjeux de santé physique et mentale des populations arctiques, notamment en lien avec l'accélération du dégel du pergélisol.

La troisième et dernière partie est axée sur les réalités opérationnelles de l'environnement arctique. Chantal Claud, directrice de recherche au CNRS (LMD, École polytechnique) et directrice de l'OVSQ (Université Paris-Saclay-UVSQ), expose les risques liés aux *polars lows*, tempêtes violentes et imprévisibles qui se forment sur les mers froides libres de glace, dont la récurrence pourrait augmenter avec la disparition de la banquise. Hervé Baudu, professeur en chef de l'enseignement maritime à l'École nationale supérieure de la marine, présente les enjeux de navigabilité des voies maritimes arctiques, et plus particulièrement les réalités et perspectives de la navigation dans la route maritime du Nord (RMN) qui longe la Fédération de Russie. Enfin, dans le dernier texte, Magali Vullierme, chercheuse associée à l'ENAP et à l'OPSA et membre du GDR Arctique (CNRS, France), propose une analyse circumpolaire des impacts de l'accélération du dégel du pergélisol sur les infrastructures arctiques.

ENVIRONNEMENTS POLAIRES ET DÉFIS D'EXPLOITATIONS

CONTRAINTES OPÉRATIONNELLES POUR LE SOUTIEN À LA SCIENCE AU SVALBARD : EXPÉRIENCE SUR LE SITE DE NY AALESUND ET DE LA BASE DE CORBEL

Patrice Bretel

Dominique Fleury, Serge Drapeau

AVERTISSEMENT

Cet article n'a pas d'objectif scientifique mais décrit une situation opérationnelle contrainte par les changements climatiques aux effets indéniables. Pour une recherche approfondie sur les évolutions environnementales, se référer notamment aux documents cités en notes de bas de page.

RÉSUMÉ

L'Institut polaire français - Paul-Émile Victor (IPF-IPEV), agence de moyens au service de la science, est par essence directement confronté aux réalités opérationnelles des zones polaires (Arctique - Antarctique) et subpolaires (îles australes). Que ce soient les fluctuations interannuelles de conditions de glace de mer ou une forte variabilité météorologique annuelle, l'Institut doit s'adapter pour pouvoir réaliser ses missions. Considérant les tendances d'évolution des conditions environnementales d'échelle pluriannuelle à pluridécennale, l'Arctique est sans doute une des régions du globe où les changements climatiques sont les plus prégnants, notamment pour les infrastructures et la logistique. Comment les pratiques logistiques, les infrastructures et la législation peuvent-elles s'adapter au nouveau contexte climatique ? Afin d'illustrer ces défis d'adaptation, cet article s'appuie sur deux sites du Svalbard : Ny Aalesund et la base de Corbel.

ABSTRACT

The French Polar Institute – Paul-Emile Victor (IPF-IPEV), a resources agency serving science, is intrinsically confronted with operational realities of the polar (Arctic – Antarctic) and sub-polar (southern islands) areas. Either interannual fluctuations in sea ice conditions or a large annual meteorological variability, the Institute must adapt to carry out its missions. Considering the trends in the evolution of environmental conditions on a multi-year to multi-decennial scale, the Arctic is undoubtedly one of the regions of the world where climate change is the most significant, particularly in terms of infrastructure and logistics. How can logistics practices, infrastructure and legislation adapt to the new climate context? In order to illustrate these adaptation challenges, this article is based on two Svalbard sites: Ny Aalesund and the Corbel base.

INTRODUCTION

L'Institut polaire français – Paul-Émile Victor, en tant qu'agence de moyens au service de la science, est par essence directement confronté aux réalités opérationnelles des zones polaires (Arctique – Antarctique) et subpolaires (îles australes). Que ce soient les fluctuations interannuelles de conditions de glace de mer ou une forte variabilité météorologique annuelle, l'Institut doit s'adapter pour pouvoir réaliser ses missions. Considérant les tendances d'évolution des conditions environnementales d'échelle pluriannuelle à pluridécennale, l'Arctique est sans doute une des régions du globe où les changements climatiques sont les plus prégnants. Les études scientifiques et les rapports d'experts¹ indiquent des conditions nouvelles et inédites

1. M. Maturilli, A. Herber & G. König-Langlo, « Climatology and time series of surface meteorology in Ny-Ålesund, Svalbard », *Earth Syst. Sci. Data*, n° 5, 2013, p. 155-163, disponible à : www.earth-syst-sci-data.net/5/155/2013/ ; M. Maturilli & M. Kayser, « Arctic warming, moisture increase and circulation changes observed in the Ny-Ålesund homogenized radiosonde record », *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 130, n° 1-2, 2016 ; I. Hanssen-Bauer,

à l'échelle humaine. Les conséquences sur les infrastructures et la logistique peuvent devenir problématiques. L'Institut polaire français intervient sur l'ensemble de l'Arctique en soutenant de nombreux programmes scientifiques impliquant des scientifiques français. Plus localement, en relation étroite avec l'institut polaire allemand, Alfred Wegener Institut (AWI), il est présent sur le territoire norvégien du Svalbard sur deux sites proches et leurs alentours : dans le village international de Ny Aalesund et sur la base de Corbel à 5 kilomètres vers l'est. Construite par des scientifiques français, celle-ci est constituée de 4 chalets avec une capacité d'hébergement, un atelier et des laboratoires d'observation. Les moyens mis en œuvre pour assurer les missions sur ces sites respectent la législation locale appliquée par le gouverneur du Svalbard. Cette législation vise à préserver ces territoires sensibles à haute valeur environnementale en encadrant toutes les activités sur l'archipel. Comment les pratiques logistiques, les infrastructures et la législation peuvent-elles s'adapter au nouveau contexte climatique qui induit une modification de l'environnement et des conditions d'accès aux sites d'investigation scientifique ?

PRÉSENTATION DE L'INSTITUT POLAIRE FRANÇAIS PAUL-ÉMILE VICTOR ET ACTIVITÉS ARCTIQUES

L'Institut polaire français Paul-Émile Victor est un groupement d'intérêt public (GIP) constitué de 8 membres (CNRS, MESRI, MAE, TAAF, CEA, Météofrance, CNES, IFREMER). Il a pour missions la sélection des projets scientifiques et technologiques, la mise en œuvre d'observatoires de recherche, le soutien financier et humain, l'équipement des stations de terrain, l'organisation des expéditions et la participation à la diffusion scientifique.

E. J. Førland, H. Hisdal, S. Mayer, A. B. Sandø, & A. Sorteberg, « Climate in Svalbard 2100: a knowledge base for climate adaptation », *Miljødirektoratet – Eds*, 2019, disponible à : <http://www.miljodirektoratet.no/M1242> ; Dahlke *et al.*, 2020. Under review. Submitted to *International Journal of Climate* in 2019.

Ses trois secteurs majeurs géographiques d'investigation sont :

- l'Arctique avec particulièrement la base AWIPEV partagée avec les Allemands de l'Alfred Wegener Institut et située à Ny Aalesund au Svalbard dans le Kongsfjorden (#79°N, #12°E). Les infrastructures et une grande partie de la logistique y sont gérées par la société privée norvégienne King's Bay ;

- les îles subantarctiques (Crozet, Kerguelen, Amsterdam), où les infrastructures sont gérées par les Terres australes et antarctiques françaises (TAAF).

- l'Antarctique avec trois sites. La base de Dumont d'Urville sur l'île des Pétrels dans l'archipel de Pointe Géologie, la base Robert Guillard à Cap Prud'homme, point de départ sur le continent du convoi de ravitaillement de la troisième base, Concordia. Cette station franco-italienne est située à 1 100 kilomètres en direction du pôle Sud, sur le plateau de dôme C. L'Institut polaire doit y assurer, avec son partenaire italien pour Concordia, l'ensemble des activités liées à la logistique et la gestion des infrastructures.

Plus spécifiquement en Arctique, le soutien à la science en 2020 représente 30 projets, dont 4 en multisites (figure 1) avec 9 projets en sciences de la vie, 13 projets en sciences de l'univers, 8 projets en sciences de l'homme. Sur le territoire norvégien cela correspond à 14 projets dont 10 à Ny Aalesund et à la base de Corbel. La totalité des programmes en Arctique en 2020 a impliqué 107 scientifiques dont un flux de 34 scientifiques et 6 techniciens au Svalbard.

Au village de Ny Aalesund, la société King's Bay gère les infrastructures et met en location des bâtiments d'habitation, bureaux et garages-ateliers et fournit un service de restauration, de transport et des services annexes (fourniture d'énergie, gestion des déchets etc.) (figure 2). La liaison vers Longyearbyen, plus au sud du Svalbard, est assurée plusieurs fois par semaine par des vols vers Tromsø. Le Svalbard est aussi relié à la fibre, en plus des voies aériennes ; son isolement est donc tout relatif.

Figure 1

Répartition des projets scientifiques en Arctique soutenus par l'AWIPEV

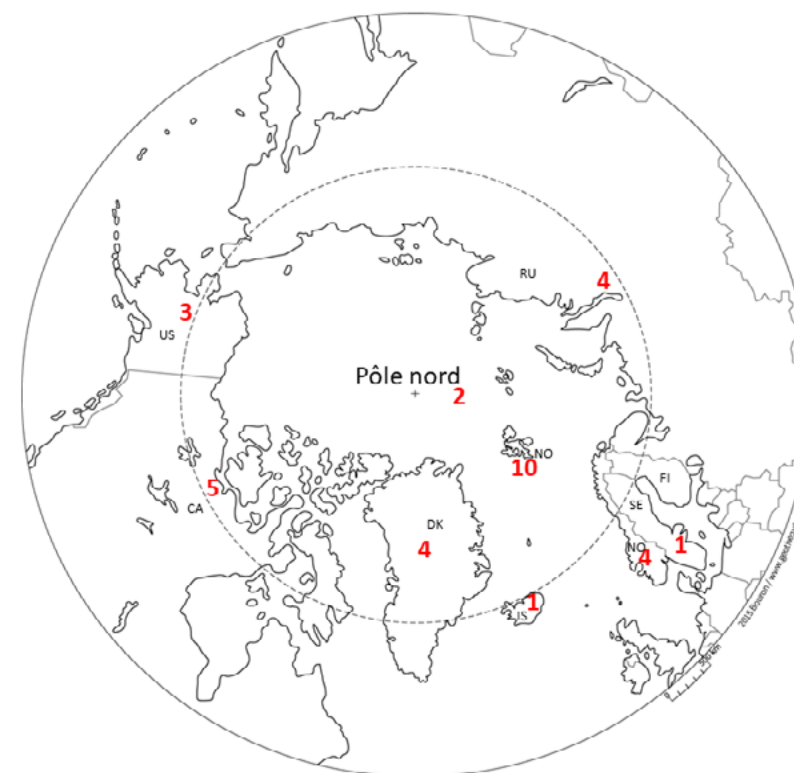
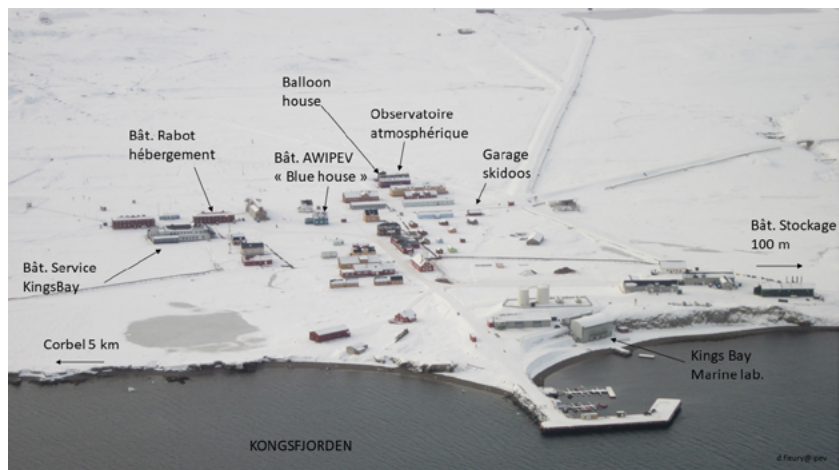


Figure 2

Principales infrastructures du village scientifique international de Ny Aalesund utilisées par l'AWIPEV en rive gauche du Kongsfjorden



Source : AWIPEV website

Le soutien AWIPEV aux programmes scientifiques, outre l'embauche de personnels dont une personne dédiée quasi-exclusivement aux activités d'observations atmosphériques, consiste à maintenir la base de Corbel, fournir un appui maritime avec plusieurs embarcations, dont deux en aluminium permettant les travaux dans le Kongsfjorden et aussi la maintenance et fourniture de skidoos en période hivernale (figure 3).

La base de Corbel, à 5 kilomètres à l'est de Longyearbyen, est surtout fréquentée en période estivale et peut héberger une douzaine de personnes. La production d'énergie s'appuie sur des panneaux solaires de première génération de potentiel nominal de 7 KW, une éolienne de 2,5 KW et en supplément un groupe électrogène mobile. Une capacité de stockage efficace de 80 KWh est assurée par un parc de batteries plomb. Cette configuration est appelée à être totalement renouvelée avec notamment la prospection pour une unité de production et de stockage d'hydrogène et la restitution à l'aide d'une pile à combustible (figure 4).

Figure 3

Moyens logistiques AWIPEV



De gauche à droite, de haut en bas : Le Jean Floch, La Luciole, skidoo avec matériels de mesure, débarquement sur la plage de la base de Corbel

Source : images IPEV

Figure 4

Base de Corbel



Source : photothèque IPEV

ÉVOLUTIONS CLIMATIQUES ET PERSPECTIVE : CONSÉQUENCES OPÉRATIONNELLES

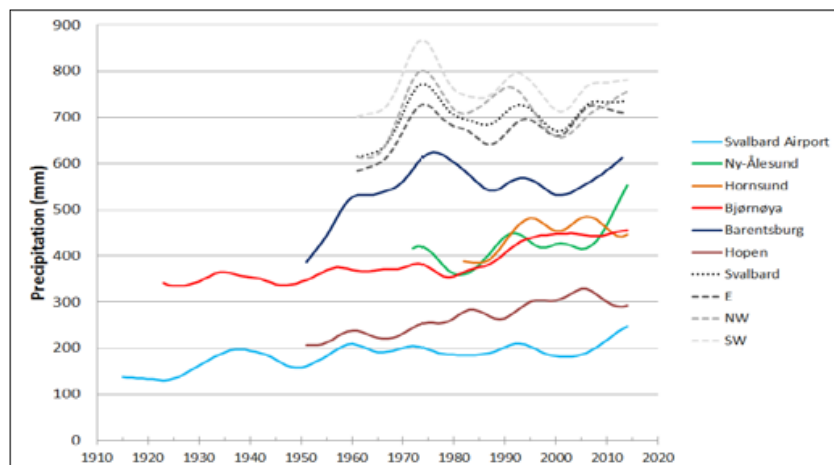
Une étude prospective du Miljødirektoratet fournit notamment des séries temporelles d'observation qui permettent de bâtir des perspectives d'évolution du milieu au Svalbard. Ces dernières décennies, le régime de précipitations s'est modifié avec une augmentation significative récente à Ny Aalesund (figure 5).

Parallèlement, la proportion en surface de l'extension maximale de *fast-ice* (glace de mer connectée au rivage) tend à diminuer tout en montrant une assez forte variabilité interannuelle (figure 6).

2020 est par exemple une année exceptionnelle avec une surface importante de glace de mer épaisse. Des publications récentes² montrent une augmentation plus forte des températures en période hivernale et aussi une augmentation des fréquences d'oscillation des températures sur la même période (figure 7).

Figure 5

Évolution des précipitations au Svalbard³



2. Maturilli & König-Langlo, « Climatology and time series... », *op. cit.* ; Maturilli & Kayser, « Arctic warming, moisture... », *op. cit.*

3. I. Hanssen-Bauer *et al.*, « Climate in Svalbard 2100... », *op. cit.*

Figure 6

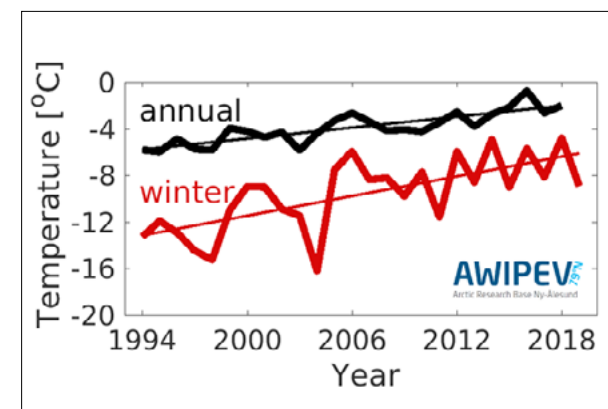
Surface maximale de *fast-ice* (%) dans le Kongsfjorden pour chaque mois de février à juin pour la période de 2003-2017



Source : modifié d'après O. Pavlova, S. Gerland et H. Hop, « Changes in sea-ice extent and thickness in Kongsfjorden, Svalbard (2003-2016) », in H. Hop, C. Wiencke (eds), *The ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard, Advances in Polar Ecology 2*, Springer Verlag, 2019

Figure 7

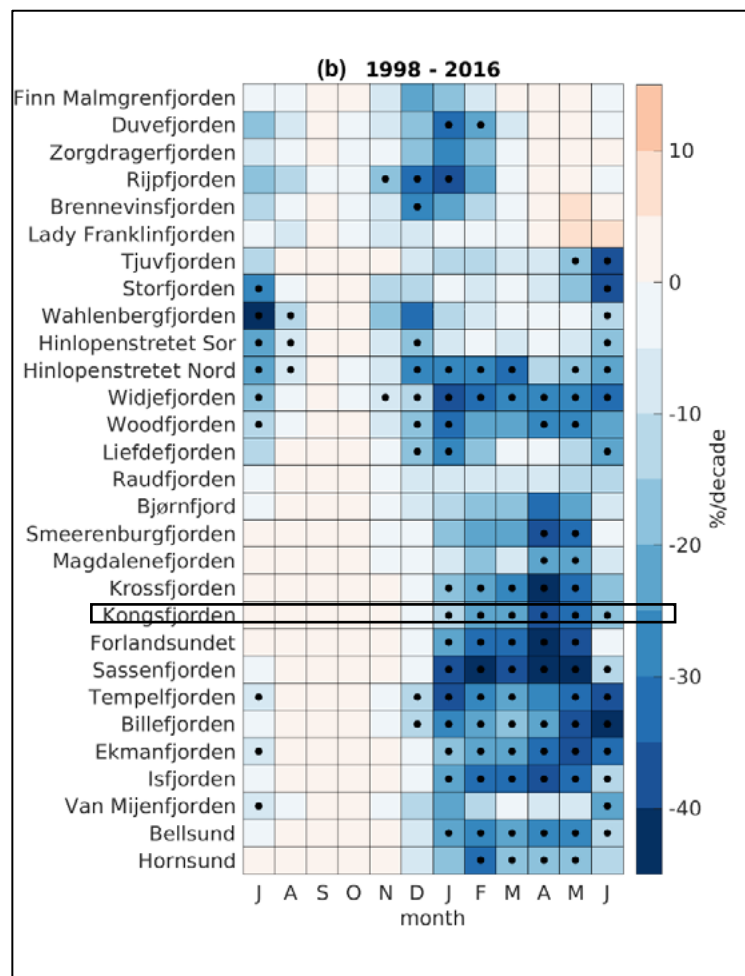
Évolution des températures à Ny Aalesund⁴



4. Dahlke *et al.*, Under review, 2020.

Figure 8

Décroissance des surfaces de glace de mer en %/décade⁵



Ainsi, les conditions de formation de *fast-ice* sont modifiées avec moins de périodes prolongées de grand froid qui sont nécessaires à la croissance de la glace de mer. Cette tendance de réduction des surfaces de *fast-ice* est généralisée dans l'archipel (figure 8 ; sur la figure, les points noirs mentionnent la représentativité statistique). Aucune augmentation significative n'est observée dans l'ensemble des fjords. Toutes les tendances sont à la diminution de ces surfaces.

La circulation atmosphérique globale est perturbée⁶ avec plus d'air chaud et humide en hiver, l'apparition de précipitations pluvieuses à des périodes inhabituelles et moins de périodes enneigées.

Une des conséquences opérationnelles les plus importantes concerne les conditions de circulation des véhicules en hiver qui sont fortement perturbées, notamment les traversées de fjords englacés qui tendent à être beaucoup plus difficiles. À l'inverse, les rotations maritimes depuis Tromsø deviennent possibles toute l'année, comme le confirment les programmations de la compagnie maritime locale Bing. La réduction des précipitations neigeuses rend aussi les conditions de circulation des skidoos plus délicates avec entre autres des problèmes de refroidissement des machines.

Une autre conséquence généralisée dans les régions arctiques est l'augmentation de l'épaisseur active du pergélisol. Nombre de bâtiments, même récents, présentent des signes d'instabilité nécessitant d'adapter leurs fondations. Ainsi par exemple, le bâtiment le plus récent de Ny Aalesund, comprenant une salle de conférence et des bureaux, doit être modifié et renforcé. Il servira ensuite de repli en période de chantier pour l'actuel bâtiment de services communs, cuisine et réfectoire afin que ce dernier soit aussi modifié.

5. *Ibid.*

6. Maturilli & Kayser, « Arctic warming, moisture... », *op. cit.*

DES SOLUTIONS TECHNIQUES SOUMISES AUX CONTRAINTES LÉGISLATIVES

Conscient de la fragilité du milieu et soucieux de sa conservation, le gouverneur du Svalbard se réfère au *Svalbard Environmental Protection Act (Act of 15 June 2001 No.79 Relating to the Protection of the Environment in Svalbard Law)* :

The purpose of this Act is to preserve a virtually untouched environment in Svalbard with respect to continuous areas of wilderness, landscape, flora, fauna and cultural heritage. [...]⁷

L'objectif est donc de préserver cet environnement « pratiquement » vierge en garantissant la continuité des zones sauvages, la faune, la flore et l'héritage culturel. Il est à noter que ce dernier est fortement hérité des activités minières. Cependant le tourisme, d'abord marginal fin XIX^e-début XX^e, a précédé les activités de chasse intense, de pêche et les activités d'exploitation minière.

D'un point de vue opérationnel, la contrainte est surtout logistique en ce qui nous concerne, notamment pour les liaisons entre Ny Aalesund et la base de Corbel. L'AWIPEV respecte les termes de réglementations pour les véhicules à moteur reproduites ci-dessous :

Regulations relating to motor traffic in Svalbard

Implementing legislation: Adopted by the Ministry of the Environment (now the Ministry of Climate and Environment) on 24 June 2002 under sections 80, 81, 82 and 83 of the Act of 15 June 2001 No. 79 relating to the protection of the environment in Svalbard ("Svalbard Environmental Protection Act").

Amendments: amended by the regulations of 24 June 2002 No. 1084, 12 May 2013 No. 469, 15 March 2013 No. 284, 20 December 2013 No. 1689, 19 December 2013 No. 1757, 10 April 2014 No. 525, 6 December 2016 No. 1465, 20 April 2018 No. 599, 12 March 2019 No. 219⁸.

7. « [...] *The translation is not official; it is provided for information purposes only. In the event of any inconsistency, the Norwegian version shall prevail. This translation is based on the Norwegian version of 12 april 2012. Later amendments are not translated.* »

8. Les textes de référence sont disponibles sur le site du gouverneur du Svalbard (Sysselmannen). Disponible à : <https://www.sysselmannen.no/globalassets/lover-og-forskrifter/motor-traffic-in-svalbard.pdf>

Section 4

All motor traffic and air traffic in Svalbard shall take place in a way that does not harm, pollute or in any other way damage the natural environment or cultural heritage or result in unnecessary disturbance to humans or animals.

Section 5

Off-road motor traffic on ground that is **not snow-covered and on thawed ground is prohibited** unless otherwise provided in or under the Svalbard Environmental Protection Act or these regulations.

Section 13 (*permits on application*)

The Governor may grant exemptions from the provisions of these regulations when the purpose of the Svalbard Environmental Protection Act so requires, or **for scientific purposes, work of importance to the public interest or in other special cases.**

Ainsi, selon ces dispositions, les transports sur véhicules à roues sont interdits hors des zones prévues à cet effet et, d'une manière générale, aucune circulation n'est autorisée si le sol n'est pas gelé (donc pouvant être déstructuré) ou couvert de neige. Des exceptions et dérogations sont envisagées (science, intérêt général). Cependant, cela concerne en général des dérogations pour les zones d'accès limité en respectant les conditions de sol précitées.

La situation la plus délicate nous intéressant est la période durant laquelle l'utilisation de moyens nautiques est compliquée par la présence d'embâcles rendant les mises à l'eau délicates ou perturbant la navigation et limitant la possibilité d'utiliser des skidoos.

Pour pallier cette difficulté, des véhicules performants à roues et amphibies sont maintenant disponibles sur le marché (figure 9). Ils sont conçus pour circuler à la fois sur glace ou dans l'eau et sont très efficaces en conditions intermédiaires ou sur glace peu épaisse. Des circulations en bordure d'estran ou à proximité immédiate du rivage seraient à envisager. Cependant, leur conformité à la législation et aux restrictions de domaines d'utilisation reste à étudier.

Figure 9

Véhicules amphibies adaptés à la progression sur glace fragile et terrains peu portants



CONCLUSION

L'AWIPEV regroupant l'Institut polaire français Paul-Émile Victor et l'Alfred Wegener Institut est un acteur important de la communauté scientifique du Svalbard. La base de Corbel, à proximité de Ny Aalesund, est une infrastructure d'accueil unique permettant la réalisation d'observations hors des pollutions lumineuses et des émissions atmosphériques liées aux combustions locales. Sa modernisation est envisagée pour réduire au minimum son empreinte carbone et ainsi devenir un site propre, offrant des conditions de mesures recherchées par de nombreux scientifiques en observation spatiale ou en analyse de prélèvements atmosphériques par exemple. La mise en œuvre de technologies innovantes de captation des énergies renouvelables (éolien, solaire) et de stockage d'énergie sont en cours de prospection. Cependant, l'adaptation des moyens logistiques indispensables à la rénovation de la base et à la mise en œuvre de ces objectifs ne pourra se faire qu'avec nos partenaires norvégiens qui régulent les activités sur leur territoire afin de préserver cet environnement fragile et en pleine mutation.

LES OPÉRATIONS EXTRACTIVES EN ARCTIQUE : LES CAS D'EQUINOR ET DE NORILSK NICKEL

Florian Vidal

RÉSUMÉ

Les activités extractives en Arctique présentent des défis opérationnels uniques dans un contexte de transformation de la région face aux effets du changement climatique. Ces changements laissent augurer de nouvelles possibilités pour des projets miniers ou pétro-gaziers mais ils impliquent de nombreux défis logistiques, infrastructurels et financiers. Que cela soit en mer ou sur terre, les activités extractives présentent des particularismes selon leurs situations géographiques et climatiques dans les régions polaires. Les exemples d'Equinor (secteur pétrolier) et de Norilsk Nickel ou Norinickel (secteur minier) soulignent les ambitions respectives mais également les limites rencontrées pour la gouvernance industrielle dans un environnement extrême.

ABSTRACT

Extractive activities in the Arctic present unique operational challenges, especially due to the region transformation related to climate change. From those transformations arise new opportunities for mining or oil and gas projects. However, they display numerous logistical, infrastructural and financial challenges. Whether at sea or on land, extractive activities present particularities deriving from their geographic and climatic situations in the polar regions. The case studies of Equinor (petroleum sector) and Norilsk Nickel or Norinickel (mining sector) illustrate new ambitions, but also limits encountered for industrial governance in an extreme environment.

INTRODUCTION

L'Arctique et les ressources naturelles qu'il détiendrait, font l'objet d'une attention particulière. Les ressources pétro-gazières et minières attirent l'intérêt des acteurs du secteur. Située à la périphérie de la civilisation thermo-industrielle, la région a déjà été témoin par le passé d'activités industrielles importantes, particulièrement dans le secteur minier. À présent, le changement climatique laisse entrevoir la possibilité d'explorer et d'exploiter, le cas échéant, de nouveaux espaces dans cette région polaire.

Cette question se pose singulièrement pour l'extraction en mer des gisements pétroliers et gaziers. Les défis qui sont dressés pour mener ces activités sont innombrables, à commencer par le fait d'évoluer dans des conditions géographiques et climatiques extrêmes. Ces risques opérationnels se posent à présent pour la société norvégienne Equinor qui entend réaliser un site de production pétrolière en mer de Barents. Opérateur historique du plateau continental norvégien, le groupe a entrepris depuis la fin des années 2000 un plan de développement dans la zone arctique du pays.

Cette perspective signale la poursuite du paradigme d'une économie fondée sur les ressources non renouvelables. De manière analogue, le secteur minier connaît dans la région un renouveau avec des projets d'ouverture ou de réouverture de sites miniers dans plusieurs pays de la région. Ainsi, en Norvège, l'entreprise Nussir a un projet d'ouverture d'une mine de cuivre dans le comté du Finnmark. De même, le groupe russe Norilsk Nickel (Nornickel) ambitionne de renouveler sa stratégie industrielle alors que certains minerais comme le nickel sont indispensables dans la politique de transition énergétique engagée au niveau international.

Les cas d'Equinor et de Nornickel sont emblématiques des problématiques et des enjeux du secteur extractif dans le milieu polaire. Si les effets du changement climatique laissent entrevoir de nouvelles possibilités pour ces industries, certains facteurs de risques soulèvent des interrogations quant à la faisabilité des projets envisagés. Autrement dit, la difficulté de certaines

opérations pourrait conditionner l'ampleur de ces activités. À partir de ces deux exemples, est-il possible de percevoir une nouvelle maturité pour mener des opérations extractives en Arctique ? Quelles en sont les possibilités mais aussi les limites en matière opérationnelle ?

LA COMPLEXITÉ DES OPÉRATIONS EN MER DE BARENTS

Fondée en 1972, l'entreprise norvégienne Equinor (anciennement Statoil jusqu'en 2018) est le principal opérateur des champs d'hydrocarbures sur le plateau continental norvégien. Dans les années 1980, des opérations d'exploration en mer de Barents ont été menées pour identifier les potentielles ressources en hydrocarbures. En 2007, Equinor lance son premier site d'exploitation d'un champ gazier (Snøhvit), situé à 140 kilomètres des côtes norvégiennes. Le gaz est ensuite transformé en gaz naturel liquéfié (GNL) au centre de production d'Hammerfest dont les capacités de production s'élèvent à 7,4 milliards de mètres cubes par an¹.

Premier véritable succès en mer de Barents, Equinor voit son entreprise dans la région encouragée par les autorités publiques norvégiennes. En effet, le gouvernement norvégien perçoit dans son espace septentrional la possibilité de poursuivre un modèle économique fondé sur l'industrie extractive. Ce choix politique fondamental a été élaboré dans les années 2000 avec, en particulier, le Livre blanc (*Stortingsmelding*) de 2005 et la présentation l'année suivante par le gouvernement norvégien de sa stratégie pour le Grand Nord (*High North strategy*)². À partir de ce moment-là, la stratégie du pays à l'égard de son espace arctique prend véritablement son envol.

Depuis 1969, la Norvège est entrée dans l'ère du pétrole avec la mise en exploitation du champ pétrolifère Ekofisk en mer du Nord. Lors de ces cinquante dernières années, le pays s'est forgé

1. Rapport de la société Gassco, *Evaluation of gas transport alternatives in the Barents Sea South*, Kopervik, Gassco, 2019, p. 22.

2. Rapport du gouvernement norvégien, *The Norwegian Government's High North Strategy*, Oslo, Utenriksdepartementet, 2006, 76 p.

une véritable expertise dans l'exploitation des ressources hydrocarbures en mer. De cette expertise opérationnelle, les acteurs du secteur entendent opérer une phase transitoire face au déclin de la production pétrolière dans les mers du Nord et de Norvège. Ainsi, un transfert géographique des activités extractives de cette région vers la mer de Barents constitue le point d'attache des ambitions norvégiennes. En 2018, la Direction norvégienne du pétrole (*Oljedirektoratet*) indiquait que plus de 60 % des ressources d'hydrocarbures de la Norvège restaient à découvrir dans le bassin de la mer de Barents³.

Dans la région arctique, Equinor dirige ses opérations à partir de deux centres d'expertise à Hammerfest et Harstad. Ceux-ci gèrent les trois phases d'activités : l'exploration, le développement et l'exploitation des champs. Pour mener ses opérations d'exploration, Equinor est tributaire d'un processus d'autorisation. Une fois l'attribution de la licence obtenue auprès de la Direction norvégienne du pétrole, la Direction de l'environnement et l'Autorité norvégienne de sécurité pétrolière (*Petroleum stilsynet*) autorisent ou non en dernier lieu la possibilité de mener ces opérations. Pour ce faire, ces deux autorités analysent et évaluent les risques potentiels de telles opérations et mènent une consultation publique sur ses risques potentiels.

L'évolution des conditions climatiques est un facteur ouvrant dès lors des perspectives favorables à la mise en œuvre d'exploitation des gisements pétro-gaziers dans la région. Selon certaines estimations, la mer de Barents pourrait devenir la première région libre de glace à l'horizon de 2050, offrant la perspective de développer des infrastructures offshore dans la zone. Néanmoins, les défis opérationnels demeurent plus complexes que les opérations engagées depuis cinquante ans dans le reste du plateau continental norvégien. Parmi les risques, l'éloignement géographique des sites de production en mer constitue un défi logistique majeur. Jusqu'à présent, aucun incident majeur n'a été répertorié dans les phases d'exploration. Ainsi, plus de

3. Rapport de la Direction norvégienne du pétrole, *Resource Report. Exploration 2018*, Stavanger, Oljedirektoratet, 2018, p. 27.

150 opérations de forage ont été menées par Equinor en mer de Barents sans incident sérieux répertorié⁴.

Ces dernières années, le groupe norvégien, détenteur de licences d'exploration, a mené des opérations dans la partie du sud-est de la mer de Barents, à proximité de la frontière maritime avec la Russie. Plusieurs forages d'exploration ont été menés avec des résultats très mitigés selon les responsables de la société norvégienne. Ces résultats redessinent les perspectives de développement du secteur extractif dans la région de Barents, et annoncent l'amorce d'une évolution sensible. Equinor souhaite à présent rationaliser sa stratégie de développement et se focaliser sur les champs les plus prometteurs en mer de Barents. En décembre 2019, le groupe a annoncé l'abandon des forages d'exploration le long de la frontière maritime russo-norvégienne. Selon Dan Tuppen, directeur d'exploration, les puits sur lesquels Equinor a opéré ont eu « des résultats décevants⁵ ». Pour le groupe, ces forages à sec ne sont pas inattendus mais amènent ses dirigeants à recentrer leurs activités à l'ouest de la mer de Barents.

Cette annonce traduit la volonté du groupe norvégien de hiérarchiser ses investissements où l'exploitation du champ de Johan Castberg, découvert en 2011, apparaît comme le pivot dans le démarrage de l'exploitation pétrolière en mer de Barents. Ce projet est structurant pour les ambitions du groupe norvégien. Comprenant trois champs pétrolifères, à savoir Johan Castberg (anciennement Skrugard), Havis et Drivis, ceux-ci sont localisés dans la licence de production PL 532, à environ 100 kilomètres au nord-ouest du champ gazier Snøhvit. Avec un potentiel de 200 000 barils par jour, la durée de vie est estimée à 30 ans avec des réserves prouvées de 400 à 450 millions de barils. Situés dans des profondeurs de 360 à 390 mètres environ, les réservoirs s'étendent à des profondeurs de 1 900 mètres. Pour mener l'exploitation de ce projet, Equinor a tablé sur un investissement de

4. Communiqué du groupe Equinor, « [Safely exploring the Barents Sea](#) ».

5. Marius Lorentzen *et al.*, « [Equinor kaster kortene i Barentshavet sørøst: - Vi ser ikke andre muligheter](#) », *E24*, 3 décembre 2019.

49 milliards de couronnes norvégiennes (environ 4,7 milliards d'euros). Les opérations d'exploitation sont programmées pour débuter, au plus tôt, en 2022⁶. En outre, la Direction norvégienne du pétrole a attribué une nouvelle licence d'exploration dans la zone 532, à 25 kilomètres au sud de Johan Castberg⁷.

La perspective d'une activité pétrolière conséquente dans la région soulève la question d'un risque opérationnel majeur : l'hypothèse d'une marée noire. Une des incertitudes d'un tel scénario est l'ampleur des dégâts environnementaux. Cette hypothèse met en exergue deux faiblesses identifiées. D'une part, le manque de moyens logistiques dans le comté du Finnmark pour mener des opérations contre ce type d'accident révèle une véritable faiblesse. D'autre part, l'absence d'un accord de compensation entre la Norvège et la Russie questionne sur les potentielles conséquences transfrontalières d'un tel scénario.

LES ACTIVITÉS MINIÈRES, DES AMBITIONS RENOUVELÉES

Dans la région arctique, les activités minières connaissent un renouveau important face à une demande croissante sur le marché international des matières premières. Pareillement, la transition énergétique requiert de nombreux minerais nécessaires pour les technologies de bas carbone. Parmi eux, le nickel compte comme un minerai critique pour l'électrification du secteur automobile. Ainsi, il est un des composants essentiels pour les batteries des véhicules électriques (VEs). Dans cette perspective, le groupe russe Norilsk Nickel ambitionne de nouveaux projets.

Principalement situé dans la cité mono-industrielle de Norilsk, créée en 1935 sous l'impulsion de l'Union soviétique et sous le contrôle du NKVD⁸, le groupe Norilsk Nickel regroupe à présent 83 000 employés, dont 69 % sont basés uniquement sur

6. Atle Stålesen, « [Equinor gets ready to drill new Arctic well](#) », *The Independent Barents Observer*, 23 décembre 2019.

7. Communiqué de presse de la Direction norvégienne du pétrole, « [Boreløyve for brønn 7219/9-3 i utvinningsløyve 532](#) », 19 décembre 2019.

8. Le NKVD (*Narodnij Komissariat Vnoutrennikh Diel*) était un organisme d'État en URSS dont le rôle relevait de la police politique « chargée de combattre

ce site. Toutefois, le vieillissement des infrastructures et l'impact environnemental de l'entreprise russe sont à présent des sujets de discussion.

En effet, ses activités industrielles à Norilsk et dans la péninsule de Kola influencent très négativement l'écosystème local et régional. Selon les observations de la NASA (2018), le taux d'émission de dioxyde de soufre (SO₂) le plus élevé au monde se situe à Norilsk et sa région⁹. Dès lors, la responsabilité de Norilsk est déterminante. Avec l'encouragement de l'État russe et la pression des investisseurs et actionnaires étrangers, la direction du groupe et son président Vladimir Potanine ont entrepris un programme de rénovation de son appareil industriel.

Pour cela, le groupe russe s'est engagé à opérer en profondeur une restructuration de ses sites industriels, en particulier ceux situés dans la péninsule de Kola. Région frontalière, la ville mono-industrielle de Nickel est source de tensions entre la Norvège et la Russie en raison de ses conséquences environnementales désastreuses dans cette zone. En janvier 2019, un nuage de SO₂ a atteint des niveaux de concentration inquiétants dans la région de Kirkenes, provoquant une alerte sanitaire, les niveaux de concentration ayant dépassé 500 microgrammes par mètre cube (µg/m³) durant plus de trois heures consécutives¹⁰.

Pour remédier à cet état de fait, l'infrastructure industrielle de Nickel est en phase de reconversion avec la fermeture programmée de son site, et notamment de sa fonderie. De la sorte, les autorités locales et Norilsk se sont accordés sur un projet d'investissement à hauteur de 140 milliards de roubles (soit 2 milliards d'euros) pour les cinq prochaines années dans l'oblast de Mourmansk¹¹. Ces investissements visent à une modernisation des infrastructures du groupe afin d'atténuer sensiblement

le crime et de maintenir l'ordre public ». Le rôle du NKVD a été déterminant dans l'encadrement du système concentrationnaire soviétique (*Goulag*).

9. [Global SO2 pollution map](#), Cartographie des données de la NASA.

10. Thomas Nilsen, « [Sulfur cloud from Kola forces Norwegians to stay indoors](#) », *The Independent Barents Observer*, 25 janvier 2019.

11. « [Na Severe - žit'](#) », *Lenta*, 18 octobre 2019.

les conséquences environnementales des activités industrielles de Nornickel.

Pour amorcer ce virage environnemental, l'ONG norvégienne Bellona s'est engagée à accompagner le groupe russe. Signe de ce support, Alexander Nikitin, président de l'antenne de l'ONG à Mourmansk, a souligné que « Nornickel est fermement engagé dans une transformation environnementale à grande échelle¹² ».

De ces engagements en matière environnementale, le groupe entend poursuivre sa stratégie de développement de ses activités dans la région arctique. Avec la société OOO Russkaâ Platina, Nornickel a négocié la création d'une *joint-venture* sous le nom d'Arctic Palladium. Avec un investissement de départ évalué à 15 milliards de dollars, cette nouvelle entité est le fruit de cette coopération industrielle. Le projet vise l'extraction de palladium à proximité de Norilsk, place forte en Russie pour l'extraction de nickel. Selon le groupe Russkaâ Platina, le développement de ce projet est favorisé par « la consommation de platinoïdes en forte croissance dans le monde, notamment le palladium¹³ ». Le palladium est un matériau nécessaire dans la composition des véhicules à moteur essence, à présent en forte croissance face au déclin des ventes des véhicules à moteur diesel.

Le gisement de palladium comprend une réserve totale de 770 millions de tonnes de minerai avec une durée de vie d'exploitation estimée à 55 ans. L'objectif de l'entreprise est d'atteindre une production annuelle de 21 millions de tonnes par an et un chiffre d'affaires évalué à 7 milliards de dollars avec une marge à 53 % (soit plus de 3,5 milliards de dollars). Les opérations sont programmées pour débuter à partir de 2024¹⁴. Selon la société Russkaâ Platina, l'extraction du minerai s'opérera dans une mine à ciel ouvert avec la construction à proximité d'une usine de traitement et une fonderie¹⁵.

12. [Compte du réseau social du groupe Nornickel](#), 18 octobre 2019.

13. Communiqué de presse de l'Administration présidentielle de la Fédération de Russie, « [Vstreča s Musoj Bažaevyj](#) », 18 novembre 2019.

14. *Ibid.*

15. [Information communiquée](#) par la société Russkaâ Platina.

Pour Nornickel, ce projet s'insère dans un contexte international favorable. Au début de l'année 2020, le cours de l'once de palladium sur le marché international était évalué à 1 800 dollars. Avec un tel projet, l'ambition est de positionner la Russie comme le leader incontournable dans la production des métaux de platine, lui permettant à terme de contrôler le marché.

Néanmoins, ces ambitions sont mises en péril par les conséquences du changement climatique dans la région de Norilsk. En effet, les opérations du groupe minier sont exposées aux conditions spécifiques du pergélisol (*permafrost*). La fragilisation du pergélisol dans la zone menace l'ensemble des infrastructures, en premier lieu les habitations, avec un risque d'effondrement. Nornickel, pour qui ce risque émergent est un axe prioritaire, met en œuvre de nouvelles normes (moins d'étages et allègement du poids par rapport aux bâtiments existants) afin de le gérer¹⁶.

PERSPECTIVES ET LIMITES OPÉRATIONNELLES EN ARCTIQUE

Si de prime abord, les régions arctiques détiennent d'importantes réserves d'hydrocarbures et de minerais, leur exploitation demeure néanmoins très incertaine face à de nombreuses contraintes (géographiques, infrastructurelles, juridiques et financières).

En effet, chaque opération dans la zone polaire présente des défis et des problématiques très distincts. D'une part, les conditions climatiques (en mer ou sur terre par exemple) et la situation géographique conditionnent la faisabilité opérationnelle de ces activités extractives. D'autre part, les technologies à disposition ainsi que les infrastructures logistiques demeurent indispensables à la réalisation de tels projets.

De même, les effets du changement climatique constituent un facteur de contraintes supplémentaires sur les risques potentiels à gérer pour les entreprises du secteur. Tout d'abord, celles-ci doivent évaluer les coûts financiers qui accompagnent un projet

16. Rapport annuel du groupe Nornickel, *2018 Annual Report. Advancing On Sustainable Growth*, Moscou, OAO Norilsk Nickel, 2018, p. 131.

tout au long de sa vie (phase pré-opérationnelle, phase opérationnelle et phase post-opérationnelle) ainsi que sa rentabilité eu égard à l'évolution du prix de la matière première visée sur le marché international. Ensuite, les sites en opération doivent inclure des procédures internes qui tiennent compte de l'ensemble des spécificités requises pour appliquer les normes de sécurité attendues. Enfin, il est incontournable de considérer et d'évaluer les risques pour les installations dans un environnement hostile et en mutation.

Enfin, si des projets apparaissent bien engagés, le travail sur le processus du cadrage des risques est à poursuivre à ce stade. En l'état, la gouvernance actuelle semble « inapte à intégrer les risques multiples et le système de connaissances dans le processus décisionnel¹⁷ ». Pour les entreprises du secteur, comme Equinor et Nornickel, il apparaît dès lors incontournable de restructurer en profondeur une gouvernance d'entreprise adaptée à des défis singuliers que sont les opérations dans un milieu polaire en transformation.

ENJEUX SANITAIRES DES MILIEUX ARCTIQUES

17. Tuuli Parviainen *et al.*, « Risk frames and multiple ways of knowing: Coping with ambiguity in oil spill risk governance in the Norwegian Barents Sea », *Environmental Science & Policy*, vol. 98, août 2019, p. 108.

HEALTH AND MENTAL WELL-BEING IN THE ARCTIC - IMPACTED BY CLIMATE CHANGE AND PERMAFROST THAW

Ulla Timlin & Arja Rautio

ABSTRACT

The aim of this article is to describe health and well-being in the Arctic and discuss the current situation and challenges that people of the Arctic are facing. Climate change is comprehensively affecting the lives of Arctic peoples and all new challenges require ongoing adaptation. New situations and demands have serious impacts on health and well-being, which can be noticed through economy, policy, environment, nature, infrastructure and lifestyle. This requires cooperation and good interaction between researchers and local people of Arctic communities.

RÉSUMÉ

Cet article a pour double objectif de décrire la santé et le bien-être dans les sous-régions arctiques et de discuter de la situation et des défis actuels rencontrés par les peuples de l'Arctique. En effet, le changement climatique affecte de façon globale la vie de ces peuples, nécessitant une adaptation continue face à ces nouveaux défis. Ainsi, de nouvelles situations et demandes ayant de graves répercussions sur la santé et le bien-être des peuples ont été identifiées dans l'économie, les politiques, l'environnement, la nature, les infrastructures et le mode de vie. Ces transformations nécessitent une coopération et une bonne interaction entre les chercheurs et les populations locales des communautés arctiques.

INTRODUCTION

Study design and aim of the paper

The authors of this article are researchers in a project called “Nunataryuk”. - Permafrost thaw and the changing Arctic coast, science for socio-economic adaptation” (no:773421, EU Horizon 2020). The overall main goal of the Nunataryuk project is “to determine the impacts of thawing land, coast and subsea permafrost on the global climate and on humans in the Arctic and to develop targeted and co-designed adaptation and mitigation strategies.” The project includes altogether ten work packages with both individual and joint objectives in three inter-related activities: Physical sciences, social sciences, and integration activities. Further, Nunataryuk has four case or study areas that are the focus of research work: the Beaufort Sea area, Greenland, Svalbard and East Siberia area.¹

We are focusing on investigating health, well-being and mental wellness of communities in all four case areas. This paper aims to describe health and well-being in the Arctic and discuss its current situation and the challenges that people of the Arctic are facing. Health and well-being will be considered alongside the impacts of global climate changes, but also the important role of the ethical responsibility of researchers in co-operation and communication with locals will be discussed.

ARCTIC - A SPACE FOR EVERYONE WHO CAN HANDLE THE CLIMATE?

The Arctic covers areas above 60°N, around 10% of the total land area of the world. It includes all of Alaska, Greenland, Iceland and the Faroe Islands. Also, the northernmost areas of Canada and Norway, Sweden, Finland and Russia are part of the

1. Nunataryuk - Permafrost thaw and the changing Arctic coast, science for socio economic adaptation. www.nunataryuk.org (accessed 2 April 2020).

Arctic². Based on the recent Nordregio report³ the population of the Arctic is seven million people. Nevertheless, the Arctic is one of the least populated areas in the world, where people have a greater average amount of space to live.⁴

The Arctic climate can be extreme and cold, and inhabitants/people spend much time indoors.⁵ Rural areas are common, and a majority of the population is based on sparse larger settlements. In fact, the majority of the Arctic population lives in cities that have more than 5000 citizen. Still, most villages and towns (90,5% of the settlements) have less than 5000 citizens, based on the report of Junsberg, Turunen, Heleniak, et al.⁶ (see Figure 1).

Currently, climate change is creating new challenges for the whole world, and its effects can be noticed globally. The Arctic is not separate from this and it is, in fact, in a vulnerable situation. According to the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), the Arctic is actually warming rapidly and comprehensively, as shown in concrete way, by increased humidity and melting of land, snow and ice, glaciers and sheets. Further, higher temperatures will have an impact “on interconnected physical, chemical and biological systems” of the Arctic.⁷ A warming climate and further permafrost thawing are not only putting modern infrastructures at risk, but also culture, including traditional culture.⁸

2. A. Emelyanova, “Exploring the Future Population and Educational Dynamics in the Arctic: 2015 to 2050”, *Finnish Yearbook of Population Research*, Vol. 53, 2019, p. 1-24. <https://doi.org/10.23979/fypr.70159>.

3. L. Junsberg, E. Turunen, T. Heleniak et al., “Atlas of population, society and economy in the Arctic”, *Nordregio Working Paper*, No. 3, Nordregio, Stockholm, Sweden, 2019.

4. A. Emelyanova, “Exploring the Future Population...”.

5. M. Bruce, T. Zulz & A. Koch, “Surveillance of infectious diseases in the Arctic”, *Public Health*, No. 137, 2016, p. 5-12.

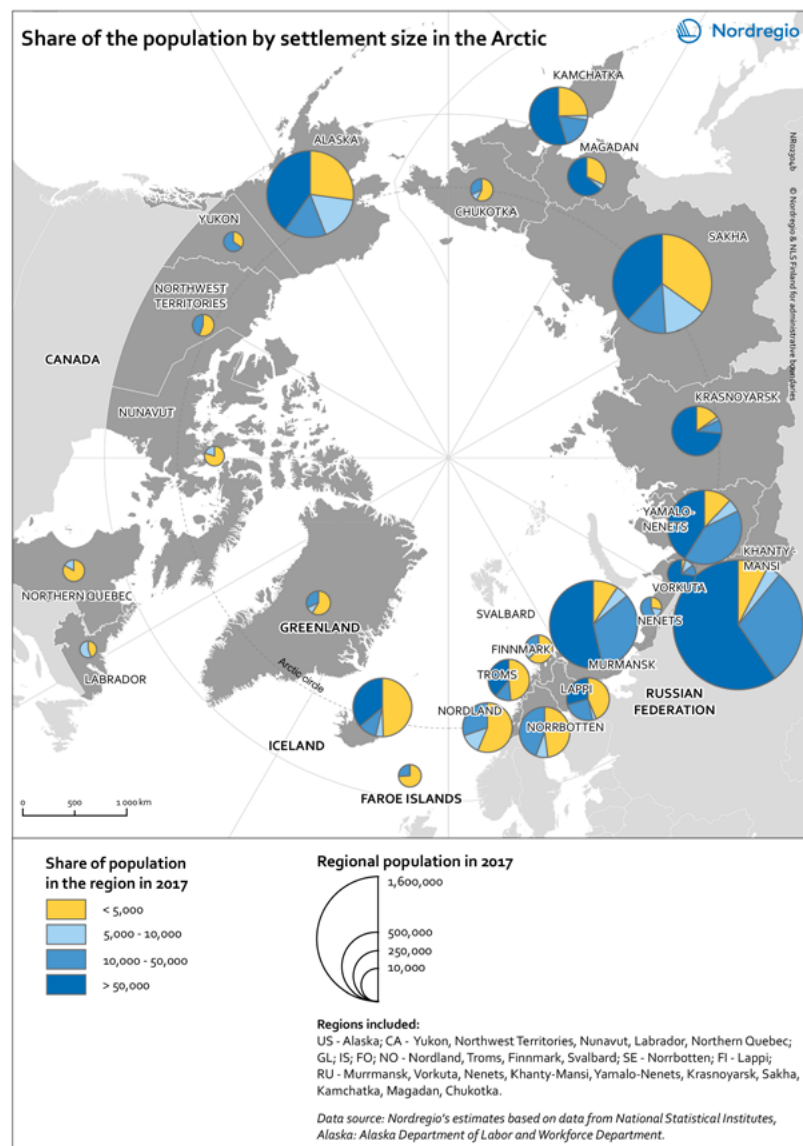
6. L. Junsberg et al., “Atlas of population...”.

7. AMAP, “AMAP Climate Change Update 2019: An Update to Key Findings of Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017”, *Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*, Oslo, Norway, 2019, 12 p.

8. AMAP, “Adaptation Actions for a Changing Arctic: Perspectives from the Baffin Bay/Davis Strait Region”, *Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*, Oslo, Norway, 2018, xvi + 354 p.

Figure 1

Share of the population by settlement size in the Arctic



Data source: National Statistical Institutes; Alaska: Department of Labor and Workforce. Map designer: Shinan Wang. Nordregio at www.nordregio.org

In addition, climate change is challenging Arctic peoples' way of life. The most serious effects can be negative impacts on peoples' health and well-being, which can appear as breakouts of infections or diseases. It can also pose a risk to food and water security, eventually resulting in a situation where toxic environmental contaminants appear.⁹ Overall, climate change with all new challenges and demands can have serious negative effects on mental health.¹⁰ All these new situations are mentally demanding to Arctic people. Changes require constant adaptation and can comprehensively affect peoples' lives and well-being, through Nature, living environment and living ways, economy, policy, health, culture and safety.¹¹

HEALTH AND WELL-BEING AMONG ARCTIC PEOPLE

The World Health Organization (WHO, 1946) defines health as follows: "Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity."¹² Therefore, a holistic description of health includes well-being and mental health. Further, the definition of mental health is: "Mental health is a state of well-being in which an individual realizes his or her own abilities, can cope with the normal

9. J. P. Dudley, E. P. Hoberg, E. J. Jenkins *et al.*, "Climate change in the North American Arctic: A One Health Perspective", *EcoHealth*, Vol. 12, 2015, p. 713-725. DOI: 10.1007/s10393-015-1036-1.

10. A. C. Willox, E. Stephenson, J. Allen *et al.*, "Examining relationships between climate change and mental health in the Circumpolar North", *Reg Environ Change*, Vol. 15, 2015, p. 169-182. DOI 10.1007/s10113-014-0630-z.

11. G. K. Hovelsrud, B. Poppel, B. van Oort *et al.*, "Arctic Societies, Cultures, and Peoples in a Changing Cryosphere", *Ambio*, Vol. 40, 2011, p. 100-110. DOI 10.1007/s13280-011-0219-4 ; A. C. Willox *et al.*, "Examining relationships between...".

12. Preamble to the Constitution of WHO as adopted by the International Health Conference, New York, 19 June - 22 July 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States (Official Records of WHO, No. 2, p. 100).

stresses of life, can work productively and is able to make a contribution to his or her community.”¹³

Mental well-being can be divided into two approaches: hedonic, which includes overall satisfaction on life; and eudaimonic, which can be seen as having an ability to function comprehensively in life, with self-esteem.¹⁴ All these definitions encompass the basic elements of life that are relevant in order to live a balanced, but individual life. The human being is a combination of physical, social, mental and spiritual well-being.¹⁵ Therefore, strict borders between elements can be inoperative, when investigating peoples' health and well-being. This is especially important to remember when investigating the health and well-being (and good quality of life) of Arctic people. Holistic health and well-being can be described, and one useful tool is a specific approach called “One Health.” It includes the joint health of humans, animals, plants and the environment. All elements are under the same umbrella¹⁶ (see Figure 2). This approach supports well the way of life of Arctic Indigenous people.

13. WHO (2014), Mental health: strengthening our response. Mental health, fact sheets. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-strengthening-our-response> (accessed 2 April 2020).

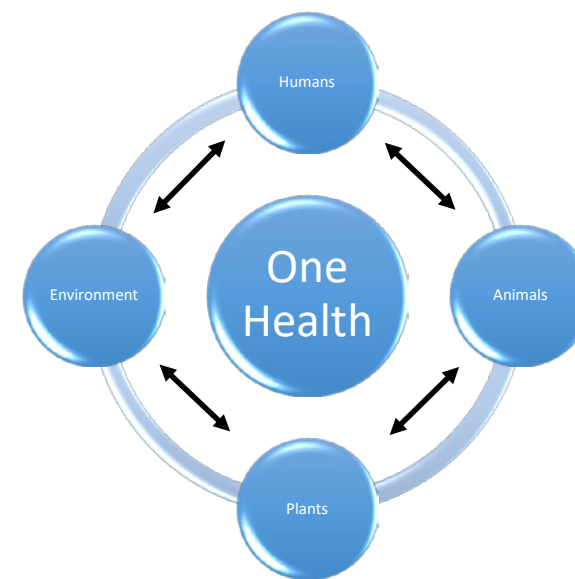
14. R. M. Ryan, E. L. Deci, “On happiness and human potentials: a review of research on hedonic and eudaimonic well-being”, *Annual Review of Psychology*, 2001, 52:141-166. doi:10.1146/annurev.psych.52.1.141

15. R. Rautio, B. Poppel & K. Young, “Human health and well-being”, in J. N. Larsen, G. Fondahl (eds.), *Arctic Human Development Report – Regional Processes and Global Linkages*, TemaNord, 2014:567, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, p. 297-338.

16. B. A. Ruscio, M. Brubaker, J. Glasser *et al.*, “One Health - a strategy for resilience in a changing Arctic”, *International Journal of Circumpolar Health* 74:1 (27913), 2015; C. Sonne, R. J. Letcher, B. M. Jenssen *et al.*, “A veterinary perspective on One Health in the Arctic”, *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2017, 59, art. 84.

Figure 2

Elements of the approach of “One Health”



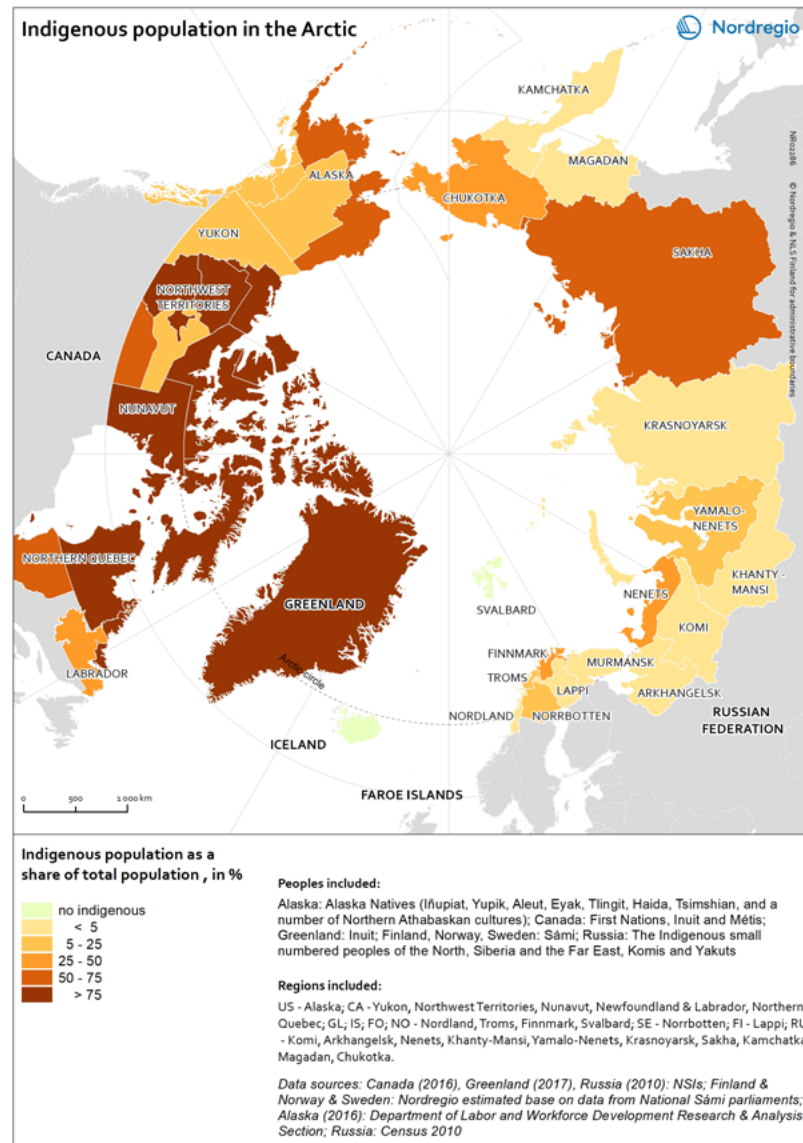
In the Arctic, the estimated total population of Indigenous people is about one million out of seven million living in the Arctic.¹⁷ (See Figure 3.) For Indigenous people, well-being represents good social relationships, but it also includes traditional culture, values and practices, which are an essential and natural part of individual life.¹⁸ Nature and one's connection to it is very important for Indigenous people. All these elements of well-being include a wide range of dimensions of life and represent a holistic description of well-being.

17. L. Junsberg, *et al.*, “Atlas of population...”.

18. Arctic Council Secretariat, *Keeping our traditions alive. Compendium of best practices in promoting the traditional ways of life of Arctic Indigenous people*, Arctic Council Secretariat, 2015.

Figure 3

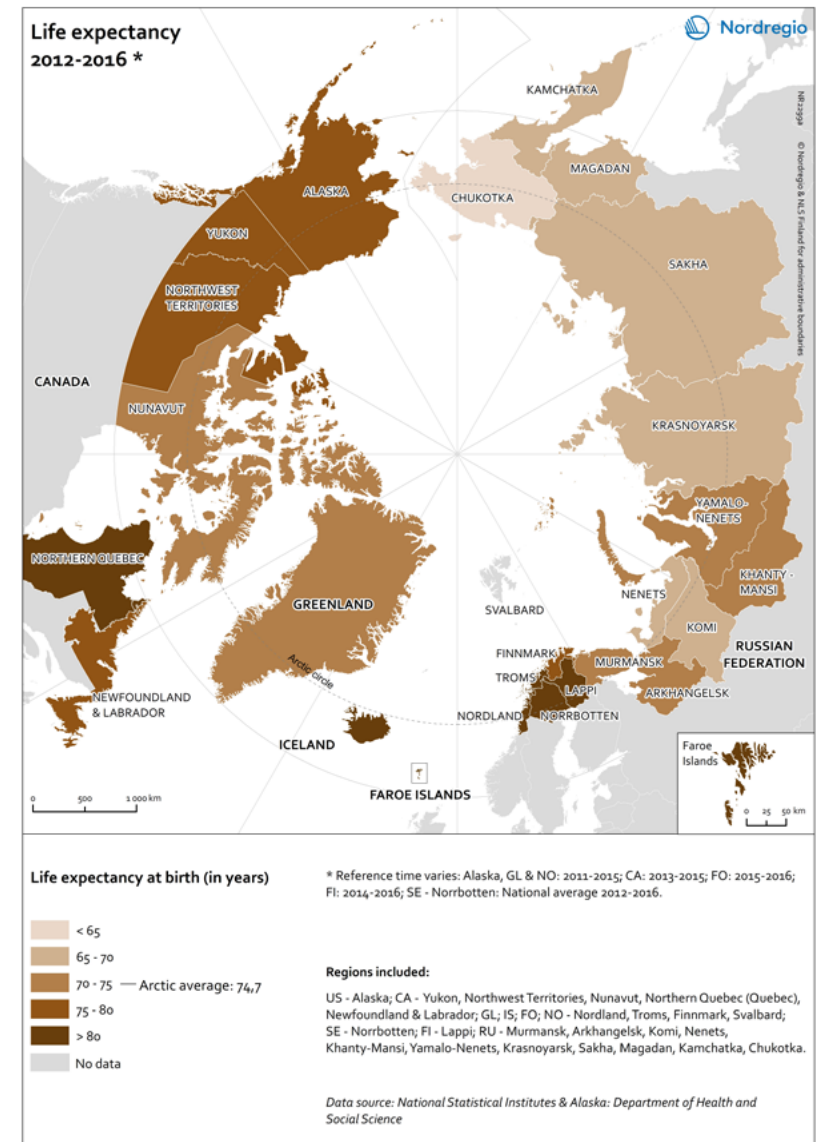
Indigenous population in the Arctic



Data source: National Statistical Institutes; Alaska: Department of Labor and Workforce; Finland, Norway and Sweden: Nordregio estimates based on data from National Sámi parliaments. Map designer: Shinan Wang. Nordregio at www.nordregio.org

Figure 4

Life expectancy 2012-2016



Data source: National Statistical Institutes; Alaska: Department of Health and Social Science. Map designer: Eeva Turunen. Nordregio at www.nordregio.org

Young and Mäkinen¹⁹ found that cold weather is one reason for higher mortality and high fertility rates among the Arctic population. The mortality rate among the Arctic population was 8.1 per 1000 inhabitants, and the fertility rate was 16.6 between the years 2013-2017. Further, the life expectancy of Arctic people was 74.7 years.²⁰ The life expectancy for Arctic populations is presented in Figure 4.

However, according to Emelyanova,²¹ the calculated life expectancy of all eight Arctic countries, not just northern provinces, was 80,1 years in 2015. For males it was 77,7 years and for females 82,6 years. In addition, rates between Arctic countries vary; they are not homogenous. Chukotka in Russia has the lowest rates, 59 years for men and 69 years for women,²² which is around 20 years less compared to the regions of the Faroe Islands, Iceland and Northern Norway and Finland.²³ Population health among Arctic inhabitants is not the same for all; in general Nordic countries have higher health rates.²⁴ Reasons for the differences affecting rates of life expectancy in the Arctic populations are related to factors that are connected to living habits, environment and economy, but also individual's possibility to use services and study.²⁵ Education is one of the main factors predicting health of the population, but mortality and fertility rates also predict health.²⁶ Education in Arctic populations is presented in Figure 5. When investigating health and well-being, all these associated factors need to be considered and addressed.

19. T. K. Young & T. M. Mäkinen, "The health of Arctic populations: Does cold matter?", *American Journal of Human Biology*, No. 22, 2010, p. 129-133. DOI 10.1002/ajhb.2096.

20. L. Junsberg *et al.*, "Atlas of population...".

21. A. Emelyanova, "Exploring the Future Population...".

22. A. Emelyanova, "Population projections of the Arctic by levels of education", Working Paper, Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2017.

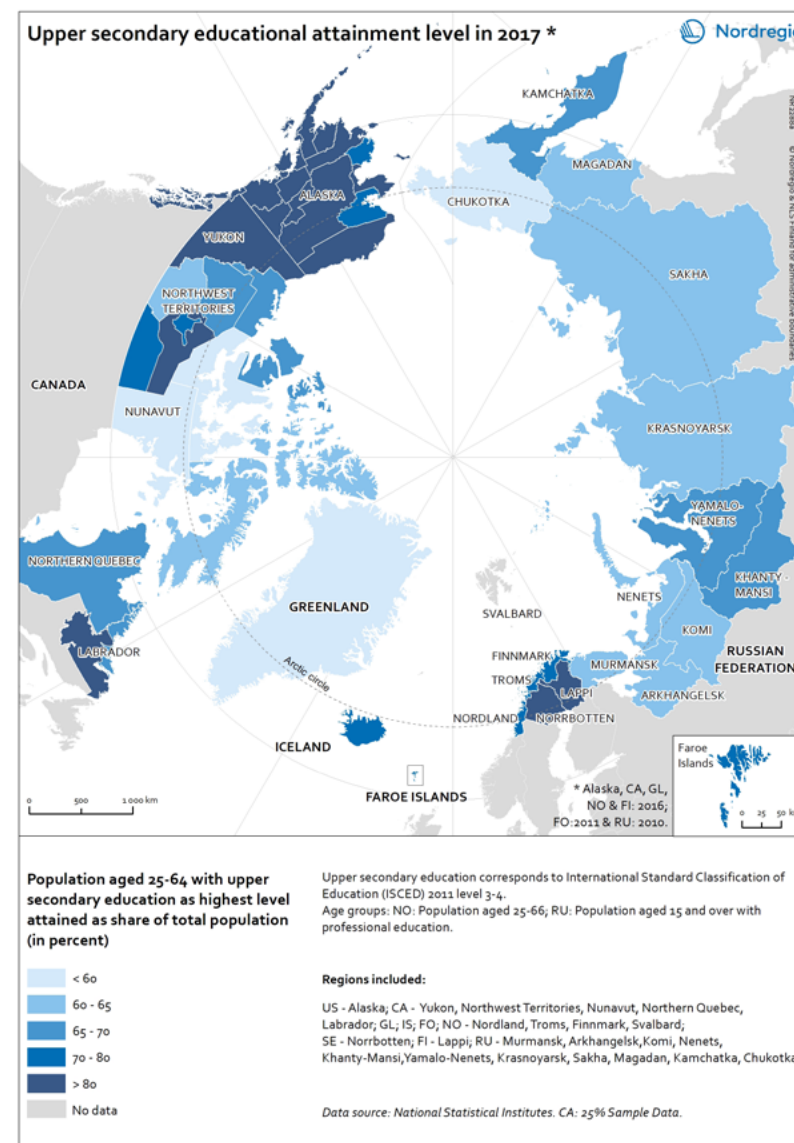
23. A. Emelyanova, "Exploring the Future Population...".

24. R. Rautio *et al.*, "Human health and well-being".

25. L. Junsberg *et al.*, "Atlas of population...".

26. A. Emelyanova, "Population projections...".

Figure 5
Upper secondary educational attainment level in 2017



Data source: National Statistical Institutes. Map designer: Eeva Turunen. Nordregio at www.nordregio.org

The Arctic population suffers from tuberculosis, and it is especially a problem in Greenland, Russia and Nunavut, Canada. In addition, sexually transmitted diseases are common in Greenland and lung cancer rates are higher in Greenland and Nunavut, Canada. Further, cardiovascular diseases are common problems in Russia and Scandinavian countries. Mental health problems are huge challenges among Arctic populations; suicides are high in many regions, especially Greenland and Canada,²⁷ and Indigenous people in particular suffer from high suicide rates all around.²⁸ There can be many reasons, such as a history of traumas, lack of traditional culture or feeling of being accepted, which are important for Indigenous people.²⁹ Traditional ways of life will support cultural identity and the feeling of control over one's life.³⁰

As many people live in rural areas in the Arctic, access to services varies. For example, in Greenland, health care clinics are utilizing tele-medical facilities in settlements that has over 50 inhabitants.³¹ Further, in Northern Canada and especially in remote communities, patient transportation via air is an important part of the healthcare system.³² Both elements are essential in order to maintain and provide health care for communities in

27. R. Rautio *et al.*, "Human health and well-being".

28. P. Bjerregaard & C. V. L. Larsen, "Time trend by region of suicides and suicidal thoughts among Greenland Inuit", *International Journal of Circumpolar Health*, Vol. 74, No. 1, 2015, 26053. DOI: 10.3402/ijch.v74.26053.

29. J. P. A. Stoor, G. Berntsen, H. Hjelmeland *et al.*, "If you do not birget (manage) then you don't belong here': a qualitative focus group study on the cultural meanings of suicide among Indigenous Sami in arctic Norway", *International Journal of Circumpolar Health*, Vol. 78, 2019, 1565861. DOI: 10.1080/22423982.2019.1565861.

30. Arctic Council Secretariat, "Keeping our traditions alive", *Compendium of best practices in promoting the traditional ways of life of Arctic Indigenous people*, Arctic Council Secretariat, 2015.

31. B. V.-L. Niclasen & G. Mulvad, "Health care and health care delivery in Greenland", *International Journal of Circumpolar Health*, Vol. 69, No. 5, 2010, p. 437-487. DOI: 10.3402/ijch.v69i5.17691.

32. T. K. Young, T. Tabish, S. K. Young *et al.*, "Patient transportation in Canada's northern territories: patterns, costs and providers' perspectives", *Rural and Remote Health*, Vol. 19, 2019, 5113. <https://doi.org/10.22605/RRH5113>.

rural Arctic.³³ Based on the research of Lankila, Näyhä, Rautio *et al.*,³⁴ health care visits increased (1.5-fold) among people living in urban areas more than 10 kilometers away from a health center, compared to people living within 2 kilometers of services in northern Finland. It was also found that educated people used less services than the less educated. Instead, higher use of services was found among women, single, divorced or widowed people, or people with children, people on parental or sick leave and people on retirement. In addition, people that self-reported poor health and had chronic or activity-limiting illnesses used more service.³⁵

RESEARCHERS AND LOCAL PEOPLE WORKING TOGETHER

For researchers, whose work is guided by larger research projects, it is essential to understand study participants' - or more specifically local people' - life and well-being, which is always connected to their living environment and conditions. It is important to understand the context in which the individual is living, and that they are experts of their own lives and living conditions. This same principle has been and still is guiding health care professionals while caring for individuals in the health care system: "Client-centered care" supports the client's own participation in the care and feeling of being heard with own values and needs. This participation between client and health professionals should be encouraged.³⁶ In research, the same principles can be found from a research methodology called "Participatory

33. T. K. Young, S. Chatwood, J. Ford *et al.*, "Transforming health care in rural communities: Report of an international conference", *BMC Proceedings*, Vol. 10, No. 6, 2016, 6. DOI: 10.1186/s12919-016-0006-0

34. T. Lankila, S. Näyhä, A. Rautio *et al.*, "Is geographical distance a barrier in the use of public primary health services among rural and urban young adults? Experience from Northern Finland", *Public Health*, Vol. 131, p. 82-91. doi: 10.1016/j.puhe.2015.10.020.

35. *Ibid.*

36. M. J. Barry & S. Edgman-Levitan, "Shared Decision Making - The Pinnacle of Patient-Centered Care", *The New England Journal of Medicine*, Vol. 366, No. 9, 2012, p. 780-781.

research” that includes participation and knowledge of researchers and local participants. Working together and interaction during the research process, between researchers and local participants, can be a learning process for all.³⁷

Local people are experts of their own lives and they have learned knowledge (Indigenous and local knowledge) and experience, which researchers usually do not have. On the other hand, researchers have scientific knowledge that local people might not have. This twofold situation requires ongoing interaction and cooperation, but also ethical reflection. This is particularly important considering that all the issues and changes caused by climate change often also holistically affect the lives of locals. The effects of climate change can be seen not only in nature or the living environment, but also in the economy, businesses, housing situation and infrastructure. Climate change may have a direct impact on an individual’s health, but it often can indirectly affect health and well-being. It is essential for researchers to understand the facts of challenges that local communities are facing. Adaptation is ongoing and can happen slowly, therefore it is important to find productive ways of cooperation and interaction.³⁸ It is essential to share valid information – it really can make a difference for local peoples’ health and well-being. If an individual does not have all relevant information, how could important and valid decisions be made? It is ethically responsible to share the results of research in a way that it is understandable for communities, and it is also one key principle of the participatory research approach.³⁹ Figure 6 summarizes this process.

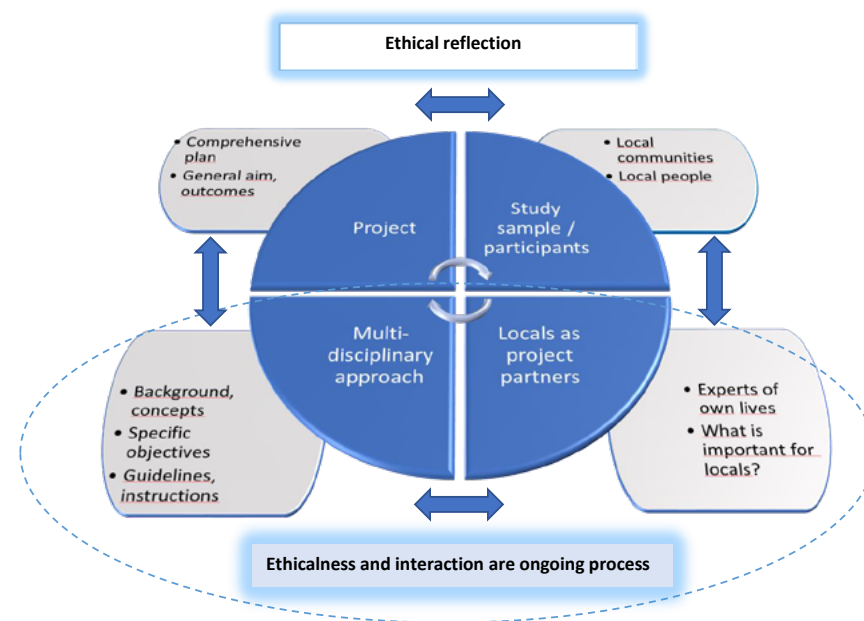
37. J. Bergold & S. Thomas, “Participatory Research Methods: A Methodological Approach in Motion”, *Forum: Qualitative Social Research*, Vol. 13, No. 1, 2012, p. 30.

38. T. V. Callaghan, O. Kulikova, L. Rakhmanova *et al.*, “Improving dialogue among researchers, local and indigenous peoples and decision-makers to address issues of climate change in the North”, *Ambio*, 2019. doi.org/10.1007/s13280-019-01277-9.

39. J. Bergold & S. Thomas, “Participatory Research Methods...”, *op. cit.*

Figure 6

Multidisciplinary research with locals and ethical reflection



Acknowledgements : This publication is part of the Nunataryuk project. The project has received funding under the European Union’s Horizon 2020 Research and Innovation Programme under grant agreement no. 773421.

**ADAPTATIONS OPÉRATIONNELLES
ET ÉVOLUTIONS CLIMATIQUES**

TRANSPORT MARITIME EN ARCTIQUE : FAUT-IL REDOUTER LES *POLAR LOWS* ?

Chantal Claud

RÉSUMÉ

La fonte de la banquise ouvre de nouvelles perspectives en termes de navigation, mais elle est aussi potentiellement génératrice de cyclones (*polar lows*). Pour le moment, il reste difficile de savoir si ceux-ci seront plus intenses dans le futur car ils restent mal représentés dans les modèles de climat. Ces cyclones se développent soudainement et ont un fort impact en termes de vents de surface – changements brusques de direction et de vitesse –, vagues, mais aussi givrage, fortes précipitations et visibilité extrêmement réduite. Le risque météorologique ne peut donc pas être ignoré à l'heure où de nouvelles voies maritimes pourraient s'ouvrir.

ABSTRACT

Sea ice melting opens up new perspectives in terms of navigation, but might also generate cyclones (*polar lows*). Today it is difficult to predict if the intensity of polar lows will increase in the future since they remain poorly represented in climate models. Those cyclones develop suddenly and have a strong impact in terms of surface winds – sudden changes in direction and speed, waves, but also icing, heavy precipitation and extremely reduced visibility. Therefore, this meteorological risk cannot be ignored at a time when new maritime routes could open up.

INTRODUCTION

Le changement climatique en Arctique – et plus spécifiquement la fonte de la banquise – ouvre de nouvelles perspectives en termes de navigation et d'exploitation des ressources. Les régions concernées sont toutefois sujettes à des événements météorologiques intenses, les *polar lows*. Ces cyclones qui se développent soudainement au-dessus des zones libres de glace ont une très faible prévisibilité. Avec le réchauffement climatique, ils pourraient se produire dans des zones épargnées jusqu'ici. Les conditions météorologiques très dégradées qu'ils génèrent amènent légitimement à s'interroger sur l'impact qu'ils pourraient avoir sur les nouvelles voies de navigation.

CARACTÉRISATION DE CES TEMPÊTES

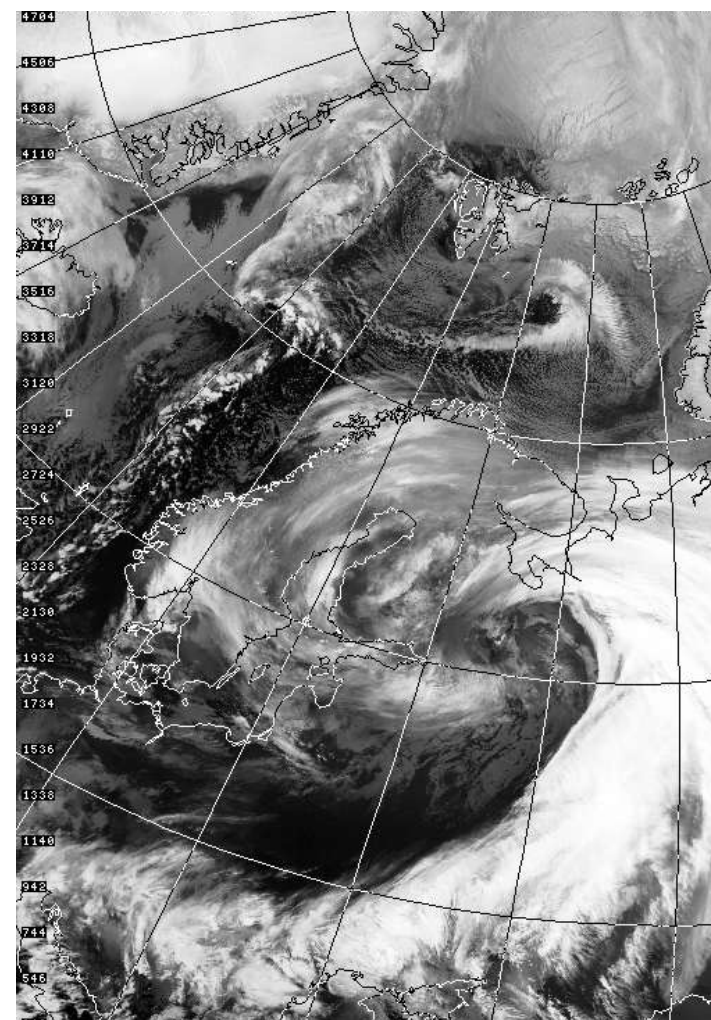
Les *polar lows* sont des perturbations intenses d'échelle horizontale relativement limitée (de 100 à 600 kilomètres, soit environ le dixième d'une dépression des latitudes moyennes, voir figure 1) et de durée de vie assez réduite (souvent inférieure à 36 heures).

Si les mécanismes qui gouvernent les dépressions de grande échelle dite synoptique sont aujourd'hui assez bien connus, et donc leur prévisibilité satisfaisante, il n'en va pas de même pour les *polar lows*. Ils se développent en effet en quelques heures dans des régions où l'on dispose de peu d'observations depuis le sol.

Ils se forment au-dessus de la mer libre, pour certains d'entre eux en bordure des zones de glace de mer, vraisemblablement en lien avec les forts gradients thermiques qui caractérisent ces régions. Si pendant longtemps, on a cru que seules les mers de Norvège et de Barents étaient propices à la formation de tels phénomènes, l'imagerie satellitaire a montré qu'ils pouvaient se produire dans d'autres régions de l'un et l'autre hémisphère. Avec la diminution de la couverture de banquise, des zones comme les mers de Chukchi, de Kara et d'Okhotsk voient maintenant se développer ce genre de tempêtes.

Figure 1

Exemple de *polar low* en mer de Barents le 1^{er} février 2015



Plus au sud apparaît un système dit synoptique, permettant d'apprécier la différence de taille entre ces deux tempêtes

Source : image satellitaire fournie par la station de réception de Dundee, GB

La conjugaison d'un certain nombre d'éléments au début des années 1980, à savoir la réalisation de campagnes scientifiques sur le terrain (citons notamment ACE : Arctic Cyclone Expedition, et l'Alaska Storm Experiment), l'initiation par les pays scandinaves du Norwegian Polar Lows Project, et les progrès réalisés dans les travaux de modélisation à méso-échelle, le tout sur fond d'exploitation des ressources pétrolières dans ces régions, avait relancé l'intérêt pour ces phénomènes. Or, l'étude de l'atmosphère aux hautes latitudes est fortement gênée par le manque de mesures *in situ* (quelques stations de radiosondage, bouées, bateaux). Ces mesures sont, de plus, aussi ponctuelles dans le temps que dans l'espace. En revanche, les observations satellitaires offrent une couverture spatiale et temporelle nettement plus adéquate, avec en particulier le recouvrement partiel d'orbites successives. Des progrès considérables ont été réalisés grâce à elles, les modèles climatiques ayant encore du mal à représenter correctement ces tempêtes.

ANALYSE CLIMATOLOGIQUE DES POLAR LOWS EN MERS NORDIQUES

Une étude visant à mieux caractériser la morphologie des *polar lows* (nombre, taille, trajectoire, vitesse de propagation) a été menée à partir d'une liste de cas en mers nordiques sur 20 hivers et de l'imagerie satellitaire. Alors que certaines années, seuls 5-6 *polar lows* se sont formés, d'autres hivers ont été caractérisés au contraire par plus de 20 cas. Au sein de l'hiver, le pic d'activité se trouve généralement entre novembre et mars. La variabilité interannuelle est importante : au mois de mars 2013, un grand nombre de *polar lows* (13) a été observé ; en 2007, aucun *polar low* ne s'était produit pendant ce mois. Novembre présente également une grande variabilité, avec des années à 6 *polar lows* et d'autres à zéro.

L'imagerie, notamment visible, a permis d'estimer la taille, la trajectoire et la durée de vie de *polar lows*. À maturité, cette taille varie entre 200 et 500 kilomètres. On a longtemps estimé leur extension verticale comme variant de 1 à 5 kilomètres, mais des

observations satellitaires récentes indiquent un sommet plutôt vers 7-8 kilomètres. Leur apparence varie depuis des structures très organisées (en forme de spirales ou de virgules) jusqu'à des amas nuageux relativement désorganisés.

La plupart des *polar lows* ont une durée de vie comprise entre 6 et 30 heures, avec quelques rares cas qui durent plus de deux jours. Leur vitesse de propagation varie en moyenne entre 6 et 12 m/s, mais on note une grande variabilité, y compris au cours de la vie même d'un *polar low*. La direction prise semble pour une grande part déterminée par la circulation de grande échelle de basse couche. Globalement, si la majorité des systèmes ont une direction sud-est, il n'en reste pas moins qu'environ 20 % d'entre eux se dirigent vers le nord, et 25 % vers l'ouest.

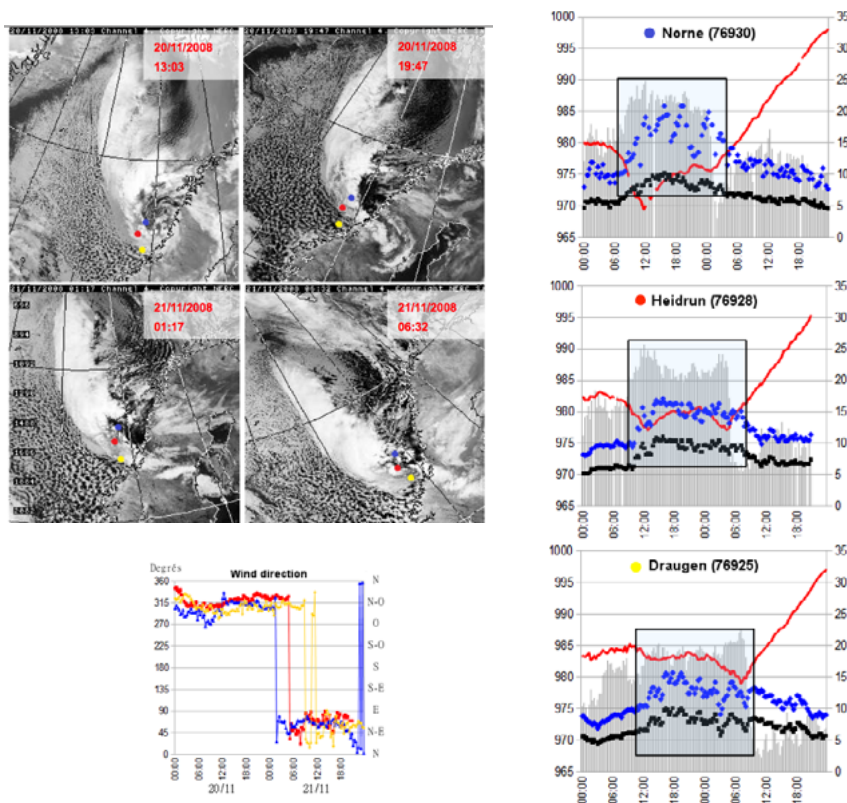
Les *polar lows* se produisent souvent par séquence. Cet aspect a été encore peu étudié, avec des publications qui traitent souvent du cas le plus creusé, sans se préoccuper des systèmes secondaires. Environ 30 % des cas de *polar lows* correspondent à des systèmes duaux (au moins deux vortex), la moitié de ceux-ci étant constituée d'au moins trois vortex. Ces *polar lows* multiples présentent sensiblement les mêmes caractéristiques que les autres *polar lows*, mais dans certains cas, ils interagissent les uns avec les autres, rendant leur prévision encore plus difficile.

LEURS IMPACTS

Ils ont été encore peu étudiés, puisque les *polar lows* atteignent leur creusement maximal en pleine mer, précisément là où les observations manquent. Au-delà d'études de cas, indiquant des vents très forts et des creux importants, une étude plus systématique a été réalisée récemment en croisant les trajectoires de *polar lows* avec les observations enregistrées par plusieurs plateformes pétrolières norvégiennes. Il en résulte qu'il existe une très grande variabilité dans les réponses en termes d'amplitude, mais que le facteur le plus à même d'impacter la navigation concerne les changements très brusques de direction et de vitesse du vent, systématiquement observés.

Figure 2

Images satellitaires du cas des 20-21 novembre 2008



Les points bleu, rouge et jaune indiquent les stations de Norne, Heidrun et Draugen respectivement. Sur le panneau de droite, sont représentées pour chacune des stations la pression de surface (hPa) en rouge, la vitesse des vents (m/s) en grisé, la hauteur significative des vagues (m), ainsi que leur hauteur maximale (m). On notera les différences de réponse entre les trois stations, pourtant géographiquement proches. Le panneau du bas à gauche montre les changements de direction des vents au passage du *polar low* avec une transition très soudaine de vents de nord-ouest à nord-est.

Par ailleurs, il n'est pas rare de rencontrer des hauteurs significatives de vagues de l'ordre de 5-6 mètres, dans les zones où le vent de surface est le plus fort. Dans certains cas, des valeurs de 9-10 mètres, associées à des vents supérieurs à 20 m/s, ont même été observées. Localement, des valeurs de l'ordre de 20 mètres ont été atteintes pour des cas particulièrement intenses (figure 2). D'une manière générale, les situations de *polar lows* multiples sont celles qui vont avoir l'impact le plus fort à la surface de l'océan en termes de vitesse de vent et hauteur de vagues (effet cumulatif).

Les *polar lows* affectent également la visibilité, mais aucune étude n'a été menée dans ce domaine. Les seules observations disponibles sont fournies par des stations au sol (pour les comtés de Troms et Finmark) et indiquent des variations extrêmement rapides, pouvant rendre les conditions de navigation périlleuses. Le givrage constitue une autre conséquence qui peut s'avérer dramatique en mer. On sait que les incursions d'air froid en provenance de la glace de mer, les averses de neige et les embruns, tout ceci par des températures très froides, favorisent ce processus. Or ces conditions sont présentes dans les cas de *polar lows*. Le givrage a été analysé pour un seul cas de *polar low*, très intense, qui s'est produit en mer de Barents en février 1987, et pour lequel des mesures et observations avaient été menées par un bateau à environ 250 kilomètres du centre de la tempête. Des épaisseurs de 20 centimètres de givre ont été reportées. Susceptible d'occasionner des chavirages, le givrage mériterait assurément une étude spécifique. Les fortes précipitations constituent un autre aspect peu connu et en lien avec les points précédents. Là encore, le manque d'observations a jusqu'ici empêché toute étude robuste.

LEUR PRÉVISION

La prévision à court terme de ces cyclones représente encore aujourd'hui un défi majeur, et ce pour plusieurs raisons. En tout premier lieu, les prévisionnistes disposent d'un temps très réduit puisque ce sont des phénomènes qui se développent de

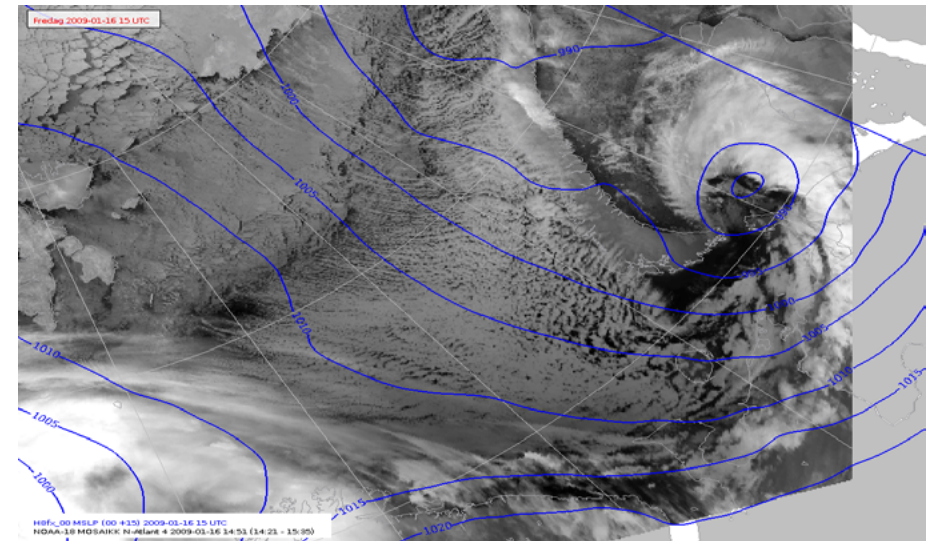
façon soudaine. En outre, la formation des *polar lows* intervient dans des régions où les mesures dites conventionnelles sont rares : typiquement, pour la mer de Norvège, une station à Jan Mayen, une autre à Hopen, et enfin une à l'Île aux Ours. Bien que l'imagerie satellitaire ait clairement amélioré la situation, il est toujours difficile de discerner si un amas nuageux va se développer et donner naissance à un *polar low*. Des études récentes ont cherché à déterminer les circulations atmosphériques typiques associées à de tels développements, en vue d'assister les prévisionnistes, mais ils doivent se reposer également sur les modèles numériques de prévision du temps. Or ceux-ci n'ont pas forcément une résolution horizontale suffisante pour bien représenter à la fois des zones de forts gradients, la limite entre la banquise et l'eau libre, la topographie, qui sont tous des facteurs importants pour la prévisibilité des *polar lows*. La rareté des observations conventionnelles déjà évoquée rend la question de la précision des conditions initiales cruciale, notamment en ce qui concerne la situation d'altitude, dont l'importance est aujourd'hui davantage reconnue. Certains processus déterminants dans le creusement ne sont pas nécessairement bien représentés. Ces éléments impliquent que si certains *polar lows* arrivent à être assez bien prévus à l'avance, d'autres le sont difficilement, sans que l'on en comprenne toujours bien les raisons.

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET POLAR LOWS

Un *polar low* a été observé pour la première fois au nord du Spitzberg le 8 janvier 2010 en lien avec l'absence de glace. De la même façon, on observe en mer de Barents, notamment en mars-avril, un nombre croissant de *polar lows*, dont certains dans des régions qui étaient autrefois prises par la glace ; les mers de Kara (figure 3), Chuchki et Laptev sont maintenant le siège de ce genre de phénomène, surtout en automne et à la fin du printemps.

Figure 3

Exemple de *polar low* au-dessus de la mer de Kara, 16 janvier 2009



Les contours bleus représentent la pression de surface, qui atteint 985 hPa.
Source : courtesy G. Noer, Météorologie norvégienne

Quelques études ont exploité les simulations réalisées dans le cadre du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) en vue d'estimer des tendances pour le siècle à venir. Les *polar lows* n'étant pas explicitement représentés, elles reposent sur l'analyse de champs à plus grande échelle dont on sait qu'ils sont susceptibles de favoriser ou, au contraire, d'inhiber le développement des *polar lows*. Elles concluent toutes à un déplacement moyen des *polar lows* vers des régions plus septentrionales, et observent que les régions plus au sud connaîtraient une stabilité statique plus grande en moyenne (et donc par déduction, verraient moins de *polar lows*). Elles ne sont pas en capacité d'informer sur les changements possibles d'intensité, qui est pourtant un aspect crucial pour les questions de navigation.

Remerciements : Je remercie tout particulièrement Maxence Rojo, et Gunnar Noer de la Météorologie norvégienne.

LA MARITIMISATION DE L'ARCTIQUE : RÉALITÉ ET PERSPECTIVES

Hervé Baudu

RÉSUMÉ

Avec le réchauffement climatique, l'espace Arctique devient de plus en plus accessible pour l'exploitation des ressources d'hydrocarbures jugées considérables, et de nouvelles routes maritimes se dessinent. La construction de navires de classe glace russes n'a jamais été aussi importante depuis quelques années. Les pôles vont-ils devenir une nouvelle zone de tension ou au contraire un nouveau Panama blanc reliant le Pacifique à l'Europe ? Existe-t-il pour autant une réelle course à l'appropriation de cette zone polaire et de ses ressources ? Nous verrons cependant que l'Arctique demeure un espace fermé, légitime et réglementé, qui favorise notamment le contrôle de la route maritime du Nord par la Russie.

ABSTRACT

With global warming, Arctic regions become more and more accessible for the exploitation of hydrocarbon resources – considered as considerable – and new maritime routes are emerging. The construction of Russian ice-class ships has never been more important in recent years. Will the poles become a new area of tension or, on the contrary, a new white Panama connecting the Pacific to Europe? Is there truly a race for the appropriation of this polar zone and its resources? Indeed, this article demonstrates that the Arctic remains a closed, legitimate and regulated space, which notably favours the control of the Northern Sea Route by Russia.

INTRODUCTION

Le pôle Nord se réchauffe 2 à 3 fois plus vite que le reste de la planète. Dans son dernier rapport d'octobre 2019, le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) avance qu'une augmentation de température atmosphérique de plus de 1,5°C d'ici à 2100 aurait pour conséquence la disparition complète de la banquise estivale. Depuis 1979, les relevés chroniques par satellites de l'extension et de l'épaisseur de la banquise attestent d'une diminution accélérée de la glace de mer. D'une extension maximale de 14 millions de km² fin mars, la fonte en été de la banquise dite annuelle ne représente plus qu'une superficie de 4 millions de km² fin septembre. La banquise pluriannuelle qui se concentre au nord du Groenland ne représente plus que 1,4 % de cette superficie. Elle était de 16 % en 1985. L'épaisseur moyenne de la banquise qui se reconstitue chaque hiver est passée de 3,59 mètres en 1975 à 1,25 mètre de nos jours.

Ce phénomène qui s'accélère laisse apparaître des zones de mer libres de glaces pratiquement six mois de l'année, notamment le long des côtes de la Russie. Cet espace est-il pour autant propice à l'exploitation des ressources d'hydrocarbures sous-marines devenues ainsi accessibles ? Existe-t-il réellement une course à l'appropriation de ces ressources, notamment par les pays asiatiques dont les besoins en hydrocarbures, pétrole comme gaz, sont vitaux ? Les routes maritimes polaires plus courtes qui se dessinent entre l'Asie et l'Europe ou l'Amérique du Nord deviennent-elles concurrentielles aux routes classiques qui empruntent le canal de Suez ? Cette perception géographique simpliste, trop souvent véhiculée, est loin de correspondre à la réalité.

L'ARCTIQUE : UN ESPACE FERMÉ

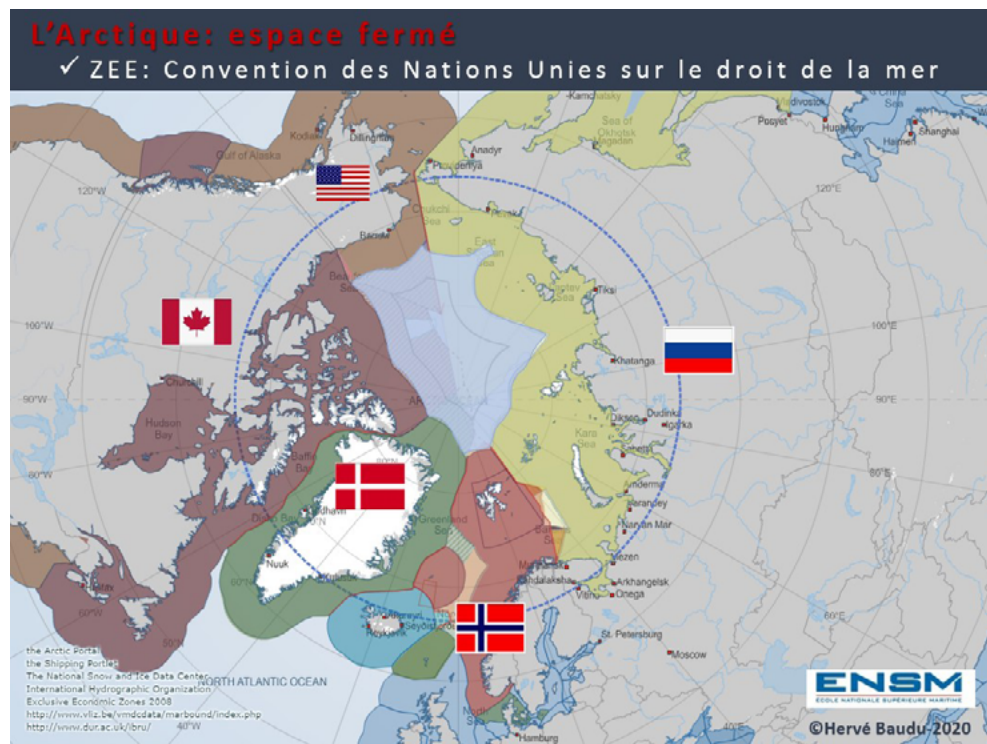
La zone Arctique est régie essentiellement par les lois maritimes de la Convention internationale des Nations unies sur le Droit de la mer¹ qui définit parfaitement la répartition de souveraineté des espaces maritimes. Les eaux intérieures et territoriales sont sous souveraineté de l'État côtier ; les ZEE, zones économiques exclusives (et le plateau continental sous-jacent) qui s'étendent à 200 milles, n'octroient que des droits souverains sur les ressources des sous-sols et de la colonne d'eau. Cette souveraineté peut même s'étendre dans certaines circonstances sur le sous-sol dans une limite de 350 milles. Les trois quarts des fonds sous-marins de l'océan Arctique sont donc la propriété des cinq pays qui le bordent, la Norvège au titre du Svalbard, le Danemark au titre de sa souveraineté sur le Groenland, le Canada, les États-Unis et la Russie, nommés les *Arctic 5* (figure 1). Selon les dernières études de l'Agence de géologie américaine (USGS) en 2008, l'Arctique détiendrait 10 % des réserves mondiales supposées de pétrole et 30 % de gaz non encore exploitées. Et les trois quarts de ces réserves supposées se situeraient dans les sous-sols des ZEE des États côtiers ; 60 % du gaz arctique reposerait même en ZEE russe.

Cette répartition ne laisse aucun doute quant à leur appartenance et exclut une exploitation libre sans le consentement de l'État riverain. Il n'existe pour l'instant, et cela demeurera à moyen terme, aucun projet d'envergure d'exploration de gaz ou de pétrole offshore dans les eaux couvertes de glaces. Les ressources terrestres, russes notamment, sont suffisamment conséquentes pour ne pas envisager une exploration en mer.

1. CNUDM ou UNCLOS signée en 1982 à Montego Bay en Jamaïque dite Convention de Montego Bay.

Figure 1

Zones économiques exclusives en Arctique



© Hervé Baudu, 2020

L'océan Arctique est le plus petit de la planète. En considérant qu'il est gelé la plus grande partie de l'année, il n'est en réalité accessible qu'à l'est par le détroit de Béring et contraint à l'ouest par la mer de Barents et la limite de la banquise. La circulation générale des courants et des vents arctiques favorise la libération des glaces le long des côtes sibériennes russes et augmente leur accumulation sur la partie nord-ouest de l'archipel canadien, notamment sur la route du passage du nord-ouest la plus directe par le canal de McClure qui reste encore inaccessible pendant l'été.

L'intérêt d'une route commerciale alternative est ainsi plus marqué sur la route maritime du Nord (RMN)², celle qui longe les 22 000 kilomètres de côtes russes (figure 2). La navigation dite de haute mer est libre dans les ZEE. Cependant, l'article 234 de la Convention de Montego Bay octroie toute la légitimité d'un État côtier à adopter et appliquer des lois et règlements non discriminatoires pour la prévention, la réduction et le contrôle de la pollution marine pour les navires transitant dans les eaux de la ZEE couvertes par les glaces.

Les deux pays qui possèdent le plus de littoral arctique, le Canada et la Russie, s'appuient sur cette règle pour exercer un contrôle strict sur le trafic maritime qui longe leurs côtes. Si le Canada s'évertue à ne pas développer les routes maritimes qui traversent son archipel du nord pour des questions essentiellement de préservation de l'environnement, la Russie en revanche met tout en œuvre pour promouvoir cette route maritime du Nord. Elle investit massivement pour la rendre attractive et sûre, ne serait-ce que, dans un premier temps, pour assurer le transit des navires de ses sites d'exploitation d'hydrocarbures vers l'Europe et l'Asie.

Politiquement, toutes les problématiques entre les pays de l'Arctique, à l'exception de celles des Affaires étrangères, de Défense et de sécurité, sont débattues au sein du Conseil de l'Arctique. Ce forum intergouvernemental, qui regroupe les cinq pays frontaliers de l'océan Glacial Arctique auxquels s'ajoutent l'Islande, la Suède et la Finlande (les *Arctic 8*) ainsi que les représentants permanents des peuples autochtones, est un lieu de discussion et non un organe décisionnel gouvernemental. Ce forum revendique le droit de régler les différends entre pays de l'espace arctique sans que les pays subarctiques aient à interférer. Cet équilibre entre un Conseil de l'Arctique qui permet aux peuples autochtones de s'exprimer et la liberté d'action souveraine des pays riverains convient pour l'instant à tous les acteurs. Les pays observateurs, et notamment les pays asiatiques portés par la Chine, souhaiteraient cependant plus de latitude d'expression.

2. RMN ou encore NSR *Northern Sea Route*.

Avec tous ces points évoqués, on peut ainsi qualifier l'Arctique comme un espace *de facto* fermé, réglementé et contrôlé, que ce soit notamment sur le plan de la gouvernance avec le Conseil de l'Arctique, sur celui de la navigation commerciale contrainte par la présence de la banquise et de l'article 234, ou dans le domaine de la propriété des ressources d'hydrocarbures des fonds marins dans la ZEE. L'Arctique est-il dans ces conditions un espace de transit maritime en devenir ?

LA ROUTE MARITIME DU NORD

À la lecture d'une carte, la route maritime du Nord (RMN) est la plus courte de 30 % par rapport à la route classique par le canal de Suez, à la seule condition que les ports desservis soient ceux de la Chine du Nord et de l'Europe du Nord. Certes, elle serait plus économique puisqu'un navire exploité sur cette ligne mettrait moins de temps à transiter entre ces deux destinations.

Néanmoins, cette route n'en demeure pas pour autant plus rapide. En effet, l'environnement arctique n'est pas si favorable au respect des horaires stricts de chaque escale du voyage indispensable pour ce type de transit « à temps ». Il est très difficile pour une compagnie de transport conteneurisé de réorganiser son trafic pour la seule période estivale alors que son modèle économique repose sur un transport massifié de navires qui peuvent transporter jusqu'à 23 000 conteneurs en un seul voyage.

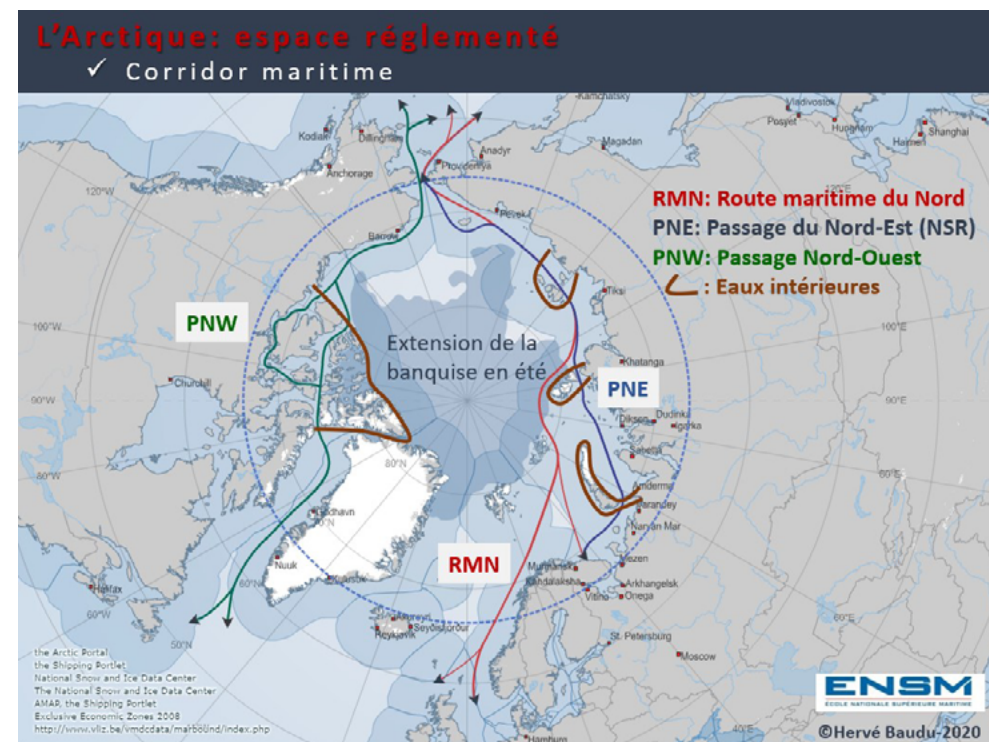
De nombreux facteurs rendent plus aléatoire le transit : les glaces dérivantes rencontrées imposent une vitesse réduite, le manque de moyens de communication et de positionnement sûrs, l'absence de cartes parfaitement hydrographiées, des passages de faibles profondeurs qui ne sont pas compatibles avec les tirants d'eau des navires de grande taille, des équipements spécifiques imposés par la réglementation du Code polaire, la disponibilité et l'obligation d'une escorte d'un brise-glace russe en fonction de la zone et de la classe glace du navire, les surprimes

d'assurances, la quasi-obligation d'utiliser du carburant désoufré beaucoup plus cher que le fioul lourd mais nécessaire pour la protection de l'environnement, etc.

Pour ces nombreuses raisons, trois des cinq plus grandes entreprises de transport de conteneurs dont la compagnie française CMA-CGM ont récemment annoncé ne pas vouloir transiter dans la région.

Figure 2

Routes maritimes arctiques



© Hervé Baudu, 2020

Le volume annuel de transits directs sur la RMN ne représente qu'une trentaine de navires par an pour un tonnage de 440 000 tonnes, soit le volume équivalent à une journée de trafic par le canal de Suez. À l'inverse, le trafic en vrac solide ou liquide sur cette même route, même s'il demeure modeste³, a atteint 31 millions de tonnes en 2019, soit une augmentation de plus de 40 % par rapport à l'année précédente. Ce volume est principalement lié à l'exportation des hydrocarbures et de minerais des sites d'extraction terrestres russes.

La péninsule de Yamal concentre la plus grande majorité des volumes exportés. Ce trafic dit « de destinations » repose en grande partie sur un trafic de tankers brise-glaces spécialisés qui naviguent toute l'année. En été, ces navires empruntent la RMN pour aller vers l'Asie ; en hiver, ils l'empruntent pour aller vers Mourmansk. Afin d'optimiser l'exploitation de ces navires conçus pour naviguer de façon autonome dans la banquise, des hubs de transbordement sont en cours de construction aux extrémités de la RMN, des tankers traditionnels assurant le reste du voyage vers leurs destinations finales.

Le développement de l'Arctique est une priorité pour le gouvernement russe. Un décret présidentiel de mai 2018 complété par une ordonnance ministérielle de décembre 2019 et par une loi en mars 2020 détaillent les objectifs du développement des infrastructures de la route maritime du Nord à atteindre en 2035.

Les investissements attendus sont colossaux. Construction de brise-glaces nucléaires, de ports ainsi que l'octroi d'allègement fiscaux sur tous les projets d'exploitation d'hydrocarbures terrestres, en péninsule de Yamal notamment : 216 milliards de dollars seront nécessaires pour rendre attractif et sécuriser cet espace arctique. Il s'agit de poursuivre la construction de nouveaux brise-glaces nucléaires dont les trois premiers de 60 KW, l'*Arktika*, l'*Oural* et le *Sibir*, sont en cours d'achèvement ou encore sur cales. Trois autres du double de puissance, la série *Lider*, seront construits pour assurer tout au long de l'année une escorte, quel que soit le type de

3. 430 millions de tonnes par an pour le canal de Suez.

navires ; mise en orbite de satellites d'observation et météorologiques, des centres de coordination de sauvetage, des navires de lutte contre la pollution, etc.

La société d'État Rosatom, spécialisée dans le secteur de l'énergie nucléaire, qui gère par l'intermédiaire de sa filiale Atomflot la flotte des brise-glaces nucléaires, s'est vu confier en 2018 la responsabilité du développement de la route maritime du Nord, l'objectif étant d'atteindre 80 millions de tonnes en 2024. Face à cet enjeu, les sociétés privées comme publiques russes bénéficieront de crédits d'impôts pour contribuer très largement au financement des infrastructures de la RMN. La Russie encourage les investisseurs étrangers à participer à son développement. Le financement des gigantesques projets gaziers de l'entreprise privée russe Novatek en péninsule de Yamal n'a été possible qu'avec les investissements déterminants des Chinois et des savoir-faire technologiques occidentaux comme Technip-FMC et Total.

TENSIONS SOUS-JACENTES

Ce développement économique n'est cependant pas exempt de tensions liées notamment par l'affirmation de souveraineté des pays forts de l'Arctique. Sous le prétexte d'assurer la sécurité de ses côtes, la Russie réactive ses bases militaires fortement armées sur les îles de Sibérie ou sur son littoral, sans toutefois atteindre le niveau de la guerre froide.

Face à ce déploiement de forces, les États-Unis viennent de réactiver leur 2^e flotte pour affirmer leur présence en Atlantique nord, et proche de la mer de Barents. Mais surtout, les Américains supportent difficilement la présence des Chinois dans l'Arctique.

La Chine ne veut pas se contenter d'un rôle de bailleur de fonds dans les projets russes. Sa politique expansionniste la pousse à s'affirmer comme pays « presque arctique ». Son projet de *Belt and Road Initiative* (BRI), Route de la soie à la fois maritime et terrestre, pousse l'Empire du milieu à investir dans tous les projets arctiques nécessaires à son expansion économique. Comme pour l'Inde ou le Japon, les ressources énergétiques de la

Russie et du Groenland leur sont indispensables. Les États-Unis considèrent leur présence dans cet espace arctique comme une ingérence dans les affaires des *Arctic 5*. Les propos très agressifs du président Trump qui a annoncé en août 2019 vouloir acheter aux Danois le Groenland démontre bien la volonté des États-Unis de tenir à l'écart le plus possible les Chinois des enjeux économiques de l'Arctique. Pour preuve, le retrait contraint de la Chine dans des investissements stratégiques au Groenland comme l'exploitation des terres rares ou dans le financement de l'extension de ses trois plus grands aéroports.

Alors, doit-on s'inquiéter de savoir comment réagiront, par exemple, les *Arctic 5* lorsque les Chinois viendront escorter sur la RMN leurs propres cargos avec leur brise-glace lourd à propulsion classique ou nucléaire, dont le projet est actuellement en cours de développement ? Une certitude cependant, la Russie se donne pour l'instant les moyens de développer et de rendre attractive cette route maritime du Nord dont dépend 15 % de son PIB. Dans un premier temps, et à échéance de cette nouvelle décennie, il s'agit surtout d'être en mesure d'assurer un transit régulier de ses exportations d'hydrocarbures toute l'année. Et dans un second temps, le transit à temps pourrait bénéficier de ces infrastructures mises en place si le marché est favorable.

L'ACCÉLÉRATION DU DÉGEL DU PERGÉLISOL : IMPACTS STRATÉGIQUES ET DÉFIS LOGISTIQUES CIRCUMPOLAIRES

Magali Vullierme

RÉSUMÉ

Le pergélisol, sol dont la température reste inférieure ou égale à 0°C pendant au moins deux années consécutives, modèle la majorité des régions arctiques. Conséquence directe du changement climatique, sa surface dégèle sur une période et sur une profondeur plus importante. Or, environ 3,6 millions de personnes vivent sur des zones de pergélisol. Par ailleurs, plus 70 % des infrastructures et 45 % des champs d'extraction d'hydrocarbures russes sont construits sur du pergélisol. Cette contribution dresse un panorama de l'enjeu stratégique circumpolaire que représente l'accélération du dégel du pergélisol en menaçant les populations et les infrastructures civiles et militaires des régions arctiques.

ABSTRACT

Permafrost, soil whose temperature remains below or equal to 0°C for at least two consecutive years, shapes most of the Arctic regions. As a direct consequence of climate change, its surface thaws over a longer period and at a greater depth. Approximately 3.6 million people live on permafrost. Furthermore, over 70% of Arctic infrastructures and 45% of the oil extraction fields are built on permafrost. This contribution provides an overview of the strategic circumpolar challenge caused by the acceleration of permafrost thaw, threatening populations and civil and military infrastructures of Arctic regions.

INTRODUCTION

Objet d'étude et objectif de l'article

L'auteure de cette contribution est rattachée au projet de la Commission européenne « Nunataryuk – dégel du pergélisol et évolution de la côte arctique, science pour l'adaptation socio-économique » (n° 773421, EU Horizon 2020). L'objectif global du projet Nunataryuk est de « déterminer les impacts du dégel du pergélisol intérieur, côtier et sous-marin sur le climat mondial et sur les populations dans l'Arctique et d'élaborer des stratégies d'adaptation et d'atténuation ciblées et conçues conjointement ». Ce projet est composé de dix groupes de travail avec des objectifs à la fois individuels et communs dans trois domaines interdépendants : sciences physiques, sciences sociales et activités d'intégration. Quatre zones sont étudiées au sein des travaux de recherche de Nunataryuk : la région de la mer de Beaufort, le Groenland, le Svalbard et la région de la Sibérie orientale.

L'auteure est chercheuse associée au laboratoire du CEARC (Université Paris-Saclay, UVSQ), qui fait partie du Groupe de travail n° 7. Ce groupe est chargé d'étudier l'impact du dégel du pergélisol sur les ressources naturelles, l'économie et la planification des collectivités côtières. Plus particulièrement, le CEARC étudie les impacts socio-économiques du dégel du pergélisol en Sibérie orientale¹. Cette contribution dresse un panorama circumpolaire des infrastructures menacées par l'accélération du dégel du pergélisol.

1. Pour une étude des perceptions locales liées à l'accélération du dégel du pergélisol en Sibérie orientale, voir : M. Vullierme, N. Dolioisio, M. Cordier, I. Nikulkina, V. Shadrin, J.-P. Vanderlinden, « Changement climatique et sécurité humaine en Sibérie : Perceptions et appréhension du dégel du pergélisol », *Espaces populations sociétés*, numéro spécial « Espaces et sociétés arctiques », Paris, soumis le 23 mars 2020.

LE DÉGEL DU PERGÉLISOL, UN ENJEU CIRCUMPOLAIRE

Sol composé de terre, de sédiments ou de roche, dont la température demeure inférieure ou égale à 0°C pendant au moins deux années consécutives, le pergélisol fait partie intégrante de la géologie des régions arctiques. Trois couches thermiques le composent : la couche active, en surface, gèle et dégèle en fonction des saisons ; le pergélisol *stricto sensu*, situé entre 3 à 15 mètres de profondeur, est lui aussi soumis aux fluctuations saisonnières mais reste théoriquement sous le point de congélation ; et enfin, la base du pergélisol qui n'est pas soumise aux fluctuations saisonnières. Le changement climatique a un impact direct sur le dégel de la couche active du pergélisol, qui se produit sur une période temporelle plus longue et à une profondeur plus importante².

Selon une étude de 2018, les trois quarts de la population arctique, soit environ 3,6 millions de personnes, vivent sur des zones de pergélisol³. Cela représente plus de 60 % des communautés arctiques, dont 46 % sont situées dans des zones côtières (figures 1 et 2).

Comme le montre la figure 1, le nombre de personnes vivant sur des zones de pergélisol intérieur ou côtier est inégalement réparti dans les sous-régions arctiques. Ainsi, la population de l'Arctique russe est la plus menacée par ce phénomène, qui touche ses régions arctiques et plus encore, ses régions subarctiques. Cela représente plus de 2 millions d'habitants, dont près

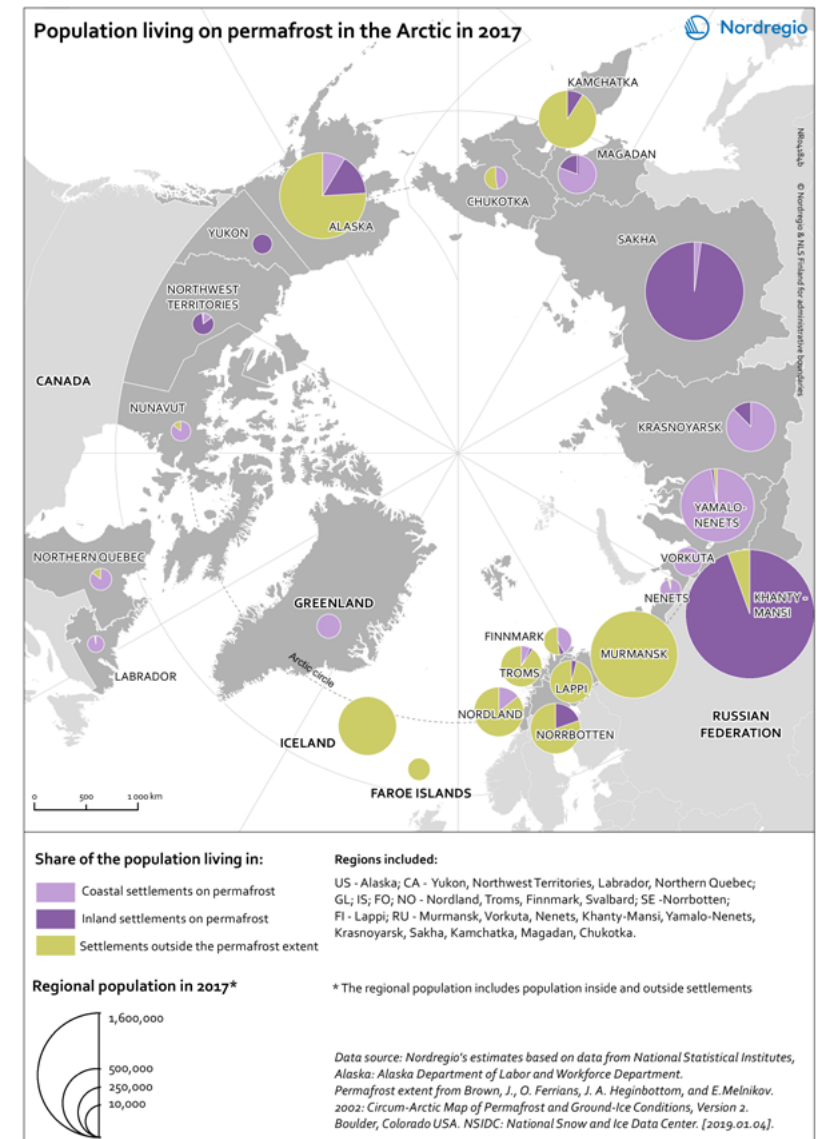
2. L. Junsberg, E. Turunen, T. Heleniak, S. Wang, J. Ramage & J. Roto, « Atlas of population, society and economy in the Arctic », *Nordregio Working Paper*, n° 3, Nordregio, Stockholm, Suède, 2019 ; Joan Nyman Larsen, Oleg A. Anisimov, Andrew Constable, Anne B. Hollowed, Nancy Maynard, Pal Prestrud, Terry D. Prowse et John M. R. Stone, « [Polar Regions](#) », in Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Presses universitaires de Cambridge, 2014, p. 1567-1612.

3. J. Hjort, O. Karjalainen, J. Aalto, S. Westermann, V. E. Romanovsky, F. E. Nelson, B. Eitzelmüller & M. Luoto, « Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century », *Nature communications*, 2018.

de 100 000 vivent dans des logements en situation critique. Ce dégel est donc un réel enjeu pour l'ensemble des communautés sibériennes arctiques et subarctiques. La ville de Yakutsk, située dans la zone subarctique de la République de Sakha-Yakutie (Fédération de Russie), en Sibérie orientale, est un bon exemple de cet enjeu⁴. Comptant un peu plus de 300 000 habitants, c'est une des plus grandes villes construites sur du pergélisol. Or, depuis les années 1970, près d'une vingtaine de bâtiments se sont effondrés en raison de la baisse de capacité de portage du sol – baisse directement liée à l'accélération du dégel du pergélisol. Ces effondrements ont lieu alors même que les deux tiers des bâtiments sont construits sur des pilotis en béton – pilotis utilisés dans tout l'Arctique circumpolaire pour isoler les habitations du sol et éviter le réchauffement de ce dernier. Pour tenter d'y remédier, des tubes réfrigérants (appelés « thermosiphons »), sont plantés à la verticale des pilotis. Absorbant l'air frais de l'extérieur, ce froid est ensuite injecté *via* un liquide refroidissant dans la couche active du pergélisol, le long des bâtiments. Cette technologie, également utilisée dans la péninsule de Yamal pour le site de gaz naturel liquéfié Yamal-LNG, aide à maintenir gelé ou à régler cette couche. Bien qu'efficace, cette technique est onéreuse et les budgets manquent. En 2019, 331 bâtiments étaient déclarés « inutilisables » par les autorités russes, et seulement 165 avaient été détruits, toujours par manque de moyens financiers. Dans d'autres États arctiques, la situation est également préoccupante. L'intégralité des communautés groenlandaises (pergélisol côtier) et une très grande majorité des communautés canadiennes et étasuniennes (pergélisol intérieur et côtier) sont concernées par l'accélération du dégel du pergélisol (figure 2). La situation de l'Islande et des pays nordiques est moins critique puisque qu'une très petite minorité de leurs populations vit sur des zones de pergélisol intérieur et côtier.

4. Développements tirés de : M. Delaunay & M. Vullierme, « Les défis des infrastructures face aux mutations de l'Arctique », in C. Escudé (dir.), *Les régions de l'Arctique*, Paris, Atlante, coll. « Clés concours », 2019.

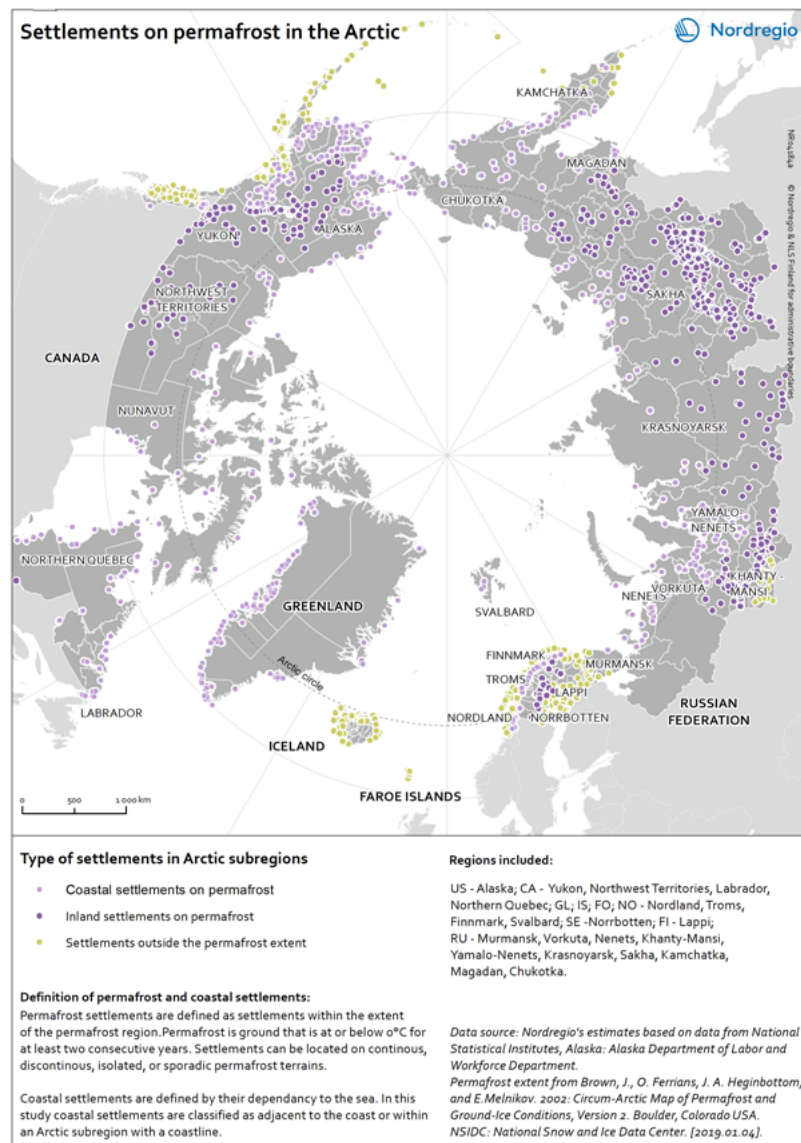
Figure 1
Population vivant sur des zones de pergélisol en 2017



Sources des données : Nordregio's estimates based on data from National Statistical Institutes; Alaska: Alaska Department of Labor and Workforce Department. Permafrost Extent from J. Brown, O. Ferrans, J. A. Heginbottom, and E. Melnikov. 2002: Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions, Version 2. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Cante. [2019.01.04]. Cartographe: Eeva Turunen. Nordregio at www.nordregio.org

Figure 2

Communautés construites sur des zones de pergélisol en 2017



Sources des données : Nordregio's estimates based on data from National Statistical Institutes; Alaska: Alaska Department of Labor and Workforce Department. Permafrost Extent from J. Brown, O. Ferrians, J. A. Heginbottom, and E. Melnikov. 2002: Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions, Version 2. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. [2019.01.04]. Cartographe: Justine Ramage. Nordregio at www.nordregio.org

Malgré une répartition inégale, les zones de pergélisol intérieur et côtier recouvrent une majorité des territoires arctiques (voir figure 2), menaçant, comme nous allons le voir, les infrastructures civiles et militaires.

UNE INÉGALE RÉPARTITION DES INFRASTRUCTURES ARCTIQUES

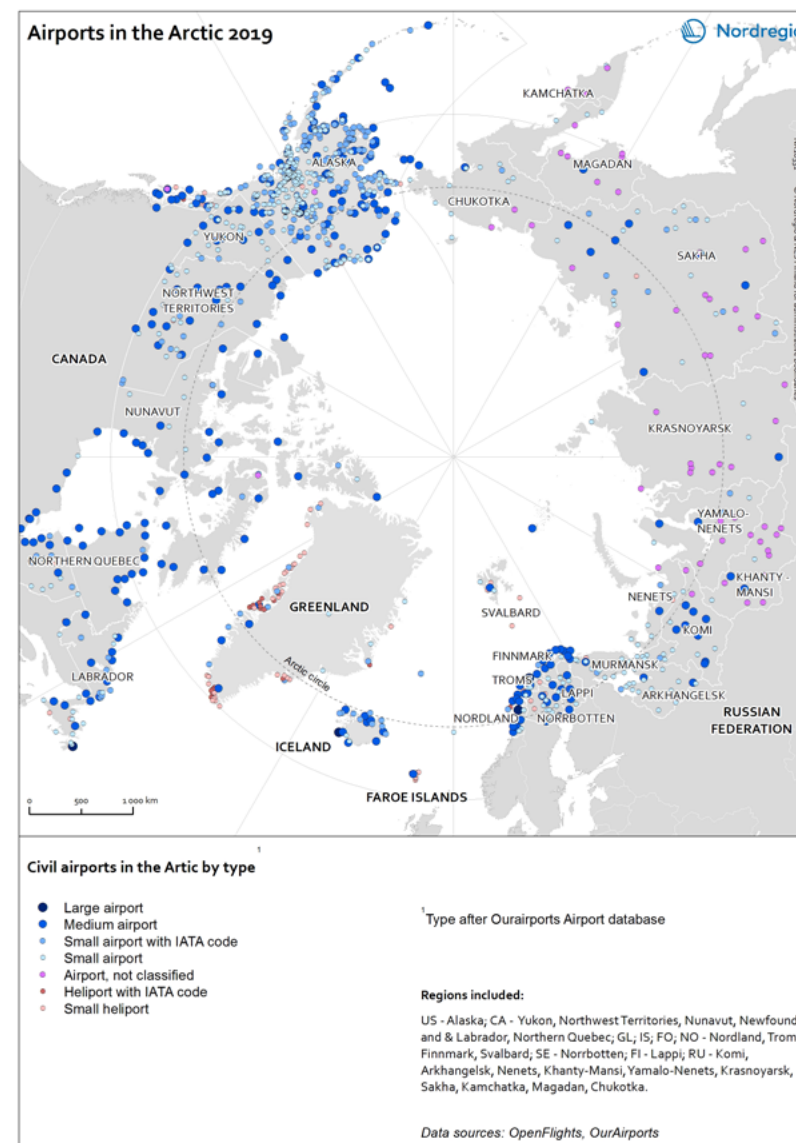
Les infrastructures arctiques sont inégalement réparties, comme le montrent les figures 3 et 4 qui cartographient les aéroports et réseaux routiers dans l'Arctique circumpolaire.

Dans l'Arctique nord-américain, l'Alaska dispose de nombreux aéroports de petites et moyennes tailles (figure 3) et d'un réseau routier conséquent (figure 4). Cet État bénéficie également de chemins de fer, de câbles sous-marins de télécommunications et de ports. Dans l'Arctique canadien, seul l'Inuvialuit, situé au nord du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest, possède un petit réseau routier. Le Nunavut, le Nunavik (nord du Québec) et le Nunatsiavut (nord de Labrador-et-Terre Neuve), ne disposent, eux, d'aucune infrastructure routière (figure 4) ou ferroviaire. Ces territoires ne sont accessibles en hiver que par avion. Chaque communauté de l'Arctique canadien possède donc son aéroport, ce qui explique que le réseau d'aéroports de taille moyenne soit autant développé (figure 3). Au Groenland, le réseau routier est également quasi inexistant (figure 4). La région la plus développée est celle de Kangerlussuaq, qui abrite le plus gros aéroport de l'île. L'ensemble des vols à destination et en provenance du Groenland transitant par Kangerlussuaq, l'aéroport a accueilli 11 000 vols en 2019. L'absence - ou la très faible présence - de zones de pergélisol en Islande, en Norvège, en Finlande et en Suède facilite la construction d'infrastructures, qu'elles soient aéroportuaires ou routières (voir figures 3 et 4). Enfin, l'Arctique russe est la zone qui attire actuellement le plus d'investissements pour la construction d'infrastructures. Comparé à l'Arctique canadien, l'Arctique russe n'est doté que d'un très faible nombre d'aéroports (figure 3). En revanche, les héliports sont bien plus nombreux, reflétant les pratiques différentes des deux

plus grands États arctiques. En effet, l'hélicoptère est le moyen de transport privilégié – par rapport à l'avion – dans l'Arctique russe car il nécessite des pistes d'atterrissage bien plus petites et plus faciles à entretenir. Si les infrastructures routières de la Russie (en particulier à l'ouest) et celles de l'Alaska sont les plus développées des régions arctiques (figure 4), il faut souligner qu'elles restent limitées par rapport à l'étendue de ces régions et il est rare qu'elles ne soient pas liées à des sites d'extraction de ressources naturelles (exploités ou convoités). Par ailleurs, la plupart de ces routes ne sont pas permanentes. Appelées « routes de glace », elles ne sont utilisables qu'en hiver. Enfin, même au sein de cette sous-région russe, une grande disparité existe entre certaines grandes villes.

L'accélération du dégel du pergélisol représente un risque logistique pour la construction et pour la maintenance de l'ensemble des infrastructures arctiques, qu'elles soient civiles ou militaires. En effet, une fois les défis techniques relevés pour la construction de nouvelles infrastructures (transport des matières, solidification du sol, construction sur pilotis, mobilité des travailleurs, etc.), la maintenance de celles-ci représente, elle aussi, un budget et une logistique considérables (utilisation de thermosiphons, renforcement des pilotis, remblais). Comme nous allons le voir, ces enjeux sont présents dans toutes les régions arctiques.

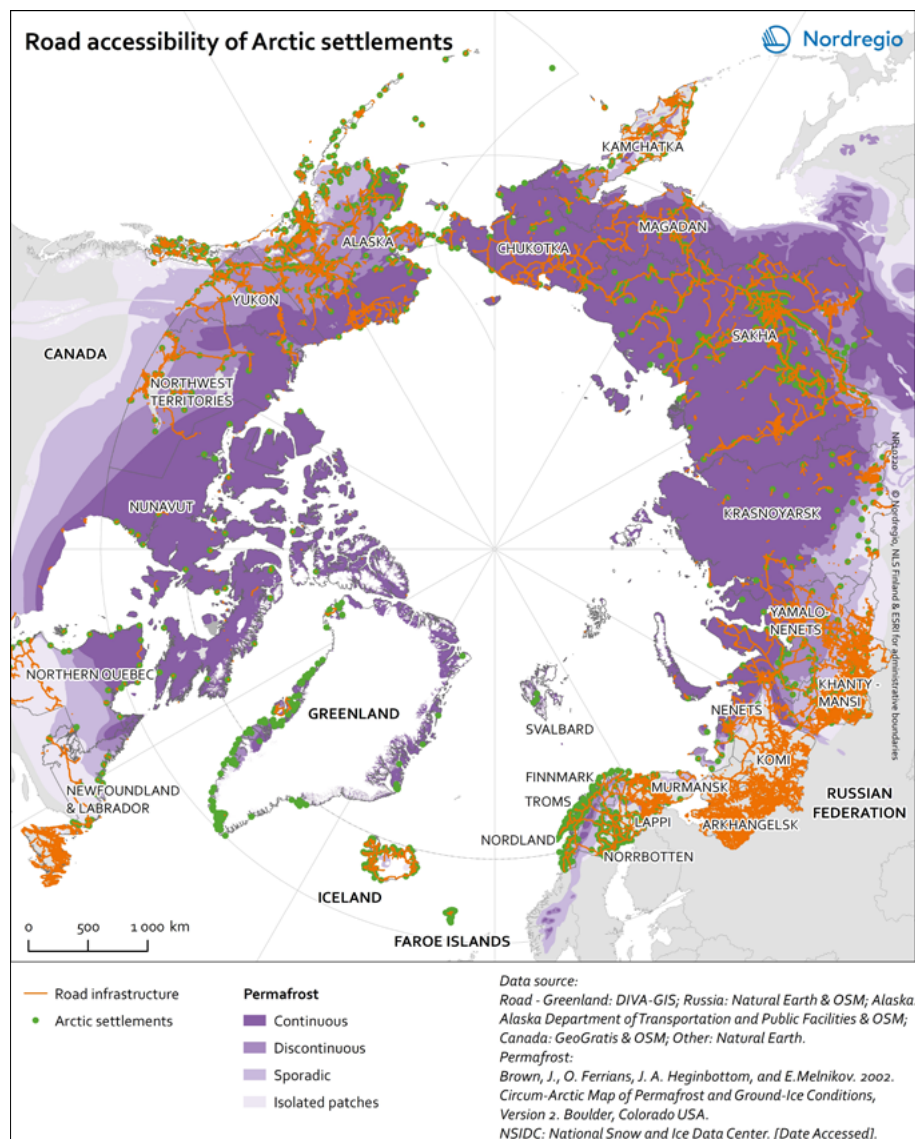
Figure 3
Les aéroports civils dans l'Arctique en 2019



Sources des données : OpenFlights, OurAirports Cartographe: Eeva Turunen. Nordregio at www.nordregio.org.

Figure 4

Le réseau routier dans l'Arctique



Sources des données : Road – Greenland: DIVA-GIS; Russia: Natural Earth & OSM; Alaska: Alaska Department of Transportation and Public Facilities & OSM; Canada: GeoGratis & OSM; Other: Natural Earth. Permafrost: J. Brown, O. Ferrians, J. A. Heginbottom, and E. Melnikov. 2002: *Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions, Version 2*. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. [2019.01.04]. Cartographe: Eeva Turunen. Nordregio at www.nordregio.org.

DES IMPACTS STRATÉGIQUES ET LOGISTIQUES CIRCUMPOLAIRES

Plus de 70 % des infrastructures arctiques⁵ et 45 % des champs d'extraction d'hydrocarbures de l'Arctique russe sont construites sur du pergélisol⁶. D'ici 2050, plus de 36 000 bâtiments, 13 000 kilomètres de routes et 100 aéroports feront face à un risque très élevé de dommages⁷. Ces dommages, directement liés à l'impact du dégel du pergélisol, ne se limiteront pas aux seules infrastructures routières et résidentielles, mais affecteront également les grands projets industriels, comme le site de Yamal-LNG en Russie et la TransAlaska Pipeline en Alaska. Nous avons relevé quelques exemples.

Tout d'abord, les pistes d'atterrissage et de décollage des aéroports sont soumises à de fortes fluctuations de température qui les modifient à chaque dégel et regel. Les pistes de l'aéroport de Kangerlussuaq, dont nous avons parlé plus haut, sont ainsi soumises à des écarts de température allant de -45°C à +25°C. Les premiers dommages sont apparus en 1973, lorsque la piste d'atterrissage s'est soulevée de 30 centimètres. Entièrement repavée en 1988-1989, de nouveaux affaissements ont été enregistrés peu de temps après. En 2006, une portion longue de 400 mètres s'était ainsi affaissée de 40 centimètres. D'autres études, menées en 2013, ont mesuré un tassement de 52 centimètres, et ont conclu à un affaissement de la partie ouest de la piste estimé à 2,6 centimètres par an. La maintenance de la piste représentant un coût financier trop important, la fermeture de l'aéroport de Kangerlussuaq a été annoncée fin 2019. Cet aéroport, pourtant central pour le réseau aérien du Groenland, sera fermé aux vols commerciaux en 2024. En revanche, il restera ouvert aux opérations militaires et aux activités de recherche et sauvetage. En effet, le ministère danois de la Défense a conclu un accord avec le gouvernement groenlandais pour l'utilisation de l'aéroport de Kangerlussuaq au-delà de 2024, son maintien en activité étant fondamental pour la présence militaire danoise sur

5. Voir L. Junsberg *et al.*, « Atlas of population... », *op. cit.*

6. J. Hjort *et al.*, « Degrading permafrost... », *op. cit.*

7. *Ibid.*

l'île. Par ailleurs, selon Peter Høgh, directeur des aéroports internationaux de Mittarfeqarfiit, la société qui gère les aéroports du Groenland, l'aéroport de Thulé, base aérienne américaine située dans le nord-ouest du Groenland, est dans une situation similaire à l'aéroport de Kangerlussuaq. La dégradation de l'aéroport de Thulé aura certainement des conséquences sur la logistique de cette base militaire américaine.

Le risque posé par l'accélération du dégel du pergélisol pour les infrastructures militaires a d'ailleurs été récemment souligné par le département de la Défense américain⁸. Dans sa Stratégie arctique du 7 juin 2019, le département de la Défense identifie ce dégel comme une menace pour la défense américaine en Alaska. Cette Stratégie souligne également que le manque actuel de compréhension de ces effets représente un réel désavantage en termes de planification pour les États-Unis. Plus particulièrement, le département de la Défense souligne les risques représentés par l'accélération du dégel du pergélisol et l'érosion côtière pour ses infrastructures existantes et pour le développement de nouvelles infrastructures. À ce jour, neuf bases militaires américaines sont implantées en Alaska. Or, quatre à six de ces neuf bases sont construites sur des zones de pergélisol. Les bases aériennes de Clear et Eielson et les forts Wainwright et Greely sont implantés dans des zones de pergélisol intérieur. La base Elmendorf et Fort Richardson, à Anchorage, sont à la frontière entre une zone de pergélisol côtier et une zone hors pergélisol. Seules les trois bases des Garde-côtes, implantées au sud des zones de pergélisol à Kodiak, à Valdez et à Juneau, ne semblent pas menacées par l'accélération de ce dégel. En parallèle de ce risque pour les infrastructures militaires américaines, cette Stratégie souligne également les menaces que ce dégel représente pour les communautés d'Alaska. Par exemple, la communauté de Shishmaref, 600 habitants, est en train d'être submergée par les eaux. Bien

8. M. Vullierme, « L'accélération du dégel du pergélisol en Alaska, une menace pour les infrastructures militaires », *Les carnets du temps*, CERPA, Paris (à paraître en 2020).

qu'elle ait voté à trois reprises sa relocalisation dans les terres, cette communauté n'a pas les moyens financiers d'y procéder, le coût de la relocalisation ayant été estimé à 179 millions de dollars.

Enfin, ce dégel touche également les infrastructures routières. Comme précisé plus haut, la grande majorité des routes des régions arctiques sont des « routes de glaces », praticables en hiver. La construction d'une route permanente représente des défis opérationnels lourds et coûteux, comme l'illustre la construction de la route de Tuktoyaktuk. Appelée la Inuvik-Tuktoyaktuk Highway (ITH), elle est la première route « tout-temps » allant jusqu'à la côte canadienne. Ce projet de 300 millions de dollars canadiens a été approuvé en 2013 et sa construction a débuté en 2014. Inaugurés le 15 novembre 2017, ces 138 kilomètres de route permettent de relier en voiture Inuvik et Tuktoyaktuk en 2 h 30, avec une vitesse limitée à 70 km/h. La construction de l'ITH a présenté de nombreux défis. Le pergélisol étant impraticable pendant toute la période du dégel, les travaux ont donc été entrepris pendant les sept ou huit mois d'hiver. Plus de 600 personnes ont travaillé 24 heures sur 24, dans des températures allant de -15 à -57 degrés. Pour permettre la continuité de la route, huit ponts (d'une durée de vie estimée à 75 ans) ont été construits. L'entretien de la route représente également une lourde organisation logistique. Trente à quarante employés sont affectés en permanence à sa maintenance, avec un budget d'entretien annuel estimé à 1,7 million de dollars. En mai 2018, quelques mois seulement après son inauguration, l'ITH a dû être fermée à cause d'un dégel trop important du pergélisol qui a nécessité de remblayer la route à plusieurs endroits.

CONCLUSION

Ces quelques exemples illustrent bien les défis logistiques et les budgets à engager pour la construction et la maintenance des infrastructures dans les sous-régions arctiques. Bien que les zones de pergélisol ne soient pas également réparties dans

ces sous-régions, l'accélération de son dégel aura des répercussions pour l'ensemble des États arctiques. À ce jour, les solutions pour faire face à ce phénomène restent restreintes et, lorsqu'elles existent, coûteuses. Bien souvent, la seule solution est de délocaliser ou de fermer les infrastructures détruites. Enjeu stratégique circumpolaire, ce phénomène présente des risques opérationnels et des défis logistiques multiples qui menacent l'ensemble des populations et des infrastructures civiles et militaires des sous-régions arctiques.

LES AUTEURS

Hervé Baudu, professeur à l'École nationale supérieure maritime qui forme les officiers-ingénieurs de la Marine marchande, enseigne les sciences nautiques sur le site de Marseille. Spécialiste de la navigation dans les glaces, il collabore régulièrement aux travaux sur le sujet à l'OMI et comme expert auprès du ministère des Affaires étrangères, de la Direction des Affaires maritimes et de la Marine nationale.

Patrice Bretel est directeur à la Stratégie et à l'Innovation de l'Institut polaire français - IPEV où il est entré en 2016 en tant que directeur technique. Il a une longue expérience de la logistique et des infrastructures polaires arctiques et antarctiques. Ingénieur de recherche au CNRS depuis 2008, il a travaillé sur les risques côtier et hauturier. Ses co-auteurs, Dominique Fleury et Serge Drapeau travaillent également à l'IPF-IPEV, à la Logistique arctique.

Chantal Claud est directrice de recherche au CNRS, Laboratoire de météorologie dynamique, École polytechnique. Une part importante de ses recherches porte sur la dynamique atmosphérique en région polaire, notamment les *polar lows*. Elles s'appuient essentiellement sur une optimisation de l'utilisation de l'observation satellitaire, et une collaboration avec la Météorologie norvégienne.

Arja Rautio, MD, PhD, VP Research UArctic, Professor, Thule Institute and Faculty of Medicine, University of Oulu, Finland. Her research interests are health and well-being, ethics, and One Health and climate change in the Arctic.

Ulla Timlin, RN, PhD, postdoctoral researcher, Arctic Health, Faculty of Medicine, University of Oulu, Finland. Her research interests are mental health and well-being, especially of children, youth, and families, and climate change in the Arctic.

Florian Vidal, docteur en science politique, est chercheur à l'IFRI et chercheur associé au Laboratoire interdisciplinaire des énergies de demain (UMR 8236), Université de Paris. Ses travaux ont

porté sur les relations entre la Norvège et la Russie dans l'espace arctique. À présent, ses intérêts de recherche se concentrent principalement sur les questions environnementales, y compris les enjeux miniers dans les zones reculées.

Magali Vullierme est docteur en science politique. Elle travaille sur les changements climatiques, et notamment sur le dégel du pergélisol arctique. Dans ce cadre, elle est rattachée au laboratoire CEARC (Culture, environnement, Arctique, représentations, climat) et au projet européen Nunataryuk (<https://nunataryuk.org/>). Elle bénéficie d'un contrat postdoctoral de l'IRSEM depuis novembre 2018. Sa thèse, intitulée « Les Rangers et les Rangers Juniors canadiens : vecteur de sécurité humaine des Inuit canadiens », propose une étude des relations entre membres allochtones et autochtones des patrouilles de Rangers. Elle a effectué plusieurs terrains dans l'Arctique, dont certains avec les patrouilles de Rangers canadiens au Nunavik et au Nunavut.

RÉALITÉS OPÉRATIONNELLES DE L'ENVIRONNEMENT ARCTIQUE

APPROCHES TRANSDISCIPLINAIRES ET TRANSSECTORIELLES DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES SOUS-RÉGIONS ARCTIQUES

Dr Magali Vullierme (dir.)

Dans un contexte de changement climatique, les régions arctiques sont souvent décrites comme de nouveaux théâtres d'exploration, d'exploitation ou encore de résurgence du risque militaire. Toutefois, ces potentielles évolutions ne peuvent être considérées qu'au regard de la réalité de l'environnement arctique : climat hostile, distances entre communautés, absence d'infrastructures constituent autant de facteurs à prendre en compte. Afin d'illustrer cette complexité, cette étude collective propose une réflexion transdisciplinaire et transsectorielle, axée sur les impacts du changement climatique dans les sous-régions arctiques. Elle réunit les contributions d'experts de terrain – chercheurs ou logisticiens – autour de problématiques diversifiées mais complémentaires. Défis logistiques pour la recherche scientifique et l'exploitation des ressources, impacts sur la santé physique et mentale des populations locales, augmentation des risques maritimes, modification de la navigabilité ou risques pour les infrastructures civiles et militaires, cette étude propose un panorama de certains enjeux opérationnels de l'environnement arctique. Tirées d'expériences de terrain, de travaux de recherche, ou des deux, ces contributions illustrent la complexité d'un environnement impacté par le changement climatique. Elles visent également à amorcer un échange d'expérience entre ces milieux très cloisonnés afin, peut-être, de concourir de façon plus collective à une réflexion autour de ces enjeux.