



Coming together in the study of a changing Canadian Arctic.

ᐱᓄᓐᓄᓐ ᐱᓄᓐᓄᓐ ᐱᓄᓐᓄᓐ ᐱᓄᓐᓄᓐ ᐱᓄᓐᓄᓐ ᐱᓄᓐᓄᓐ ᐱᓄᓐᓄᓐ.

Travailler ensemble à l'étude de l'Arctique canadien de demain.





TABLE DES MATIÈRES



Avant-propos	8	Le dégel du pergélisol modifie l'environnement naturel et requiert une infrastructure plus adéquate	24
Introduction	10	Les écosystèmes de fjord changent à la suite d'une réduction de la surface et de la durée du couvert de glace de mer	25
Synthèse « de la science aux politiques publiques » de l'étude intégrée d'impact régional (IRIS) de la région du Nunavik-Nunatsiavut		Le Nunatsiavut et le Nunavik ont commencé à protéger leurs territoires et ils planifient de continuer à le faire	26
Processus de rédaction	14	Conclusion	27
Introduction	15	Synthèse « de la science aux politiques publiques » et recommandations	28
Principaux résultats		Chapitre 1. La péninsule du Nunavik et du Nunatsiavut : un territoire inuit	31
Changements climatiques et modernisation	16	1.1 Introduction	32
Le Nunavik et le Nunatsiavut subissent un réchauffement rapide	17	1.2 Les communautés dans leur milieu naturel	32
Les Inuits du Nunavik et du Nunatsiavut ont une espérance de vie de 10 ans inférieure à celle de la plupart des Canadiens	18	1.3 Contexte socioéconomique	38
Un grand nombre de familles inuites avec des enfants vivent de l'insécurité alimentaire	19	1.4 Plans régionaux d'aménagement du territoire	47
La population des troupeaux de caribous décroît en nombre	20	1.5 Conservation et développement industriel possible	51
L'omble chevalier est une importante source de nourriture qui est menacée par le réchauffement climatique	21	1.6 Conclusions	54
La végétation et la production de petits fruits sont affectées par le réchauffement climatique	22	1.7 Références	55
Les ressources en eau sont affectées par les changements climatiques. Maintenir une eau potable de qualité dans les communautés est un défi	23		

Chapitre 2. Variabilité et changements climatiques dans la péninsule du Nunavik et du Nunatsiavut (IRIS de la région subarctique de l'Est du Canada)57

2.1 Introduction59
2.2 Observations et informations climatiques....60
2.3 Le climat du Nunavik et du Nunatsiavut.....61
2.4 Projections des changements climatiques81
2.5 Sommaire et conclusions.....86
2.6 Remerciements88
2.7 Références88

Annexe A. Projections des changements climatiques au Nunavik et au Nunatsiavut pour 205096

I. Introduction96
II. Méthodologie96
III. Choix et définition des variables98
IV. Résultats100
V. Références113

Chapitre 3. Enquête sur la santé et au-delà: Le Nunavik et le Nunatsiavut.....117

3.1 Introduction.....118
3.2 Indicateurs de l'état de santé de la population.....119
3.3 Résultats des enquêtes sur la santé des Inuits122
3.4 Conclusion.....133
3.5 Références134

Chapitre 4. Les ressources en eau douce dans un milieu en changement.....139

4.1 Introduction140

4.2 Les répercussions climatiques sur les écosystèmes d'eau douce du Nord140
4.3 Les milieux protégés – Les parcs146
4.4 La pollution chimique146
4.5 Les réserves d'eau potable148
4.6 L'hydroélectricité150
4.7 Conclusions et recommandations.....152
4.8 Remerciements.....154
4.9 Références154

Chapitre 5. Les impacts des changements climatiques sur la sécurité alimentaire au Nunavik et au Nunatsiavut.....159

5.1 Présentation des systèmes alimentaires du Nunavik et du Nunatsiavut.....160
5.2 La récolte fait encore partie importante de la vie au Nunavik et au Nunatsiavut.....160
5.3 Contributions des aliments traditionnels ou sauvages à l'état de santé162
5.4 La sécurité alimentaire au Nunavik et au Nunatsiavut.....163
5.5 Les impacts des changements climatiques sur la sécurité alimentaire.....164
5.6 Les effets des tempêtes, des déplacements et de la sécurité sur l'accessibilité alimentaire.....165
5.7 Les changements climatiques et la qualité des aliments traditionnels ou sauvages167
5.8 Conclusions.....168
5.9 Références170

Chapitre 6. Le pergélisol et les changements climatiques au Nunavik et au Nunatsiavut : importance en matière d'infrastructures municipales et de transports175

6.1 Introduction176

6.2	Le pergélisol : contexte scientifique.....	176
6.3	Impacts du réchauffement climatique sur le pergélisol	178
6.4	Impacts de la dégradation du pergélisol sur les infrastructures	182
6.5	Conclusions.....	198
6.6	Références.....	199

Chapitre 7. L'omble chevalier dans un climat en changement : prédire les répercussions possibles des changements climatiques sur une espèce nordique de valeur

7.1	Introduction : considérations d'ordre général sur les répercussions possibles des changements climatiques	206
7.2	L'omble chevalier et les répercussions des changements climatiques : prédictions et lacunes de connaissances	207
7.3	Projets de gestion et recherche en cours au Nunavik	218
7.4	La santé des populations d'omble chevalier	221
7.5	Conclusion.....	223
7.6	Références	225

Chapitre 8. Évolution dynamique de la végétation et ses répercussions sur la productivité des petits fruits

8.1	Introduction.....	232
8.2	Expansion des arbres et des arbustes érigés	233
8.3	Productivité, abondance et croissance des arbustes à petits fruits	243
8.4	Suivi communautaire	249
8.5	Conclusions et recommandations.....	251
8.6	Références.....	252

Chapitre 9. La dynamique des troupeaux de caribou : impacts des changements climatiques sur la récolte sportive et traditionnelle

9.1	Importance du caribou pour la récolte traditionnelle et la chasse sportive	260
9.2	La dynamique des troupeaux de caribou.....	261
9.3	Impacts des changements climatiques prévus sur la dynamique des troupeaux.....	266
9.4	Modélisation de la dynamique des populations et distribution spatiale.....	271
9.5	Capacité d'adaptation aux changements dans les populations de caribou.....	273
9.6	Conclusion.....	276
9.7	Remerciements.....	277
9.8	Références.....	277

Chapitre 10. Un premier aperçu des écosystèmes des kangidualuk (fjords) du Nunatsiavut

10.1	Introduction.....	284
10.2	Caractéristiques physiques.....	286
10.3	Océanographie.....	287
10.4	La présence de BPC dans la baie de Saglek : les mesures d'atténuation fonctionnent, mais certaines préoccupations subsistent pour les organismes au sommet de la chaîne trophique.....	287
10.5	Les processus dans les fjords	294
10.6	Conditions paléocéanographiques dans les fjords et fjards subarctiques.....	297
10.7	Cartographie de l'habitat benthique.....	301
10.8	Le zooplancton.....	305
10.9	Le phytoplancton.....	306
10.10	Nos connaissances à ce jour.....	310
10.11	Références.....	311

AVANT-PROPOS

De toutes les régions du globe, c'est l'Arctique qui subira le plus tôt et le plus sévèrement les impacts du réchauffement actuel de la basse atmosphère de notre planète. Déjà, plusieurs des symptômes d'un réchauffement arctique anticipés par les modèles climatiques sont confirmés par les observations en mer, sur terre et par satellite. Tel que résumé par le Arctic Climate Impact Assessment (ACIA 2005), les multiples perturbations environnementales, socio-économiques et géopolitiques affectant le monde arctique interagissent pour aboutir à une transformation irréversible du Nord. ArcticNet est un réseau de centres d'excellence appuyé par les trois Conseils de recherche qui vise à aider le Canada à se préparer aux impacts de cette transformation. L'objectif central du Réseau est de générer le savoir et les analyses nécessaires à la formulation de stratégies d'adaptation et de politiques qui aideront les sociétés du Nord et l'industrie à se préparer aux pleins impacts de la transformation environnementale et de la modernisation de l'Arctique canadien côtier. Notre vision est celle d'un futur dans lequel l'échange bilatéral de connaissances, la formation de la relève, et le suivi et la modélisation de l'environnement ont permis aux chercheurs et aux habitants du Nord d'atténuer les impacts négatifs et de maximiser les retombées positives de ces changements. L'approche d'ArcticNet sous forme d'IRIS (Integrated Regional Impact Study) constitue une excellente opportunité de raffermir les liens entre les scientifiques du milieu des sciences naturelles, des sciences de la santé et des sciences sociales à travers l'étude des enjeux sociaux tels que les changements culturels et le besoin d'adaptation dans la reconnaissance et le respect des perspectives inuites. Nous remercions tous les chercheurs principaux, étudiants, autres chercheurs, collègues et partenaires d'ArcticNet pour leur contribution aux nombreux et rapides succès du Réseau, de même que l'équipe éditoriale de la région subarctique de l'Est pour en avoir assuré la réalisation.

Louis Fortier, directeur scientifique d'ArcticNet



Martin Fortier, directeur exécutif d'ArcticNet



Équipe éditoriale

Michel Allard et Mickaël Lemay

Centre d'études nordiques (CEN), Université Laval, Québec, QC, G1V 0A6.

ArcticNet est un des réseaux de centres d'excellence du Canada qui regroupe des scientifiques et des gestionnaires spécialisés en sciences naturelles, en sciences de la santé et en sciences sociales dans le Nord et leurs partenaires d'organisations inuites, de communautés nordiques, d'organismes fédéraux et provinciaux ainsi que du secteur privé. Le Réseau a pour mission d'étudier les impacts des changements climatiques et de la modernisation dans l'Arctique canadien en vue de générer des renseignements pertinents pour les habitants du Nord et d'en informer les communautés, les ministères, les industries et les organismes privés afin de les aider à se préparer aux défis et aux opportunités qui les attendent. Le programme de recherche d'ArcticNet couvre un large éventail de sujets dont le dégel du pergélisol, les changements dans la végétation, les changements dans les populations animales, les incidences du climat sur les lacs et les rivières, les questions de santé humaine en lien avec les variations dans la diversité et la qualité des réserves d'aliments prélevés dans la nature, la qualité et les réserves d'eau potable, les charges de contaminants et les changements dans les maladies infectieuses qui sont attribuables au climat. Les projets de recherche se penchent également sur les capacités d'adaptation des communautés nordiques, l'autodétermination culturelle dans le contexte des changements environnementaux et les façons d'intégrer les connaissances scientifiques et les connaissances traditionnelles. Un des aspects développés par ArcticNet est le catalogue de données en ligne où sont versés les résultats de recherche provenant de toutes les régions arctiques et subarctiques du Canada.

Même si le programme de recherche d'ArcticNet est vaste et couvre l'ensemble de l'Arctique canadien, le transfert de connaissances est structuré par régions, en fonction des

divers problèmes auxquels sont confrontées les différentes parties de l'Arctique. La stratégie de recherche fait appel à une étude intégrée d'impact régional (Integrated Regional Impact Study - IRIS) des conséquences du réchauffement climatique, des changements environnementaux et des changements sociétaux dans quatre secteurs clés du Nord du Canada – l'Arctique de l'Ouest et du centre, l'Arctique de l'Est, la baie d'Hudson et la région subarctique de l'Est (figure 1). Le cadre des études IRIS a été conçu après un processus de consultation auquel ont participé des communautés, des intervenants, des gestionnaires, des décideurs et des scientifiques afin de cerner ensemble les principaux enjeux ou systèmes à étudier. Un des éléments clés de cette démarche consultative et participative a été l'échange continu avec les intervenants, ce qui a été mis en œuvre à tous les échelons d'ArcticNet, de sa structure de gouvernance (p. ex., pleine représentation des Inuits au sein du conseil d'administration ainsi qu'au comité de gestion de la recherche) jusqu'aux nombreuses activités de consultation de chacun des chercheurs. Bien que la présente évaluation constitue le produit tangible de la démarche IRIS, les processus de consultation et d'intégration ont donné lieu à bon nombre de résultats intangibles, ce qui en soi a déjà contribué à informer les décideurs, de même que les communautés et les intervenants, et a facilité la rencontre des deux gouvernements régionaux inuits, leurs échanges et discussions concernant leurs stratégies d'adaptation.

Le présent rapport IRIS se penche sur les activités humaines et les préoccupations environnementales de la région subarctique de l'Est, laquelle comprend le Nunavik et les territoires inuits du Nunatsiavut (zone en vert sur la figure 1). La stratégie initiale de l'IRIS de la région subarctique de l'Est était de mettre sur pied des collaborations et partenariats et de rassembler les partenaires en fonction d'un but commun et d'une même approche intégrée : l'IRIS.

Depuis le début d'ArcticNet, le développement de l'IRIS de la région subarctique de l'Est a bénéficié du soutien, du savoir-faire et des connaissances considérables du

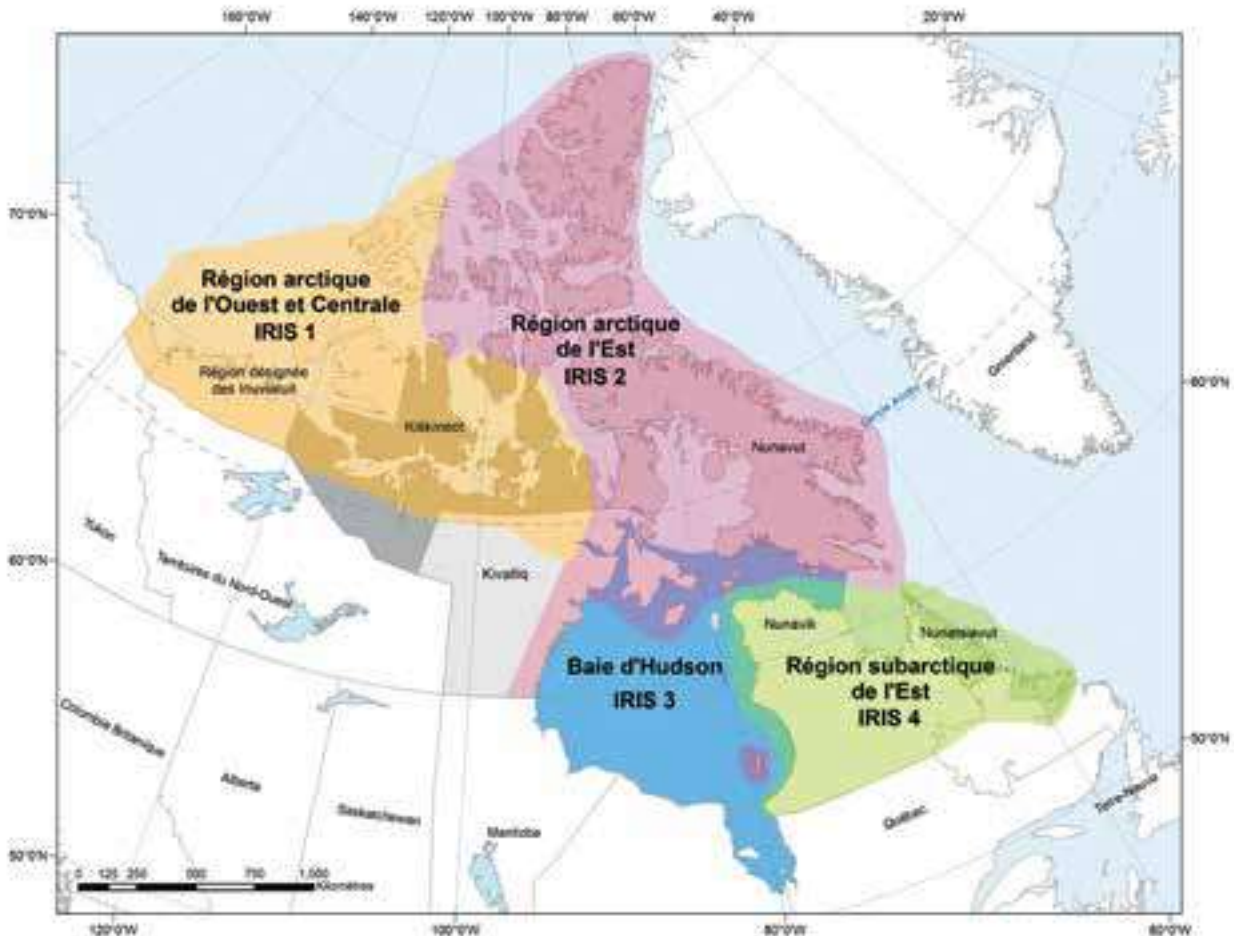


Figure 1. Représentation graphique des quatre régions IRIS d'ArcticNet couvrant l'ensemble de l'Arctique canadien.

Centre d'études nordiques (CEN) de l'Université Laval (encadré 1). Le CEN jouit d'un long passé de consultation et de recherche avec les communautés nordiques et il a actuellement plus de 40 projets en cours dans la région du Nunavik. Un des partenaires importants du CEN au Nunavik est le Centre de recherche du Nunavik qui depuis plus de 30 ans concilie science et savoir traditionnel pour étudier les enjeux liés aux besoins des populations autochtones. Pour ce qui est de la région du Nunatsiavut, l'IRIS a bénéficié des connaissances de l'Institut labrador qui a dirigé plusieurs projets de recherche en collaboration avec l'Université Memorial de Terre-Neuve. Le développement d'IRIS a aussi été bonifié par la participation du consortium Ouranos, un groupe de recherche qui se concentre sur deux grands

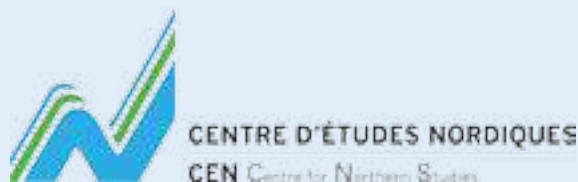
thèmes : la climatologie et les adaptations aux changements climatiques. Par l'entremise du comité consultatif du programme d'environnement nordique d'Ouranos qui réunit des partenaires ayant un mandat commun dans la région subarctique de l'Est, il a été possible de cerner les enjeux prioritaires pour la région et les lacunes en matière de connaissances. Ce comité a aussi partagé ses renseignements, son savoir-faire et ses occasions de financement afin de définir et d'entreprendre de nouveaux projets de recherche visant à combler les lacunes de connaissances. En outre, Ouranos a joué un rôle clé dans le développement d'IRIS en offrant du soutien dans le cadre des initiatives en matière de climatologie et d'adaptation (présentées au chapitre 2).



Encadré 1. Le Centre d'études nordiques (CEN)

Le Centre d'études nordiques (CEN) (www.cen.ulaval.ca) est un centre interuniversitaire de recherche sur l'évolution des environnements nordiques dans le contexte du réchauffement climatique et des changements socioéconomiques accélérés. La mission du CEN est de contribuer au développement durable des régions nordiques en améliorant notre compréhension des changements environnementaux et de former des professionnels qualifiés en analyse et gestion des écosystèmes et des géosystèmes en régions froides. La recherche du CEN est multidisciplinaire. Le centre regroupe plus de 40 chercheurs, dont des biologistes, géographes, géologues, ingénieurs et spécialistes en aménagement du territoire. La recherche s'effectue le long d'un gradient nord-sud de 4 000 km – de la forêt boréale jusqu'à l'Extrême Arctique, notamment grâce au réseau CEN constitué de plus de 75 stations météorologiques (le réseau SILA) et 8 stations de terrain

(le réseau Qaujisarvik). Le réseau CEN a été mis sur pied en consultation avec les communautés nordiques et l'information sert à de nombreux intervenants du Nord, dont des municipalités, des décideurs et des ministères, le secteur privé et d'autres partenaires de recherche au Canada et à l'étranger. Le réseau fait également partie du réseau circumpolaire de bases terrestres SCANNET (www.scannet.nu) et de ce fait il aide le Canada à respecter ses responsabilités internationales en matière de surveillance de l'Arctique circumpolaire. Le CEN continue aussi à jouer un rôle de chef de file dans le développement du Catalogue des données polaires d'ArcticNet-CCIN (www.polardata.ca) permettant l'accès, l'archivage et la découverte de données.



La synergie entre ArcticNet et ses partenaires de recherche a permis d'accroître la collaboration entre de nombreux organismes gouvernementaux provinciaux intéressés par les questions de transport, d'environnement et de santé, et les affaires municipales, les autorités autochtones du Nunavik (Makivik Corporation, gouvernement régional de Kativik) et les représentants du gouvernement du Nunatsiavut. Un

atelier scientifique régional a eu lieu à Kuujuaq, du 10 au 12 novembre 2009, réunissant des scientifiques, des gestionnaires et des décideurs du Nunatsiavut et du Nunavik pour discuter du contenu du présent rapport IRIS, recueillir les points de vue de chacun et s'assurer que les enjeux prioritaires sont abordés du mieux possible dans l'ensemble des deux régions.



Ce rapport IRIS présente donc une évaluation d'impact détaillée et accessible, principalement basée sur la recherche d'ArcticNet et les commentaires des partenaires, pour communiquer et transférer à la société les connaissances nécessaires à l'adaptation et au développement socioéconomique dans la région subarctique de l'Est. On a mis l'accent sur le développement d'outils de gestion pour une surveillance accrue, le partage de l'information et le développement de politiques. Ce rapport s'appuie sur les recherches de pointe sur des enjeux clés pour la région qui ont été entreprises au sein d'ArcticNet. Les principales constatations et conclusions du rapport donneront une perspective globale des impacts des changements climatiques et de la modernisation dans toute la région, tout en fournissant aux communautés locales les connaissances donnant lieu à des stratégies abordables qui respectent les perspectives des Inuits. Le rapport IRIS s'ouvre sur le sommaire intitulé De la science aux politiques qui donne un aperçu du contenu du rapport et définit les principaux enjeux abordés : la santé humaine, la sécurité, la vulnérabilité des infrastructures, l'exploitation des ressources et le développement socioéconomique. Le chapitre 1 donne une description de la géographie la région et dépeint brièvement le contexte démographique et socioéconomique

du Nunavik et du Nunatsiavut. Le chapitre 2 résume les tendances climatiques passées et actuelles des régions IRIS et présente les projections climatiques sur lesquelles les experts ont fondé leurs évaluations des changements prévus. Les sept chapitres qui suivent constituent le corps du rapport et présentent les preuves scientifiques à l'appui de l'évaluation. Les enjeux prioritaires d'adaptation sont abordés dans le cadre de ces chapitres qui traitent de questions de nature, de société et de santé allant des conséquences du dégel et de l'érosion du pergélisol aux changements dans la diversité des aliments issus de la chasse, en passant par l'autodétermination culturelle dans le contexte des changements environnementaux et de la modernisation.

De nombreuses personnes et bien des organismes ont contribué à la préparation de ce rapport IRIS. Nous tenons à remercier tout particulièrement Carl Barrette, Jean-Luc Bernier, Marie-Ève Garneau, Ashley Gaden, Nathalie Racine, Martin Fortier, Louis Fortier, le comité directeur de l'IRIS de la région subarctique de l'Est et tous les chercheurs d'ArcticNet et les partenaires de recherche pour leurs contributions à ce document.

SYNTHÈSE « DE LA SCIENCE AUX POLITIQUES PUBLIQUES » DE L'ÉTUDE INTÉGRÉE D'IMPACT RÉGIONAL (IRIS) DE LA RÉGION DU NUNAVIK-NUNATSIAVUT



AUTEURS

*Ce chapitre a été rédigé par le comité directeur de l'IRIS Nunavik-Nunatsiavut qui est composé d'une personne ressource du Nunavik (**Michael Barrett**) et du Nunatsiavut (**Tom Sheldon**). Les autres membres du comité directeur sont: un climatologue d'Ouranos / Environnement Canada (**Ross Brown**), le directeur de l'IRIS (**Michel Allard**) et le coordonnateur de l'IRIS (**Mickaël Lemay**). Nous remercions sincèrement **Selena Whiteley** de l'Administration régionale Kativik pour son importante contribution à ce chapitre.*

PROCESSUS DE RÉDACTION

Ce chapitre « de la science aux politiques publiques » a été rédigé selon le processus suivant. Les chapitres de l'IRIS écrits par les scientifiques d'ArcticNet et leurs co-auteurs ont été révisés par le comité directeur qui en a extrait les principaux résultats et jaugé leur importance. Une série de recommandations ont ensuite été formulées et discutées avec des représentants de l'administration des gouvernements du Nunavik et du Nunatsiavut.

Cette étude synthèse est principalement basée sur la recherche faite par l'entremise d'une série de projets scientifiques subventionnés par ArcticNet. Puisque les travaux financés ne couvrent pas toutes les préoccupations pertinentes aux régions étudiées, cet ouvrage demeure à perfectionner et à compléter éventuellement.

(Légende de la photo prise devant l'hôtel de ville de Kuujjuaq): Participants au premier atelier de l'IRIS à Kuujjuaq en novembre 2009. Le groupe était composé de chercheurs de diverses disciplines, de représentants des gouvernements régionaux, de membres de communautés et de personnes intéressées.

INTRODUCTION

Les communautés inuites du Nunavik et du Nunatsiavut sont parmi les populations humaines les plus affectées par les impacts du réchauffement climatique. Les scientifiques et les résidents du Nord rapportent de plus en plus l'évidence d'impacts directs du réchauffement accéléré de cette région. Selon eux, cette tendance devrait se poursuivre dans le futur. Le réchauffement, en conjonction avec les profonds changements socio-économiques en cours dans le Nord, entraînent une cascade d'impacts qui affectent les écosystèmes naturels et qui ont des répercussions significatives sur la santé humaine et la qualité de vie des communautés nordiques.

L'approche par étude intégrée d'impact régional (IRIS: Integrated Regional Impact Studies) a été adoptée en vue de faciliter le transfert des résultats de la recherche scientifique d'ArcticNet au grand public. La démarche de l'IRIS du Nunavik et du Nunatsiavut (figure 1) vise plus

spécifiquement à informer les décideurs des changements en cours et de ceux attendus et à émettre des recommandations afin d'appuyer l'élaboration des politiques et des stratégies d'adaptation aux changements environnementaux et sociaux. Le principe sous-jacent à l'élaboration des recommandations émises dans cette synthèse est de maintenir un environnement capable de supporter la santé des Inuits et de préserver la productivité à long terme des écosystèmes dont ils dépendent. Cette synthèse « de la science aux politiques » présente les principaux résultats et les conclusions de l'IRIS du Nunavik et du Nunatsiavut en mettant l'accent sur les quatre questions prioritaires qui ont été identifiées dans la région : 1) la santé humaine; 2) la sécurité; 3) la vulnérabilité des infrastructures; 4) l'exploitation des ressources.



Figure 1. La région de l'IRIS Nunavik-Nunatsiavut et les communautés inuites.

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET MODERNISATION

Le réchauffement climatique a été identifié fréquemment dans les médias et dans la littérature scientifique récente comme étant le principal facteur de changement dans les régions arctiques. Or, l'Arctique est également en voie de « modernisation ». Ce terme général n'est pas clairement défini et comprend différents processus socio-économiques. Les changements observés, autres que le climat, affectant les êtres humains au Nunavik et au Nunatsiavut, peuvent être associés à plusieurs facteurs qui étaient inexistantes ou peu significatifs il y a seulement 30 ou 40 ans. Premièrement, la négociation pour l'autonomie gouvernementale des territoires et la prise en charge par les Inuits des questions d'éducation et d'administration ont accru la volonté et le degré de leadership politique des Inuits. Deuxièmement, d'immenses améliorations dans les infrastructures et les moyens de transport dans le Nord (comme Internet et le transport aérien) les échanges avec d'autres cultures et permettent de se tenir informés. Un autre facteur de changement est la croissance rapide de la population causée par un taux de natalité très élevé au cours des dernières années. Grâce à une meilleure scolarité (malgré de pressants besoins d'améliorations en éducation), la nouvelle génération est davantage susceptible d'avoir un emploi salarié, de s'impliquer dans les affaires de la communauté et dans les actualités régionales, de protéger l'environnement et son héritage culturel ainsi que de participer aux affaires. Ces changements culturels, politiques, socio-économiques et d'éducation ont lieu dans un contexte de pression croissante pour l'exploitation sur le territoire des minéraux et d'autres ressources naturelles. Cette exploitation a le potentiel d'apporter davantage de richesses au Nord, mais elle menace également les ressources essentielles au maintien du mode de vie des Inuits. Cette transition vers la modernisation se produit simultanément au réchauffement climatique qui modifie grandement le fonctionnement des écosystèmes produisant les ressources dont les Inuits se nourrissent traditionnellement. Le pergélisol, les lacs, la glace des rivières et de la mer, la végétation ainsi que les populations animales sont affectés par ces changements.

Des habitudes alimentaires modifiées, un accès plus difficile à la nourriture traditionnelle et l'impact de nouveaux modes de vie venus du Sud contribuent aux problèmes de santé majeurs retrouvés partout en Arctique. Le déclin de populations animales primordiales telles que le caribou et l'omble chevalier, ainsi que la difficulté de maintenir un accès à une eau potable de qualité sont particulièrement inquiétants pour le Nunavik et le Nunatsiavut.

Une des incidences de la croissance de la population et du réchauffement climatique est la nécessité d'identifier les terrains qui sont propices à la construction de nouvelles maisons dans les communautés. À Salluit par exemple, il est difficile de construire de nouvelles maisons dans la communauté actuelle, car les sols gelés riches en glace s'affaissent à cause du réchauffement. Il a donc fallu élaborer un plan d'expansion à proximité de la communauté, là où les sols sont moins sensibles au réchauffement.

Un autre aspect inquiétant, et qui demeure peu étudié, est l'environnement côtier du Nunavik et du Nunatsiavut. Les Inuits sont un peuple côtier qui voyage sur l'eau pendant l'été, et sur la glace et la neige pendant l'hiver. Les poissons, les mammifères marins et les mollusques font partie de leur longue histoire de survie et demeurent encore aujourd'hui une source importante de nourriture saine. Les îles, les baies, les estuaires et les fjords composent leur paysage culturel. Un bon exemple du travail requis traité dans cet ouvrage est la recherche scientifique réalisée dans les fjords du Nunatsiavut. Les groupes inuits consultés pendant le processus de l'IRIS du Nunavik et du Nunatsiavut ont mis l'accent à plusieurs reprises sur l'importance d'une planification efficace de la conservation de l'environnement afin de protéger leurs territoires clés ainsi que leurs écosystèmes dans un contexte d'accroissement de la population et de développement industriel.

Ces principaux résultats suscitent des questions majeures pour la santé humaine, la sécurité, la vulnérabilité des infrastructures et l'impact de l'exploitation des ressources. Ils sont suivis de recommandations d'actions visant à améliorer la qualité de vie, protéger l'environnement et promouvoir le développement durable.

LE NUNAVIK ET LE NUNATSIAVUT SUBISSENT UN RÉCHAUFFEMENT RAPIDE

RECOMMANDATION

- *Des améliorations sont nécessaires dans le calcul des prévisions météorologiques et climatiques aux échelles régionales et locales.*

La vulnérabilité de la région du Nunavik et du Nunatsiavut aux changements climatiques a été rapportée à plusieurs reprises au cours des dernières années à la suite du réchauffement soudain et sans précédent observé depuis 1993. Ce réchauffement a provoqué des changements environnementaux profonds et rapides. Par exemple, la durée du couvert de neige et de glace décroît actuellement à un rythme d'environ 1,0 jour/année, et les températures du sol ont augmenté de plus de 2°C, entraînant un approfondissement significatif de la couche active au-dessus du pergélisol. De plus, les glaciers des monts-Torngat ont perdu environ 20 % de leur superficie totale entre 2005 et 2007. Le savoir traditionnel indique que ces changements récents vont au-delà de la variation ressentie par la communauté dans le passé. Combinés à des conditions météorologiques de plus en plus imprévisibles, ces changements ont des implications importantes sur la santé humaine, la sécurité, les infrastructures municipales, l'accès au territoire et aux ressources. Les projections des modèles climatiques pour la période 2041-2070 indiquent une poursuite de la tendance du réchauffement observé ainsi que des précipitations plus élevées pour cette région (figure 2).

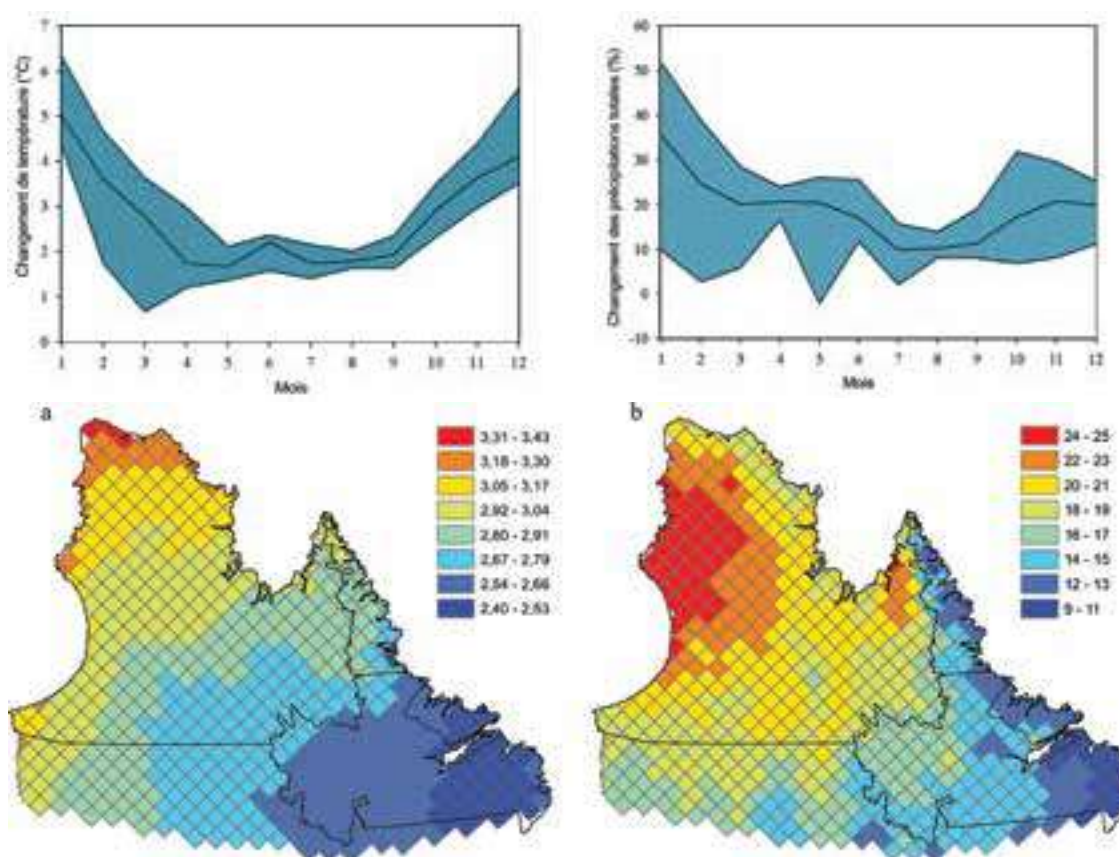


Figure 2. En haut: Le caractère saisonnier des changements projetés de la température mensuelle moyenne (à gauche) et des précipitations totales (à droite) de six simulations du CRCM pour l'an 2050. La moyenne a été calculée pour toutes les cellules de la grille de la région d'étude. Les lignes extérieures représentent la variation entre les six simulations. En bas: La répartition spatiale des changements projetés pour la température annuelle moyenne en °C (à gauche), et pour les précipitations totales annuelles moyennes en % (à droite).

LES INUITS DU NUNAVIK ET DU NUNATSIAVUT ONT UNE ESPÉRANCE DE VIE DE 10 ANS INFÉRIEURE À CELLE DE LA PLUPART DES CANADIENS



RECOMMANDATIONS

- *Des politiques doivent être développées et adaptées pour remédier aux inégalités en matière de santé et d'espérance de vie réduite.*
- *Un mode de vie sain doit être encouragé; les impacts négatifs des drogues et de l'alcool ne peuvent pas être ignorés.*
- *La promotion de la santé et d'une saine alimentation dans les communautés est également cruciale.*
- *Encourager les interventions axées sur la recherche, comme celles qui ont bien fonctionné dans les régions inuites. Par exemple, l'étude qui a mené à l'embargo des gras trans au Nunavik ou la recherche qui a démontré le déclin des polluants organiques persistants dans l'environnement et chez les êtres humains. Également, un autre bon exemple est la recherche qui a révélé que la consommation des acides gras d'origine marine diminue les risques de maladies cardio-vasculaires.*
- *Un mode de vie actif doit être encouragé afin d'améliorer la qualité de vie.*

Le Nunavik et le Nunatsiavut ont l'espérance de vie la plus courte des quatre régions inuites du Canada en plus d'être substantiellement inférieure à celle du reste du pays. Les jeunes hommes et les femmes âgées sont particulièrement vulnérables à une mort prématurée. Les profils de mortalité diffèrent selon les sexes; les blessures intentionnelles et non-intentionnelles sont plus importantes chez les hommes tandis que les maladies chroniques dominent chez les femmes. Les changements environnementaux combinés à des changements dans l'environnement socio-économique contribuent à ce problème par des impacts négatifs sur la santé humaine et le bien-être. Des récentes données d'indicateurs de la santé incluant la nourriture et la nutrition, les facteurs de risque des maladies cardio-vasculaires, les contaminants, les maladies infectieuses provenant des animaux ou de l'eau potable, et des blessures causées durant les déplacements, indiquent que les habitants du Nunavik et du Nunatsiavut sont parmi les moins en santé du pays et que la situation semble se détériorer.

Malgré l'observation des baisses significatives de concentrations sanguines de mercure, de plomb et de cadmium au Nunavik entre 1992 et 2004, une importante proportion d'individus, particulièrement des femmes en âge de procréer, continue d'avoir des concentrations excédant le niveau acceptable établi par Santé Canada. La recherche à la fine pointe de la technologie a identifié des effets nuisibles sur le développement des jeunes Inuits avec des résultats préliminaires indiquant les effets négatifs durables de l'exposition dès la petite enfance aux contaminants sur les fonctions cognitives. Par ailleurs, les effets positifs des acides gras pour les organes sensoriels et la mémoire ont été démontrés.

Le taux d'obésité et les maladies cardio-vasculaires sont élevés et en augmentation. Toutefois, pour les mêmes facteurs de risques, les Inuits sont en meilleure santé que les populations caucasiennes. Des facteurs de protection semblent jouer un rôle important et impliquent les effets bénéfiques de la consommation d'acides gras d'origine marine. Or, ces derniers pourraient être menacés par les modifications apportées à la diète, par les changements environnementaux et par la disponibilité de nourriture traditionnelle de qualité.

UN GRAND NOMBRE DE FAMILLES INUITES AVEC DES ENFANTS VIVENT DE L'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE



RECOMMANDATIONS

- *Avoir accès à un apport de nourriture traditionnelle saine est de la plus haute importance. Améliorer le soutien aux chasseurs et aux programmes de congélateurs communautaires, formaliser l'appui aux réseaux de partage de nourriture traditionnelle, trouver des manières d'augmenter la disponibilité de la nourriture traditionnelle circulant dans les communautés via la vente et la distribution commerciale font partie des actions recommandées.*
- *Il est primordial d'assurer la disponibilité de nourriture saine et abordable en magasin.*
- *Les initiatives telles que le suivi de la glace, la balise de sentiers et l'accès à de l'équipement de survie (comme des dispositifs de localisation par satellite) doivent être encouragées.*
- *Les capacités de recherche et de sauvetage doivent continuer à s'améliorer localement.*
- *Encourager le transfert des connaissances traditionnelles et le savoir-faire sur le terrain entre les générations.*

La transition d'une consommation élevée de nourriture traditionnelle à une diète davantage occidentale, ainsi que l'augmentation de maladies chroniques dans les deux régions sont associées à la sécurité alimentaire. La sécurité alimentaire est présente lorsque « toutes les personnes en tout temps ont accès à de la nourriture nutritive sécuritaire en quantité suffisante pour combler leurs besoins alimentaires et leur préférence en nourriture afin de mener une vie saine et active » (FAO, 1999). La sécurité alimentaire est influencée par la disponibilité, l'accessibilité et la qualité de la nourriture. Selon le type de classement utilisé, les taux d'insécurité alimentaire varient de 25 % à 72 % au Nunavik tandis qu'au Nunatsiavut, 46 % des ménages avec des enfants souffriraient d'insécurité alimentaire, dont 16 % de ces ménages subissant de l'insécurité alimentaire sévère. Les taux élevés d'insécurité alimentaire s'expliquent par le coût élevé de la nourriture, la faible disponibilité de la nourriture traditionnelle, le haut taux de chômage, le revenu modeste des ménages, la diminution de la consommation de nourriture traditionnelle, les choix de modes de vie et le manque de choix de nourriture nutritive. Les personnes souffrant d'insécurité alimentaire courent un plus grand risque d'être en surpoids, d'être affectées par des maladies chroniques, d'être vulnérables à des problèmes de santé mentale et d'avoir une capacité d'apprentissage affaiblie.

Les politiques et les programmes instaurés pour réduire l'insécurité alimentaire dans les deux régions nécessitent une plus grande attention puisque ce problème de santé publique s'accroît dangereusement. Améliorer le soutien aux chasseurs et aux programmes de congélateurs communautaires, formaliser l'appui aux réseaux de partage de nourriture traditionnelle, trouver des manières d'augmenter la disponibilité de la nourriture traditionnelle circulant dans les communautés via la vente et la distribution commerciale, ainsi que réorienter les subventions pour la nourriture achetée en magasin sont toutes des initiatives prometteuses afin d'améliorer la situation. Il est également essentiel de faire la promotion de la santé et d'une saine alimentation dans les communautés.

LA POPULATION DES TROUPEAUX DE CARIBOUS DÉCROÎT EN NOMBRE



RECOMMANDATIONS

- *L'habitat du caribou, ses aires de mises bas et ses routes de migration doivent être conservés.*
- *La chasse sportive devrait être restreinte ou interdite dans les cas où elle affecte la santé des troupeaux de caribous ou la récolte de subsistance des Inuits.*
- *Une entité transfrontalière de gestion et de coordination devrait être établie pour le caribou.*

Les troupeaux de la rivière George (RG) et de la rivière aux Feuilles (RF) sont parmi les plus grandes populations de caribous migratoires au monde; les données disponibles indiquent que le nombre total de caribous de ces deux troupeaux était au-delà d'un million d'animaux pendant les années 1990, mais ce nombre a décliné dramatiquement à moins de la moitié en 2010.

Ce déclin récent a des conséquences sociales et économiques négatives, particulièrement pour les Inuits qui dépendent de la viande de caribou pour leur survie. Des changements dans la distribution du caribou (par exemple, le troupeau RG se déplaçant au Labrador), ainsi qu'une diminution de leur abondance sont à prévoir prochainement. Ces changements ne seront probablement pas compensés par les effets positifs potentiels d'une période de végétation plus hâtive et plus longue sous un climat plus chaud. Les changements climatiques apporteront aussi des contraintes additionnelles aux caribous avec, par exemple, une exposition prolongée aux insectes.

Les communautés, les décideurs et les entités responsables doivent être préparées à une plus faible abondance d'animaux ainsi qu'à une distribution possiblement moins prévisible influençant l'accessibilité à la ressource. Les efforts de gestion ciblant la préservation d'un habitat de haute qualité, limitant les perturbations anthropogéniques du paysage, et gérant la chasse de façon durable, pourraient atténuer les facteurs de stress sur le caribou migratoire de la péninsule du Québec-Labrador.

L'OMBLE CHEVALIER EST UNE IMPORTANTE SOURCE DE NOURRITURE QUI EST MENACÉE PAR LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE



RECOMMANDATIONS

- *La viabilité de la pêche de l'omble chevalier doit continuer à être évaluée.*
- *L'amélioration de l'habitat de l'omble chevalier et son repeuplement doivent être considérés.*
- *La surveillance communautaire des populations d'omble chevalier doit être mise en place.*

Les ombles chevalier sont considérés vulnérables aux impacts des changements climatiques puisqu'ils préfèrent les eaux froides. Sous un climat plus chaud, les ombles chevalier lacustres sont les plus susceptibles d'être affectés par des augmentations de la température estivale. Ces effets seront plus marqués à la limite sud de leur distribution où le réchauffement sera le plus important et où la compétition avec d'autres espèces de salmonidés adaptées à faire face à des températures plus chaudes sera la plus intense.

Les ombles chevalier anadromes (c.-à-d. migrants) pourraient écourter leur temps de résidence en mer à mesure que les températures augmentent. Ces changements auront des répercussions profondes sur les Inuits qui dépendent de l'omble chevalier comme source significative de protéines et d'acides gras dans leur diète. Dans une certaine mesure, ces impacts pourraient être atténués par une gestion environnementale proactive telle que l'ensemencement des ruisseaux et l'introduction de populations.

Des lacunes de connaissances majeures concernant la biologie et la dynamique des populations limitent nos capacités à prévoir avec précision les effets des changements climatiques sur l'omble chevalier et souligne l'importance de recueillir des ensembles de données à long terme spécifiques à cette espèce (p. ex., par des programmes de surveillance communautaire).

LA VÉGÉTATION ET LA PRODUCTION DE PETITS FRUITS SONT AFFECTÉES PAR LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE



RECOMMANDATION

- *Les zones de récolte de petits fruits situées près des communautés doivent être préservées.*

Le réchauffement en cours favorise la croissance des arbustes et repousse la limite des arbres vers le Nord, mais pas de façon uniforme. Ainsi, la recherche a documenté un accroissement du couvert de bouleau nain et de saule arctique, ainsi qu'une progression en altitude du mélèze. Avec des étés plus chauds et plus longs favorisant la production de graines viables et le recrutement des semis, on s'attend à ce que les arbres s'étendent graduellement au-delà des limites actuelles.

Il est à prévoir que des changements dans la distribution des arbustes altéreront la distribution de la neige et sa persistance sur le sol. Ces modifications affecteront le pergélisol, la rétroaction à l'atmosphère ainsi que les voies de transport de la faune et des êtres humains. Des périodes de croissance plus chaudes et plus longues pourraient ne pas être bénéfiques pour la croissance et la productivité de toutes les plantes à petits fruits. Les espèces plus productives en plein soleil (spécialement les airelles rouges et les myrtilles des marais/bleuets) vont probablement décliner sous des conditions de couvert arbustif plus dense.

Cependant, comme la végétation arctique est inégale, d'autres espèces plus tolérantes à des conditions partiellement ombragées comme les camarines noires/mûres/paurngaqutik et les plaquebières/ronce des tourbières/aqpik devraient tirer avantage des nouvelles conditions. La surveillance communautaire est un outil important afin de recueillir des données à long terme et de comprendre les incertitudes actuelles sur la production de petits fruits et sur les autres changements dans les écosystèmes.

LES RESSOURCES EN EAU SONT AFFECTÉES PAR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. MAINTENIR UNE EAU POTABLE DE QUALITÉ DANS LES COMMUNAUTÉS EST UN DÉFI



RECOMMANDATIONS

- *Le suivi de la qualité de l'eau provenant de sources primaires et secondaires d'eau potable dans les communautés doit être amélioré.*
- *Les importantes sources d'eau potable situées à proximité des communautés doivent être protégées.*

Le Nunavik et le Nunatsiavut possèdent un riche héritage naturel de lacs, de rivières et de marais qui nécessitent une gestion et une protection continues. Les petits lacs de fonte du pergélisol (les mares thermokastiques) sont un type d'écosystème aquatique nordique prépondérant. Ces mares semblent augmenter en abondance ainsi qu'en superficie totale dans certaines régions du Nord circumpolaire, incluant le Nunavik, à mesure que le pergélisol continue de se réchauffer et de se dégrader. L'évitement ainsi que l'atténuation de la pollution chimique des écosystèmes aquatiques nordiques provenant de sources locales et de longue portée nécessitent une vigilance de tous les instants.

Les sources d'eau secondaires près des communautés sont utilisées fréquemment et sont culturellement importantes comme sources d'eau potable. Une multitude de problèmes d'eau potable, reliés à la disponibilité et à la quantité, ont été identifiés dans tout le Nunavik et le Nunatsiavut. Le suivi de la qualité de l'eau traitée et non-traitée provenant des sources d'eau secondaires est présentement déficient.

LE DÉGEL DU PERGÉLISOL MODIFIE L'ENVIRONNEMENT NATUREL ET REQUIERT UNE INFRASTRUCTURE PLUS ADÉQUATE



RECOMMANDATION

- *Une planification urbaine et des pratiques d'ingénierie appropriées devraient être appliquées pour que la construction prenne en considération les conditions environnementales locales, incluant les impacts de la fonte du pergélisol et des changements climatiques.*

La dégradation du pergélisol affecte sévèrement l'environnement naturel. Le dégel du pergélisol dans la zone discontinue crée de nouvelles mares et provoque des glissements de terrain et des changements dans les réseaux de drainage. Les infrastructures des villages des deux régions sont particulièrement affectées; des pratiques inappropriées ou des défauts de conception combinés aux changements climatiques sont parfois en cause. Un cas bien documenté est celui de Salluit qui est bâti sur des sols argileux riches en glace où la couche active s'est approfondie de 30-40 cm au cours des 20 dernières années. Les conséquences de ces changements de conditions du pergélisol sont observées dans les routes et dans l'intégrité structurale de plusieurs bâtiments. Dans plusieurs communautés du Nunavik, la fonte du pergélisol a commencé à se produire le long de quelques sections des pistes d'atterrissage.

Dans la plupart des communautés du Nunatsiavut, le développement des infrastructures communautaires, incluant l'eau courante, les égouts ainsi que les plans d'aménagement du territoire, n'est pas adapté aux conditions environnementales subarctiques telles que le pergélisol, le gel de la couche active et les conditions hydrologiques saisonnières. Une grande attention doit être accordée à l'élaboration d'infrastructures et de logements adéquats. Des stratégies d'adaptation sont en développement afin de résoudre les problèmes de construction et d'atténuer les impacts de la fonte du pergélisol par un meilleur entretien et une meilleure planification de l'aménagement du territoire.

LES ÉCOSYSTÈMES DE FJORD CHANGENT À LA SUITE D'UNE RÉDUCTION DE LA SURFACE ET DE LA DURÉE DU COUVERT DE GLACE DE MER



RECOMMANDATION

- *Une meilleure compréhension des rivières ainsi que des écosystèmes côtiers du Nunavik et du Nunatsiavut est primordiale.*

Une étude en cours portant sur la biologie et la physique des fjords du Nunatsiavut apporte de nouvelles connaissances quant à ces écosystèmes cruciaux affectés par les changements climatiques et la modernisation. La couverture de glace de mer des fjords du nord du Labrador a grandement diminué depuis les cinquante dernières années, atteignant récemment une couverture minimale sans précédent accompagnée par une diminution de la salinité dans les fjords pendant la même période. Les Inuits du Nunavik et du Nunatsiavut ont également signalé, en général, une diminution de la couverture et de la durée de la glace de mer depuis les dernières décennies. Sur une échelle de temps plus courte, depuis les dix dernières années, une augmentation de la productivité marine a également été observée au Labrador selon un gradient nord-sud. Malgré la variation de la nature biologique de ces changements, on prévoit, si ces changements continuent, une augmentation générale de l'abondance des espèces ainsi que du nombre de nouvelles espèces dans ces fjords.

Cette augmentation pourrait modifier les systèmes du réseau alimentaire, incluant les pratiques de récolte des Inuits. Plus important encore, il a été démontré que les écosystèmes marins à forte énergie hydrodynamique situés le long de la côte du Labrador ont une grande résilience et peuvent se restaurer rapidement à la suite des perturbations anthropogéniques s'ils sont gérés de façon durable, active et progressive. Cependant, les résidus de sources locales de contamination continuent d'influencer les systèmes marins côtiers, comme l'ont démontré les niveaux élevés de contaminants (BPC) retrouvés chez certains phoques annelés (approximativement 10 à 15 %) capturés près de la côte du Labrador. Toutefois, les phoques annelés demeurent une excellente source d'alimentation et les niveaux de contaminants chez les Inuits du Nunatsiavut sont généralement plus bas que chez ceux du reste de l'Arctique grâce à l'ensemble de leurs choix alimentaires.

LE NUNATSIAVUT ET LE NUNAVIK ONT COMMENCÉ À PROTÉGER LEURS TERRITOIRES ET ILS PLANIFIENT DE CONTINUER À LE FAIRE



RECOMMANDATION

- *En vue de conserver les écosystèmes essentiels, il faut continuer à identifier les parcs, les zones protégées ainsi que les territoires préservés du développement industriel.*

Le plan directeur pour l'utilisation du territoire dans la région Kativik a été approuvé en 1998. L'identification et la classification des zones incluent les endroits essentiels pour la cueillette, les endroits d'intérêt pour les Inuits, les aires de mises bas du caribou et des réserves pour les parcs. Au Nunatsiavut, il existe présentement une ébauche d'un plan d'utilisation du territoire qui comprend les classifications suivantes : Parc national des Monts-Torngat, zones environnementales sensibles, communautés, zones d'intérêt historique, zones d'utilisation traditionnelle, zones d'utilisation générale, zones côtières. La création du parc des Monts-Torngat en 2005 par Parcs Canada protège du développement industriel 9700 km² des 72 500 km² de la région. Le gouvernement du Québec a créé le parc national des Pingualuit (1149 km²) en 2004 et le parc national Kuururjuaq (4461 km²) en 2009, en partenariat avec l'Administration régionale Kativik et la Société Makivik.

La création du parc national Tursujuq (26 000 km²) et du parc national Ulittaniujalik (5272 km²) est planifiée pour 2013. Aucune activité industrielle n'est permise dans les parcs des deux régions. Quatre autres zones totalisant 9942 km² sont désignées comme des réserves. Au Nunavik, des consultations dans les communautés sont en cours pour protéger 11 zones additionnelles. L'objectif est de protéger du développement industriel au moins 12 % du Nunavik d'ici 2015. Le gouvernement du Québec a annoncé son objectif de protéger 50 % de la région du Plan Nord (qui inclut le Nunavik) du développement industriel d'ici 2035. Les zones de cueillette des Inuits chevauchent certaines zones de conservation et sont parfois à proximité des communautés. Toutes ces zones, en plus de leur importance pour la conservation, agiront comme zones tampons aux changements climatiques. Ces zones de conservation du Nunavik et du Nunatsiavut sont clairement identifiées dans les plans directeurs et devront être considérées dans le développement industriel.



CONCLUSION

Les principaux résultats de cette étude soulèvent des questions majeures en ce qui a trait à la santé humaine, la sécurité, la vulnérabilité des infrastructures et le besoin de protéger les écosystèmes des impacts de l'exploitation des ressources et des changements climatiques. Les actions requises pour améliorer la qualité de vie, préserver l'environnement et faciliter le développement durable doivent être prises rapidement. Plusieurs de ces actions sont présentées comme recommandations dans cette synthèse « de la science aux politiques publiques ».

SYNTHÈSE « DE LA SCIENCE AUX POLITIQUES PUBLIQUES » ET RECOMMANDATIONS



LE NUNAVIK ET LE NUNATSIAVUT SUBISSENT UN RÉCHAUFFEMENT RAPIDE

- Des améliorations sont nécessaires dans le calcul des prévisions météorologiques et climatiques aux échelles régionales et locales.



LES INUITS DU NUNAVIK ET DU NUNATSIAVUT ONT UNE ESPÉRANCE DE VIE DE 10 ANS INFÉRIEURE À CELLE DE LA PLUPART DES CANADIENS

- Des politiques doivent être développées et adaptées pour remédier aux inégalités en matière de santé et d'espérance de vie réduite.
- Un mode de vie sain doit être encouragé; les impacts négatifs des drogues et de l'alcool ne peuvent pas être ignorés.
- La promotion de la santé et d'une saine alimentation dans les communautés est également cruciale.
- Encourager les interventions axées sur la recherche, comme celles qui ont bien fonctionné dans les régions inuites. Par exemple, l'étude qui a mené à l'embargo des gras trans au Nunavik ou la recherche qui a démontré le déclin des polluants organiques persistants dans l'environnement et chez les êtres humains. Également, un autre bon exemple est la recherche qui a révélé que la consommation des acides gras d'origine marine diminue les risques de maladies cardio-vasculaires.
- Un mode de vie actif doit être encouragé afin d'améliorer la qualité de vie.



UN GRAND NOMBRE DE FAMILLES INUITES AVEC DES ENFANTS VIVENT DE L'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE

- Avoir accès à un apport de nourriture traditionnelle saine est de la plus haute importance. Améliorer le soutien aux chasseurs et aux programmes de congélateurs communautaires, formaliser l'appui aux réseaux de partage de nourriture traditionnelle, trouver des manières d'augmenter la disponibilité de la nourriture traditionnelle circulant dans les communautés via la vente et la distribution commerciale font partie des actions recommandées.
- Il est primordial d'assurer la disponibilité de nourriture saine et abordable en magasin.
- Les initiatives telles que le suivi de la glace, la balise de sentiers et l'accès à de l'équipement de survie (comme des dispositifs de localisation par satellite) doivent être encouragées.
- Les capacités de recherche et de sauvetage doivent continuer à s'améliorer localement.
- Encourager le transfert des connaissances traditionnelles et le savoir-faire sur le terrain entre les générations.



LA POPULATION DES TROUPEAUX DE CARIBOUS DÉCROÎT EN NOMBRE

- L'habitat du caribou, ses aires de mises bas et ses routes de migration doivent être conservés.
- La chasse sportive devrait être restreinte ou interdite dans les cas où elle affecte la santé des troupeaux de caribous ou la récolte de subsistance des Inuits.
- Une entité transfrontalière de gestion et de coordination devrait être établie pour le caribou.



L'OMBLE CHEVALIER EST UNE IMPORTANTE SOURCE DE NOURRITURE QUI EST MENACÉE PAR LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

- La viabilité de la pêche de l'omble chevalier doit continuer à être évaluée.
- L'amélioration de l'habitat de l'omble chevalier et son repeuplement doivent être considérés.
- La surveillance communautaire des populations d'omble chevalier doit être mise en place.



LA VÉGÉTATION ET LA PRODUCTION DE PETITS FRUITS SONT AFFECTÉES PAR LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

- Les zones de récolte de petits fruits situées près des communautés doivent être préservées.



LES RESSOURCES EN EAU SONT AFFECTÉES PAR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. MAINTENIR UNE EAU POTABLE DE QUALITÉ DANS LES COMMUNAUTÉS EST UN DÉFI

- Le suivi de la qualité de l'eau provenant de sources primaires et secondaires d'eau potable dans les communautés doit être amélioré.
- Les importantes sources d'eau potable situées à proximité des communautés doivent être protégées.



LE DÉGEL DU PERGÉLISOL MODIFIE L'ENVIRONNEMENT NATUREL ET REQUIERT UNE INFRASTRUCTURE PLUS ADÉQUATE

- Une planification urbaine et des pratiques d'ingénierie appropriées devraient être appliquées pour que la construction prenne en considération les conditions environnementales locales, incluant les impacts de la fonte du pergélisol et des changements climatiques.



LES ÉCOSYSTÈMES DE FJORD CHANGENT À LA SUITE D'UNE RÉDUCTION DE LA SURFACE ET DE LA DURÉE DU COUVERT DE GLACE DE MER

- Une meilleure compréhension des rivières ainsi que des écosystèmes côtiers du Nunavik et du Nunatsiavut est primordiale.



LE NUNATSIAVUT ET LE NUNAVIK ONT COMMENCÉ À PROTÉGER LEURS TERRITOIRES ET ILS PLANIFIENT DE CONTINUER À LE FAIRE

- Les parcs, les zones protégées ainsi que les territoires préservés du développement industriel doivent continuer à être identifiés pour la conservation des écosystèmes essentiels.



Chapitre 1. La péninsule du Nunavik et du Nunatsiavut : un territoire inuit

Principaux auteurs

Michel Allard et Mickaël Lemay
ArcticNet, Centre d'étude nordiques (CEN), Université Laval

Auteurs collaborateurs

M. Barrett, M. Bertol, F. Brassard, S. Cossette, G. Duhaime, N. Girard, F. Poisson, T. Sheldon et A. Simpson

Résumé

Ce chapitre présente un aperçu de la géographie du territoire qu'englobe cette Étude intégrée d'impact régional. Le Nunavik au Québec et le Nunatsiavut à Terre-Neuve-et-Labrador sont deux territoires subarctiques où les Inuits représentent la majorité de la population. Ils ont tous deux des régimes de gouvernance régionale dirigés par des Inuits et découlant de grands accords historiques. La Convention de la Baie James et du Nord Québécois (1975) est le traité par lequel ont été créés le Nunavik et ses institutions gouvernementales. L'Accord de principe sur les revendications territoriales des Inuits du Labrador (2005) est à l'origine du gouvernement du Nunatsiavut. La région à l'étude est la partie nord de la péninsule « Québec-Labrador » qu'une décision judiciaire prise à Londres (Angleterre) en 1927 a divisée, créant une frontière le long de la ligne de partage des eaux du bassin versant du Labrador. Tous les villages inuits (14 au Nunavik et 5 au Nunatsiavut) sont situés le long du littoral, et bon nombre d'entre eux se trouvent à l'embouchure de grandes rivières ou dans des fjords. Actuellement, il y a une augmentation rapide de la population du Nunavik, alors qu'au Nunatsiavut, la population est plus ou moins stable, quoiqu'on y ait récemment observé une augmentation du taux de natalité. Les populations de ces deux régions sont aux prises avec des problèmes économiques; en matière de taux de chômage et de niveau de revenu, elles sont défavorisées comparativement au reste du Canada, y compris les autres régions inuites. De la même façon, les conditions sanitaires et la sécurité alimentaire sont inférieures aux standards de la plupart des régions du Canada. La péninsule Québec-Labrador est reconnue comme ayant un fort potentiel minier, ce qui suscite un double défi d'adaptation dans un contexte de changements climatiques et environnementaux rapides et de pression en faveur du développement industriel. Ayant assumé la responsabilité de leur territoire, les Inuits des deux régions ont déjà produit des plans d'aménagement du territoire qui proposent d'exclure du développement les zones nécessaires pour vivre et les écosystèmes qui doivent être protégés, tout en laissant quand même la porte ouverte au développement économique.



1.1 Introduction

Le Nunavik et le Nunatsiavut sont des territoires inuits faisant partie de l’Inuit Nunangat. Ils recèlent des richesses naturelles, humaines et culturelles exceptionnelles. Les communautés inuites du Nunavik et du Nunatsiavut partagent de nombreux intérêts avec les Inuits du Nunavut, du territoire des Inuvialuits, de l’Alaska et d’autres communautés circumpolaires.

À l’échelle mondiale, ces populations sont les plus affectées par les impacts du réchauffement climatique. Les scientifiques, tout comme les habitants du Nord, font état des impacts directs du réchauffement climatique accéléré observés au Nunavik et au Nunatsiavut. Le pergélisol se réchauffe et commence à dégeler, affectant les infrastructures de transport et les communautés. Les gouvernements et les communautés appuient les projets de recherche en cours qui visent à améliorer la planification de l’aménagement du territoire et à concevoir des solutions techniques pour s’adapter aux terrains fragiles. Les Inuits et les chercheurs signalent aussi des changements dans la couverture végétale. Les arbustes se répandent dans la toundra forestière et on signale une progression de la limite des arbres en hauteur sur les flancs des collines dans la région est de la baie d’Ungava. Les répercussions prévues sur les espèces animales clés, comme les grands troupeaux de caribous et les populations d’omble chevalier, se produiront vraisemblablement par le biais d’une série d’interactions entre les facteurs climatiques, la disponibilité de la nourriture, les dynamiques du couvert végétal, la température de l’eau, la durée et l’épaisseur de la couverture de glace sur les lacs et les rivières, les dynamiques des populations, les rapports entre herbivores et les rapports proies-prédateurs. Des conditions dangereuses de la glace limitent l’accès aux ressources alimentaires et augmentent le risque de blessures et même de décès pour les habitants du Nord qui pratiquent des activités traditionnelles comme la chasse et la récolte de subsistance. Les stratégies d’adaptation pour les gens qui dépendent de ces ressources prendront probablement diverses approches dans l’ensemble de ce domaine géographique varié.

Les impacts des changements climatiques se produisent alors que les populations du Nord connaissent le développement et la diversification de leurs activités socioéconomiques, ce qui s’accompagne d’une croissance démographique rapide au Nunavik, et tandis que les deux gouvernements régionaux évoluent vers une plus grande autonomie. La mondialisation économique et culturelle constitue un moteur additionnel de changement qui contribue à modifier le mode de vie des Nunavimmiut et des Nunatsiavummiut. Étant donné ce contexte de transformation suscité par les changements climatiques et socio-économiques actuels, la capacité d’adaptation des habitants du Nord dépend des connaissances approfondies des changements en cours et à venir et des impacts anticipés sur leur milieu naturel.

Ce chapitre donne une description de la géographie de la région à l’étude, résumant ses principaux traits biophysiques et présentant un portrait sommaire de ses conditions socioéconomiques actuelles. On y présente également les principaux éléments de gouvernance du Nunavik et du Nunatsiavut et les plans actuels d’aménagement du territoire par ces gouvernements. On aborde aussi brièvement le rôle des activités industrielles dans la région à l’étude, comme modèle de changement actuel et potentiel.

1.2 Les communautés dans leur milieu naturel

La péninsule du Nunavik et du Nunatsiavut (figure 1) est bordée par la mer sur trois côtés (la baie d’Hudson à l’ouest, le détroit d’Hudson et la baie d’Ungava au nord et la mer du Labrador à l’est). Cette situation géographique donne lieu à un climat de type continental, mais avec certaines influences côtières causant de fortes précipitations, principalement sous forme de neige, le long du littoral de la baie d’Hudson et de plus faibles variations de température le long des côtes du Nunatsiavut. La région entière fait partie du Bouclier canadien et ses sommets les plus élevés sont les monts Torngat, le long de la frontière entre le Nunavik et le Nunatsiavut. Les seuls



Figure 1. La péninsule du Nunavik et du Nunatsiavut et ses villages inuits.

glaciers à l'est des Rocheuses dans le Canada continental se trouvent dans les monts Torngat. Il y a transition de la forêt à la toundra et transition du pergélisol discontinu à continu dans les deux territoires. Le climat se réchauffe rapidement depuis le début des années 1990 et les modèles climatiques prévoient une augmentation de température de 3 à 4 °C et une augmentation des précipitations de l'ordre de 10 à 25 % d'ici la moitié du siècle, comparativement à la période de 1960 à 1990 (voir le chapitre 2). L'IRIS de la région subarctique de l'Est peut se diviser en quatre régions de paysages différents : le littoral de la baie d'Hudson, le littoral du détroit d'Hudson, le littoral de la baie d'Ungava et le littoral de la mer du Labrador (Figure 2). La plupart des villages sont situés à l'embouchure des rivières ou des estuaires qui drainent les vastes bassins hydrographiques intérieurs. Le paysage côtier de la baie d'Hudson, de Pointe Louis-XIV (Cape Jones) à Inukjuak, se caractérise par la présence de cuestas, un ensemble géomorphologique structural donnant

un relief rocheux spectaculaire, avec des falaises faisant face à l'est à des détroits et des golfes et une pente s'inclinant doucement sous les eaux de la baie d'Hudson. D'Inukjuak à Ivujivik le littoral est constitué d'affleurements rocheux peu élevés, de petites îles et de plages discontinues. L'amplitude des marées le long des côtes de la baie d'Hudson est faible (généralement moins de 1,5 mètre); cependant, le grand fetch de la baie et les vents forts produisent de fortes vagues de tempête. La glace couvre le littoral pendant environ six mois chaque année (de décembre à mai).

Le littoral de la baie d'Hudson compte six communautés inuites (Kuujuaapik, Umiujaq, Inukjuak, Puvirnituq, Akulivik et Ivujivik) et une communauté de la Première nation crie (Whapmagoostui) qui partage la superficie du delta de la rivière Grande-Baleine avec la communauté de Kuujuaapik. Dans les années 1950, les Inuits qui vivaient dans la région du lac Guillaume-Delisle ont déménagé à

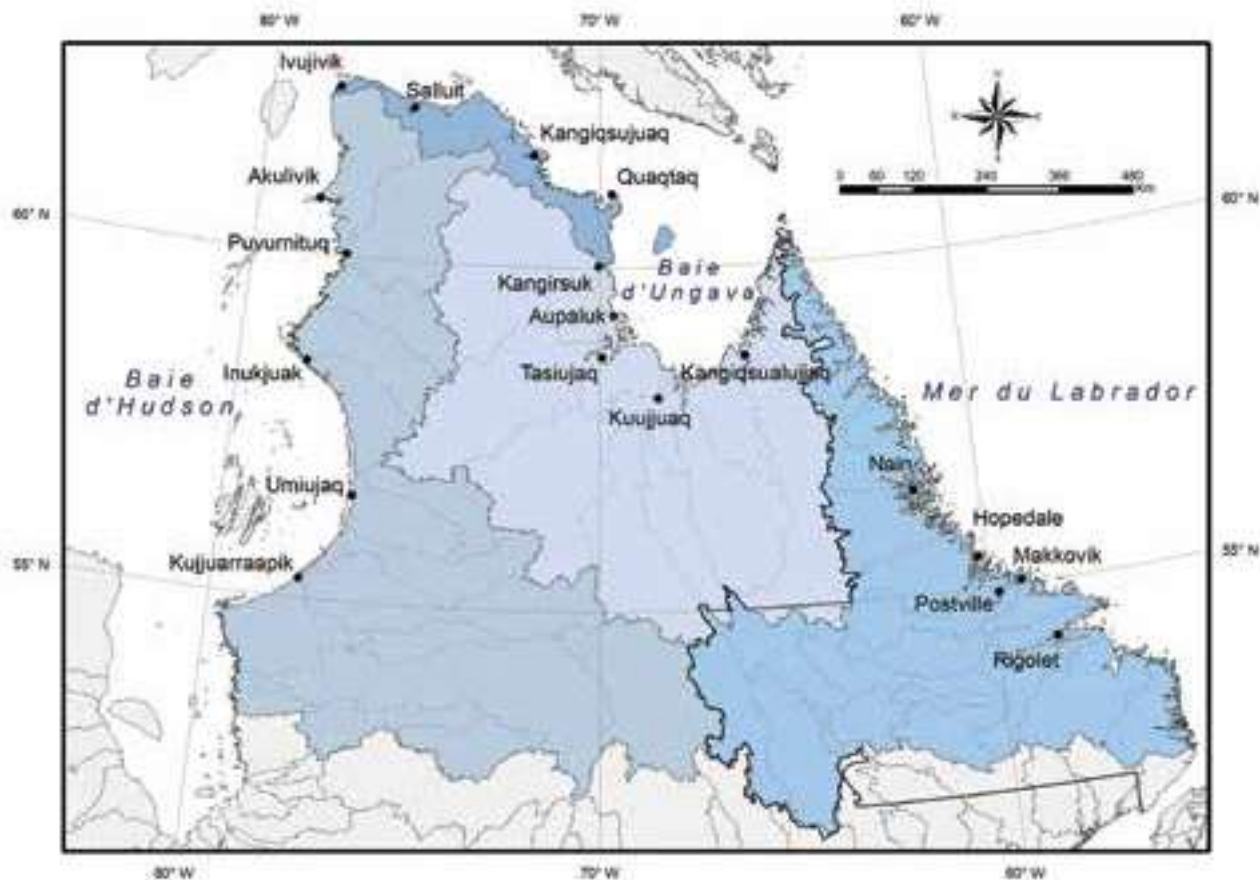


Figure 2. Les quatre régions distinctes de l'IRIS de la région subarctique de l'Est du Canada : le littoral de la baie d'Hudson (bassin versant ouest), le littoral du détroit d'Hudson (bassin versant nord), le littoral de la baie d'Ungava (bassin versant central) et le littoral de la mer du Labrador (bassin versant est).

Kuujuaaraapik pour se rapprocher d'une base des forces aériennes de ligne de défense mid-Canada. Le village d'Umiujaq a été bâti en 1986 en vertu d'une clause de la Convention de la Baie James et du Nord du Québec qui visait à permettre le retour des Inuits sur leur terre d'origine. Il est édifié sur des plages soulevées disposées sur la pente douce de la cuesta, sur la formation géologique de Nastapoka. Les villages de Kuujuaaraapik et d'Umiujaq sont tous deux situés dans la région du monde qui connaît le taux le plus élevé de soulèvement postglaciaire, avec un taux d'émergence de 13 cm par année. Le paysage exceptionnel du lac Guillaume-Delisle, avec ses magnifiques falaises et sa richesse écologique, deviendra sous peu un parc national québécois

qui s'étendra vers l'intérieur jusqu'à la région du lac à l'Eau Claire. Le village de Kuujuaaraapik n'est pas situé sur du pergélisol, tandis que le village d'Umiujaq et ses environs se situent en zone de pergélisol discontinu. Umiujaq se trouve à la limite des arbres.

Plus au nord, les villages d'Inukjuak et de Puvimtuq ont grandi aux embouchures des grandes rivières et tous deux se trouvent en zone de pergélisol continu. Ce sont d'assez grands villages et Puvimtuq est un centre régional muni d'un hôpital. Akulivik est une petite communauté nichée dans un rentrant près du promontoire de Cape Smith; une particularité de son milieu naturel est l'abondance de

coquillages d'origine marine dans le sol sur lequel le village est construit. Ivujivik est le village le plus septentrional du Québec. Il est principalement construit sur le roc et est entouré de falaises spectaculaires comme celles de Cape Wolstenholme qui marque le point de transition entre la baie d'Hudson et le détroit d'Hudson.

Le paysage côtier du détroit d'Hudson est constitué d'une série de hauts promontoires et de fjords, lesquels sont des baies profondes qui offrent des ports abrités et un accès à l'intérieur par le biais de vallées et de rivières. Les villages de Salluit et Kangiqsujuaq sont situés dans des fjords, de même que le port de Deception Bay qui donne accès à la région minière de Katinnik. L'amplitude de la marée est grande à cet endroit, généralement de plus de cinq mètres. Les fjords sont gelés pendant à peu près sept mois par année. À l'est de Kangiqsujuaq, la grande baie Diana et le promontoire de Cape Hopes Advance échancrent le littoral. Le Cap Hopes Advance marque la transition entre les côtes du détroit d'Hudson et celles de la baie d'Ungava.

Salluit est un grand village confronté à de sérieux problèmes d'aménagement du territoire à cause de la présence d'un pergélisol très riche en glace (voir le chapitre 6). Son aéroport est le terminus de vols quotidiens qui arrivent de Montréal et repartent par les routes aériennes de l'Ungava et de la baie d'Hudson, ce qui fait de ce village une plaque tournante pour les voyageurs. Kangiqsujuaq est la porte d'entrée du parc national québécois des Pingaluit, créé autour du cratère du Nouveau-Québec. Le village de Quaqtac, de par son emplacement sur le promontoire de Cape Hopes Advance, est particulièrement affecté par le climat maritime donnant lieu à du temps souvent humide et brumeux.

Quatre villages inuits sont situés sur le littoral ouest de la baie d'Ungava (Kangirsuk, Aupaluk, Tasiujaq et Kuujuaq) tandis que le village de Kangiqsualujuaq se trouve sur la côte sud-est de la baie, le plus près du Nunatsiavut. Plusieurs grandes rivières convergent vers la baie, les principales étant, d'ouest en est, la rivière Arnaud, la rivière aux Feuilles, la rivière Koksoak, la rivière à la Baleine et la rivière George. La baie d'Ungava connaît de très grandes marées dont les

amplitudes sont semblables, voire supérieures à celles de la baie de Fundy dans l'Est du Canada et à celles de la baie du Mont Saint-Michel en France. En conséquence, les cours inférieurs des rivières sont des estuaires très dynamiques. La baie d'Ungava et ses tributaires constituent un écosystème estuarien unique qui n'a pas son pareil ailleurs dans l'Arctique.

Le village de Kangirsuk est bâti sur plusieurs paliers sur le littoral escarpé et rocheux de l'estuaire de la rivière Arnaud, tandis qu'Aupaluk est une toute petite communauté établie dans une baie, sur les berges d'un vaste estran. Le village de Tasiujaq se situe à l'embouchure de la rivière Bérard, dans l'immense Baie-aux-Feuilles, à la tête d'un vaste estran. C'est là qu'ont été mesurées les plus grandes marées du monde. Kuujuaq, la capitale régionale du Nunavik, est située à 53 km en amont de l'embouchure de l'estuaire de la rivière Koksoak, dans la baie d'Ungava. Le régime hydrodynamique naturel de la rivière a été modifié en 1981 par la construction en amont du barrage de Caniapiscou. À l'origine, la communauté inuite et les installations de la Compagnie de la Baie d'Hudson se situaient sur le côté est de la rivière, où se trouve maintenant le site historique d'Old-Fort-Chimo. La communauté a déménagé à son site actuel après la Seconde Guerre mondiale, là où se trouvait un aéroport construit par l'armée américaine. L'aéroport de Kuujuaq est la plaque tournante régionale entre le Sud, les autres localités du Nunavik et Iqaluit. On trouve à Kuujuaq un hôpital régional, l'Administration régionale Kativik, le siège social de la société Makivik et le Centre de recherche du Nunavik. Le village de Kangiqsualujuaq se situe sur la côte est de l'estuaire de la rivière George, près de la baie Anikasakalak, qui devient un large estran à marée basse. Il existe des liens humains forts entre cette communauté et le Labrador, à cause des migrations passées, des liens familiaux et même des légendes partagées. Le village de Kangiqsualujuaq est la porte d'entrée du parc national québécois de Kuururuaq, mitoyen au parc national canadien des monts Torngat au Nunatsiavut. On y trouve le centre d'accueil du parc et c'est aussi la destination finale de nombreux pagayeurs qui descendent la rivière George.

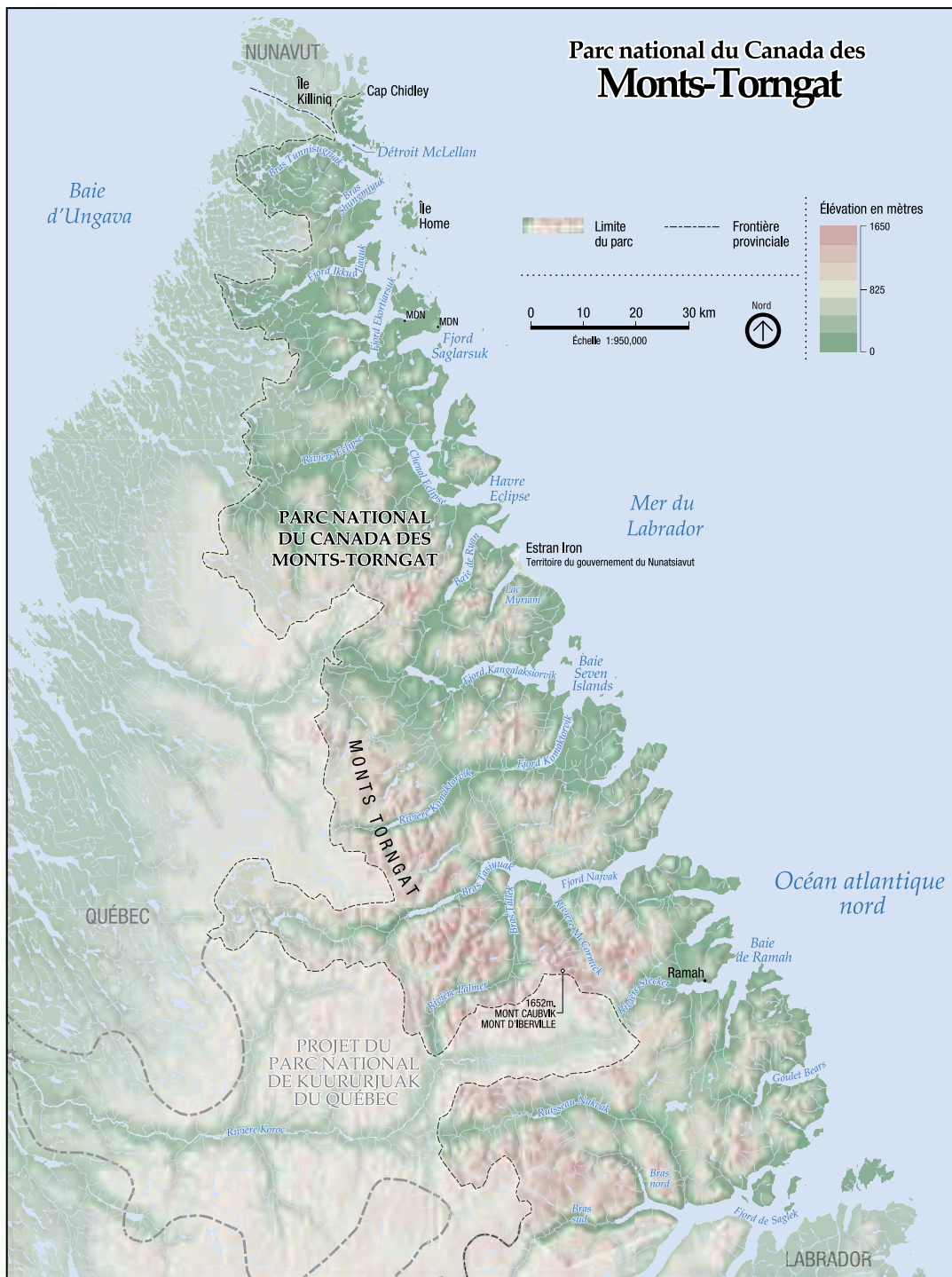


Figure 3. Le Parc national canadien des Monts-Torngat, qui occupe près du tiers du Nunatsiavut.



Au Nunatsiavut, le littoral maritime héberge cinq villages inuits qui sont, du nord au sud : Nain (capitale administrative), Hopedale (capitale législative), Postville, Makkovik et Rigolet. Des fjords spectaculaires, caractérisés par des passages étroits incisés par l'activité glaciaire, échancrent le paysage côtier au nord du Labrador. Certains des fjords sont des bassins sédimentaires profonds séparés par des seuils rocheux et entourés de falaises abruptes. La pointe nord de la péninsule du Nunatsiavut offre un paysage montagneux exceptionnel. Elle constitue la majeure partie du parc national canadien des monts Torngat qui couvre environ le tiers du Nunatsiavut (figure 3). Torngat est le mot inuktituk pour désigner « le lieu des esprits » et les Inuits et leurs ancêtres ont vécu dans ces montagnes depuis des milliers d'années. Le parc s'étend du fjord de Saglek au sud, incluant les îles et les îlots, jusqu'à la toute dernière pointe au nord du Labrador;

et de la frontière provinciale avec le Québec à l'ouest jusqu'aux eaux où s'entrechoquent les icebergs de la mer du Labrador à l'est. Les sommets montagneux le long de la frontière avec le Québec sont les plus hauts à l'intérieur du Canada à l'est des Rocheuses et ils sont parsemés de petits glaciers. Les ours polaires chassent les phoques le long des côtes et les hardes de caribous des monts Torngat et de la rivière George se croisent lors de leurs migrations pour se rendre aux lieux de mise bas et en revenir. De nos jours, les Inuits continuent à chasser, à pêcher et à se déplacer dans cette région pendant toute l'année.

Sur la côte centrale du Labrador on trouve de petits bras de mer peu profonds, de formes irrégulières sculptées par la glace, aux parois à pentes plus douces et caractérisés par de grandes zones intertidales. Ce sont des fjords. Les fjords et les fjards du littoral maritime du Nunatsiavut

sont très dynamiques et les écosystèmes marins variés sont influencés par les masses d'eau de l'Atlantique et de l'Arctique et par les sédiments, les nutriments et les apports d'eau douce provenant des glaciers et des rivières. Ils procurent aux communautés des refuges climatiques et hébergent plusieurs ressources naturelles dont dépendent les habitants.

Les cinq villages du Nunatsiavut sont de petites communautés isolées. Ils sont tous construits dans des zones forestières, le bois ayant depuis toujours été une ressource locale. Ces communautés sont interreliées par le biais des services réguliers de transport maritime côtier qui approvisionnent la côte nord du Labrador. Ces villages côtiers sont aussi accessibles par petits avions (principalement de type *Twin Otter*), avec des vols partant de Happy Valley–Goose Bay, dont l'horaire dépend toujours du climat. Nain est le village le plus au nord et celui qui compte la plus forte population avec environ 1 250 résidents. Ce sont des missionnaires de Moravie qui ont fondé le village en 1771. Il se trouve à l'extrémité est de la péninsule, face à la mer du Labrador, mais il est protégé à l'est par une multitude d'îles. La communauté de Nain a un mode de vie maritime traditionnel de longue date et l'usine locale de poissons, exploitée de mai ou juin à octobre, transforme l'omble chevalier frais ou fumé, la morue, le pétoncle et parfois le turbot, le flétan et d'autres espèces marines. Nain a aussi deux carrières de pierre exploitées sur deux îles locales afin d'extraire du granite contenant de la labradorite, une pierre de couleur bleue grandement appréciée à l'échelle internationale. Hopedale est un petit village d'environ 620 résidents qui a aussi été établi en 1782 par des missionnaires de Moravie. L'édifice de la Mission de Hopedale, qui subsiste encore, est considéré comme étant un des plus vieux édifices, sinon le plus vieux, à l'est de Québec. Le village de Makkovik est situé dans une baie près du Cap Makkovik et a été fondé dans les années 1850 comme poste de la Compagnie de la Baie d'Hudson. La population s'est accrue à la fin du XIX^e siècle dû à l'arrivée de colons moraves et d'Inuits de la région, devenant ainsi l'avant-poste le plus au sud des colonies moraves. Au nord-ouest de Makkovik se trouve le village de Postville, situé à environ 30 km le long de la Baie Kaipokok.

Le village de Rigolet est situé au sud du Nunatsiavut, sur les berges d'un étroit passage à l'entrée du lac Melville.

1.3 Contexte socioéconomique

Au cours des dernières années, le profil démographique de la région subarctique de l'Est du Canada a connu des changements importants qui suivent des tendances opposées au Nunavik et au Nunatsiavut. De nos jours, la population du Nunavik est d'environ 12 090 habitants (en 2011) répartis dans 14 villages. La population du Nunatsiavut est de 2 617 habitants (en 2011) répartis dans 5 villages. Au Nunavik, la récente croissance démographique entre 2006 et 2011 a été très forte, soit de l'ordre de 10,4 %, tandis qu'au Nunatsiavut elle n'a été que de 8,40 %. C'est Tasuqiaq qui a connu la plus forte augmentation de population, soit de 22 % entre 2006 et 2011 (figure 4). Les villages d'Akulivik et de Quaqtak ont aussi connu des taux élevés de croissance démographique avec des variations respectives de population d'environ 21 % et 19 %. Cette tendance à la hausse est encore plus importante si l'on utilise les données démographiques de 1996 à 2006 de l'Institut national de la statistique du Québec. En effet, la population serait passée de 8 820 habitants en 1996 à 10 784 habitants en 2006, ce qui représente une augmentation totale de l'ordre d'environ 30 % en 13 ans.

1.3.1 Démographie et sources de revenus au Nunavik

La population du Nunavik ressemble peu à celle du reste du Québec. En comparaison, elle ne représente qu'une petite portion de la population totale. Contrairement au reste de la province, elle est constituée principalement d'Inuits et il y a plus d'hommes que de femmes – un fait en corrélation avec d'autres régions de l'Arctique. Selon la Société Makivik, 1 000 résidents du Nunavik ne sont pas des Inuits, ce qui représente environ 10 % de la population totale.

La population inuite du Nunavik a connu une croissance rapide depuis les années 1960, passant de 798 en 1961 à

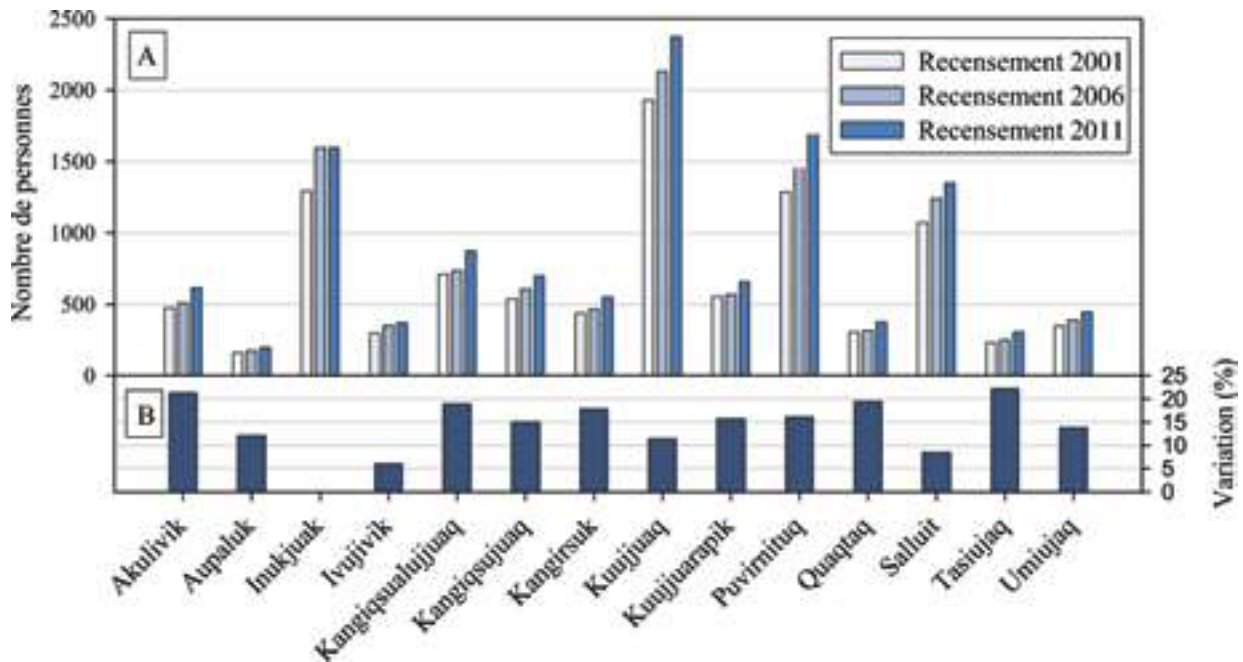


Figure 4. A) Comparaison du nombre d'individus par village au Nunavik selon les recensements de 2001, 2006 et 2011 de Statistiques Canada. B) Variation (en pourcentage) entre les recensements de 2001 et de 2006.

3 278 en 1971, 4 115 en 1981, 7 693 en 1991 (Statistique Canada) et 10 784 en 2006 (Institut national de la statistique du Québec, 2006). La croissance démographique au Nunavik est principalement liée à l'importante proportion de jeunes. On peut voir à la figure 5 qu'une grande partie de la population est constituée de jeunes de moins de 15 ans; les enfants sont en plus grand nombre que les aînés. L'âge moyen est plus bas au Nunavik qu'au Québec. En 2006, 54 % de la population était âgée de 24 ans ou moins. Cela signifie qu'en général les gens en âge de travailler au Nunavik ont la responsabilité d'un plus grand nombre de personnes non actives que les autres Québécois.

Les Nunavimmiut sont presque tous locataires, puisque la plupart des maisons sont des propriétés de l'État. Ils occupent généralement des logements à loyer modique qui ont besoin de réparations majeures. À cause de la croissance rapide de la population, le nombre de personnes par foyer est excessif. Plus de 25 % de ces logements sont surpeuplés et c'est là une des causes majeures de l'agressivité et de la violence dans les ménages. Le taux de violence familiale est de six à dix fois

plus élevé au Nunavik qu'ailleurs au Québec (*Qanuippitaa? Enquête sur la santé*, 2004).

Dans le passé, le niveau d'éducation était plus faible au Nunavik qu'ailleurs au Québec. Cela s'améliore toutefois et il y a un plus grand nombre de personnes qui terminent leurs études secondaires (Fuzessy, 2002; Van Wagner, 2007). Le

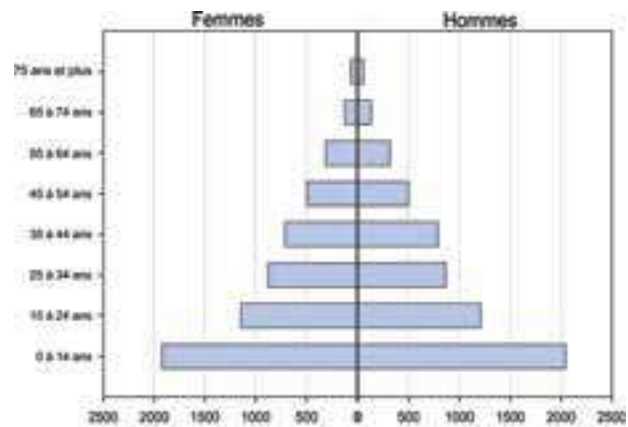


Figure 5. Pyramide des âges au Nunavik.

faible niveau d'éducation est certainement relié au fait qu'il n'y a pas d'établissement d'enseignement postsecondaire au Nunavik.

L'économie du Nunavik dépend de la présence des emplois gouvernementaux – en fait, les activités gouvernementales sont la plus importante industrie de la région. Les emplois gouvernementaux dans les secteurs de la santé et de l'éducation représentent plus de 40 % de tous les emplois. Si l'on ajoute les autres services gouvernementaux, ce chiffre dépasserait facilement 50 %. Les gens en âge de travailler au Nunavik participent à la population active en plus grande proportion qu'au Québec. Cependant, il y a moins de personnes employées et le taux de chômage est presque le double de celui de la province dans son ensemble.

Le niveau de revenu relatif est inférieur au Nunavik. Les Nunavimmiut âgés de 15 ans et plus gagnent seulement 90 % du revenu de leurs contreparties dans le reste du Québec, et un peu moins de 80 % sur une base individuelle. L'imposition ne change rien à ces chiffres puisqu'ils sont identiques avant et après impôt. Les revenus provenant d'autres sources, comme les contrats et le travail autonome, ayant moins d'importance au Nunavik, les emplois salariés et les avantages sociaux constituent une plus grande partie des sources de revenu que dans le reste du Québec. Les emplois salariés constituent plus de 80 % du revenu de la population active. Les Inuits en âge de travailler jouent un rôle clé en contribuant au revenu du ménage, même si leur revenu est inférieur (Chabot, 2003 et 2004). Il n'est donc pas surprenant que la ventilation du revenu des Inuits en âge de travailler indique de façon proportionnelle moins de gains et plus de paiements de transfert qu'une ventilation semblable dans la tranche de la population active incluant les Inuits et les autres.

1.3.2 La démographie et les sources de revenus au Nunatsiavut

Le profil démographique régional du Nunatsiavut diffère légèrement de celui du Nunavik. En 2011, on estimait à 2 617 le nombre d'Inuits habitant le Nunatsiavut. Les

communautés du Nunatsiavut sont petites et comptent habituellement moins de 1 000 habitants. Le village de Nain fait exception avec une population de 1 188 personnes, ce qui représente 45 % de la population totale du Nunatsiavut (recensement de 2006, Statistique Canada). La population du Nunatsiavut est passée de 2 414 habitants en 2006 à 2 617 habitants en 2011.

Toutefois, on observe une tendance à la baisse dans deux des cinq villages du Nunatsiavut (figure 6). Le village de Postville est celui qui a connu le plus important déclin démographique; sa population ayant diminué d'environ 5,9 % entre 2006 et 2011. Le village de Makkovik a aussi connu une légère baisse démographique avec une diminution de l'ordre de 0,3 % pendant la même période. Nain a enregistré la plus forte croissance démographique, soit environ 15 %. Ces changements dans la population au Nunatsiavut se sont cependant accompagnés d'une hausse des taux de natalité, comme l'indique la figure 7. La structure des âges dans les villages du Nunatsiavut est clairement dominée par le groupe des 0 à 14 ans qui représentent 20 % de la population totale. L'âge moyen est donc inférieur au Nunatsiavut, à cause de la plus forte proportion d'enfants de moins de 15 ans.

Malgré le récent ralentissement du taux de croissance de la population, le nombre moyen de personnes par ménage est plus élevé au Nunatsiavut qu'au Sud. Toutefois, les différences entre le Nunatsiavut et le reste de Terre-Neuve-et-Labrador ne sont pas aussi grandes que celles observées entre le Nunavik et le reste du Québec.

Comme au Nunavik, la proportion des locataires au Nunatsiavut est le double de ce que l'on trouve ailleurs à Terre-Neuve-et-Labrador, et quatre fois plus de maisons ont besoin de réparations majeures par rapport à la moyenne provinciale. Au Nunatsiavut, la population en âge de travailler est responsable d'un plus grand nombre de personnes non actives que dans le reste de la province. Le niveau d'éducation est plus faible que dans le reste de Terre-Neuve-et-Labrador, mais cela change puisqu'un plus grand nombre de jeunes obtiennent des diplômes d'études secondaires.

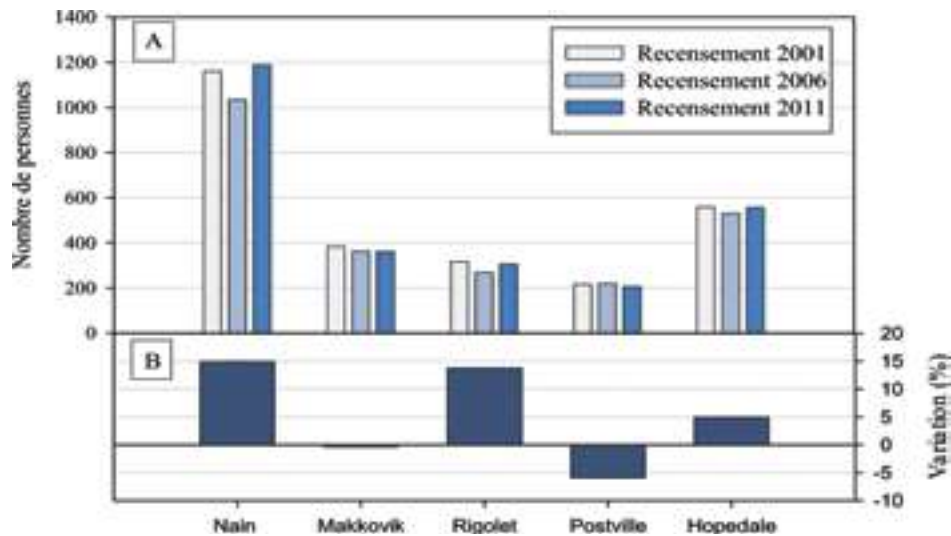


Figure 6. A) Comparaison du nombre d'individus par village au Nunatsiavut selon les recensements de 2001, 2006 et 2011 de Statistique Canada et B) Variation (en pourcentage) entre les recensements de 2001 et 2006.

L'économie du Nunatsiavut a une structure semblable à celle de Terre-Neuve-et-Labrador. Les principaux employeurs sont dans les domaines des ressources naturelles, de la santé et de l'éducation (moins dans les secteurs secondaires et autres services, mais tout de même plus que dans le reste de la province). Cependant, il y a peu de différences entre le Nunatsiavut et le Nunavik à cet égard et les deux régions participent de manière égale à leur population active respective.

Néanmoins, il existe des différences importantes. Au Nunatsiavut, il y a proportionnellement moins d'emploi et le taux de chômage est presque le double de celui de Terre-Neuve-et-Labrador. Le revenu relatif est plus faible : les gens du Nunatsiavut âgés de 15 ans et plus gagnent 90 % du revenu de leurs contreparties dans la province, et un peu moins de 80 % sur une base individuelle. L'imposition ne change rien à ces chiffres puisqu'ils sont identiques avant et après impôt.

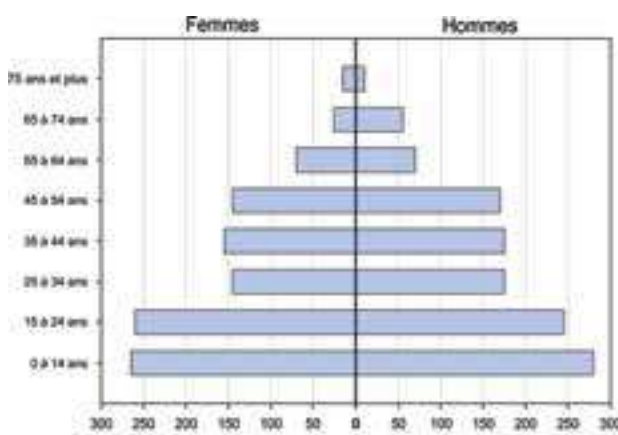


Figure 7. Pyramide des âges au Nunatsiavut. Les données de Happy Valley-Goose-Bay et de Cartwright au Labrador ne sont pas incluses.

Les revenus provenant d'autres sources, comme les contrats et le travail autonome, ayant moins d'importance au Nunatsiavut, les emplois salariés et les avantages sociaux constituent la majeure partie du revenu comparativement au reste de Terre-Neuve. Les emplois salariés représentent plus de 76 % du revenu de la population et ils contribuent de façon importante au revenu des ménages (Richling, 1989).

Toutefois, le revenu médian des Inuits en âge de travailler y est inférieur comparativement à l'ensemble de la population active, incluant les Inuits et les autres. Ce n'est donc pas surprenant que la ventilation du revenu des Inuits en âge de travailler indique proportionnellement moins de gains et plus de paiements de transfert que la même ventilation faite pour toute la population active. Toutes ces différences sont plus petites que les mêmes mesures prises entre le Nunavik et le reste du Québec.

1.3.3 Contexte historique et actuel de la gouvernance au Nunavik

À court ou moyen terme, on ne s'attend pas à un ralentissement de la croissance démographique au Nunavik, car l'économie est actuellement stimulée par des projets de développement d'échelle mondiale, comme le Plan Nord (Développement du Nord), sollicité par la demande internationale croissante en ressources naturelles. Cependant, dans ce contexte de mondialisation, il n'est pas encore clair de quelle façon le Nunavik bénéficiera de ce développement économique actuel et futur et quel sera le cadre gouvernemental qui appuiera et maximisera les résultats positifs de ce développement. Ce sont là des questions particulièrement pertinentes étant donné la crise actuelle du logement qui persiste depuis déjà plusieurs années, suggérant que les administrations fédérales, provinciales et régionales n'ont pas encore mis en place la structure ou les processus adéquats pour faire face à un tel développement socioéconomique majeur dans les années qui viennent.

Historiquement, au début des années 1900, les organismes fédéraux et provinciaux n'avaient pas de responsabilités bien définies en ce qui concerne les habitants du Nord. Les interventions gouvernementales de l'époque visaient principalement à étendre le territoire canadien afin d'accroître les réserves de ressources naturelles et soutenir le développement économique du pays (Duhaime, 1985). Pendant les années 1940, après une longue période d'isolement parsemée de quelques interventions gouvernementales mineures, l'implication du gouvernement dans les politiques sociales et de santé s'est accrue, avec l'ouverture des premiers dispensaires et l'adoption du Programme d'allocations familiales, ce qui a grandement contribué au processus de sédentarisation des Inuits et a permis d'augmenter leur revenu (Saladin d'Anglure, 1984; Damas, 1996). Cependant, le gouvernement fédéral n'était pas en faveur de cette tendance à la sédentarisation à cette époque et il a décrété des mesures dissuasives dans les années 1950, comme l'interdiction de vendre des matériaux de construction aux Inuits et l'accès aux soins de santé réservé aux Inuits qui pratiquaient leur mode de vie traditionnel (Duhaime, 2001). Cette période est aussi

marquée par le déplacement des Inuits d'Inukjuak à Resolute Bay et Grise Fjord, une intervention fédérale drastique qui visait à assurer la souveraineté canadienne dans le Haut-Arctique, et aussi à contrôler la croissance démographique d'Inukjuak (Saladin d'Anglure, 1984).

Après avoir lutté contre la tendance à la sédentarisation, le gouvernement fédéral a finalement décidé d'encourager l'établissement des Inuits dans des villages permanents par le biais de diverses interventions de l'État visant l'assimilation des Inuits en changeant (ou en remplaçant) leur mode de vie traditionnel et culturel par l'éducation et les technologies provenant du sud. Les années 1960 ont été marquées par le début de grandes interventions gouvernementales, notamment la mise en oeuvre de politiques et de programmes en matière de logement (p. ex., les maisons de type « matchbox » et les logements sociaux). Le gouvernement provincial a accru sa participation pendant cette décennie, ce qui a eu d'importantes répercussions sur l'organisation spatiale des développements publics et résidentiels dans les communautés du Nunavik. Dans les années 1960, l'intérêt accru pour le potentiel économique du Nord, avec le début des grands projets de développement minier et hydroélectrique, a fortement contribué à stimuler l'évolution politique de la région. En 1962, la Direction générale du Nouveau-Québec a été créée pour discuter du transfert des responsabilités administratives des Inuits du Nouveau-Québec du gouvernement fédéral au gouvernement provincial; l'entente a été signée en 1964. C'est en réaction et en signe de protestation contre cette entente que s'est formée l'Association des Inuits du Nord du Québec en 1971, devenant la principale organisation représentant les Inuits (Saladin d'Anglure, 1984; Damas, 1996) et véhiculant l'idée d'un gouvernement inuit. C'était aussi l'année de l'annonce du projet hydroélectrique de la Baie James par le Premier ministre du Québec Robert Bourassa, un projet qui a mené au conflit juridique concernant les revendications de territoires et droits ancestraux des Premières Nations et des Inuits. Les négociations concernant les droits territoriaux dans l'ensemble du Nouveau-Québec ont mené à la ratification de la Convention de la Baie James et du Nord québécois (CBJNQ) en 1975 (encadré 1).

Encadré 1. La Convention de la Baie James et du Nord québécois (CBJNQ)

La CBJNQ incarne le principe par lequel le Québec reconnaît les besoins des Cris, des Inuits et des Naskapis, prenant en considération que leur culture et leur mode de vie diffèrent du mode de vie des autres Québécois. En vertu de cette convention, le régime territorial doit respecter les occupations traditionnelles les plus importantes des nations autochtones – la chasse, la pêche et le piégeage. Toute initiative pour protéger l’environnement et le développement doit inclure la participation des autochtones au sein des comités gouvernementaux pour qu’ils puissent jouer un rôle actif dans les processus décisionnels. Le régime territorial est institutionnalisé par un régime des terres qui comprend trois catégories de terres (catégorie I, II et III) et en détermine la vocation, les modalités d’usage et les responsabilités de gestion.



Le but pour protéger les écosystèmes et les ressources vivantes au Nunavik est de « protéger les espèces menacées et d’assurer principalement la perpétuation des activités traditionnelles des Autochtones et, en second lieu, la satisfaction des besoins des non-Autochtones en matière de chasse et de pêche sportives.» (CBJNQ, art. 24.1.5). La Convention stipule également qu’avant d’obtenir un statut permanent les projets de parcs nationaux, de réserves de biodiversité et de réserves aquatiques doivent être soumis à un processus d’évaluation environnementale qui veille à la protection des milieux naturels et sociaux (Berrouard, 2002).

Outre les compensations financières pour la perte d’une partie du territoire des Cris, Inuits et Naskapis, le nouvel usage du territoire (discuté en détail ci-après) et les régimes des ressources accompagnés d’un nouveau processus pour effectuer les évaluations environnementales, le principal résultat de la CBJNQ a été la création de nouvelles structures de gouvernance. En effet, la Convention a permis la création des municipalités du Nunavik, de l’Administration régionale Kativik (ARK), de la Commission scolaire Kativik (CSK), de la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik (RRSSSN) et du Conseil régional de développement du Nunavik (Katufjiniq). Sous cette nouvelle structure de gouvernance, toutes les municipalités sont représentées au conseil de l’ARK, lequel est responsable de l’administration locale, des transports, des communications, des services de police, de la formation et de la gestion de la population active et des travailleurs spécialisés.

La CBJNQ a aussi mené à la création de la Société Makivik en 1978, un organisme inuit dont la principale mission est de promouvoir le développement politique et socioéconomique du Nunavik et de s’assurer que la convention est toujours adéquatement respectée. À cette fin, le mandat de la Société Makivik est de négocier avec les partenaires publics et privés. Cette société est rapidement devenue le principal moteur du développement économique du Nunavik. Tout étant un organisme à but non lucratif, la Société Makivik a fait des investissements très profitables et elle est maintenant propriétaire de bon nombre de sociétés filiales qui contribuent de façon importante aux occasions d’emploi au Nunavik. La Société Makivik et l’ARK travaillent ensemble sur de nombreuses questions sociales, environnementales et économiques visant la mise en application de la CBJNQ (encadré 2).

Depuis le début des années 1980, le Nunavik a constamment évolué vers l'autonomie administrative et politique par le truchement de divers accords avec des organismes gouvernementaux et privés. En 1991, les Inuits ont voté en faveur d'une proposition de gouvernement régional du Nunavik jouissant d'une plus grande autonomie. En 1999, la Commission du Nunavik a été créée, regroupant des représentants de Makivik et des gouvernements fédéral et provincial, afin d'élaborer une nouvelle forme de gouvernance pour le Nunavik, laquelle a été présentée en 2001 et subséquemment contestée par la Commission scolaire Kativik (CSK). Toutefois, la Cour a rejeté cette contestation et l'accord pour la création d'un gouvernement régional au Nunavik au sein de la province de Québec a été signé en deux étapes, en 2003 et 2007. En vertu de cet accord, le gouvernement régional devait être public et non ethnique, regrouper les trois principaux organismes publics (l'Administration régionale Kativik, la Commission scolaire Kativik et la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik), et être financé par les gouvernements fédéral et provincial. Pour que l'entente entre en vigueur, elle devait d'abord être approuvée par voie de référendum. Ce dernier a eu lieu récemment, en avril 2011. On a demandé à 7 881 personnes de répondre à la question suivante : « Approuvez-vous l'entente finale sur la création du gouvernement régional du Nunavik? » L'entente finale a été rejetée par un vote majoritaire de 67 % (2 842 personnes). Seulement 1 400 personnes ont voté en faveur de l'entente. Le taux de participation a été de 54,5 %. Il est à noter que cette entente n'aurait pas donné lieu à d'importants nouveaux pouvoirs pour le gouvernement régional. Les pouvoirs existants auraient été redistribués dans les mains des représentants (députés) élus par toute la population du Nunavik à l'échelon de l'administration régionale, qui auraient eu à fonctionner avec le soutien financier fourni par les organismes fédéraux et provinciaux. Dans le cadre de cette structure, une grande partie du pouvoir exécutif serait restée aux mains de la Société Makivik. Autrement dit, la majorité des personnes qui ont voté contre l'entente semblent croire que de regrouper l'ARK, la CSK et la RRSSSN en un gouvernement régional sans intégrer la Société Makivik,

comme l'entente finale le proposait, n'aurait pas conféré suffisamment de changements et de nouveaux pouvoirs aux Inuits du Nunavik. À l'heure actuelle, une nouvelle proposition d'entente pour un gouvernement régional du Nunavik fait l'objet de discussions au sein des divers organismes et cette proposition devrait être présentée et soumise au vote dans les années à venir.

Pendant ce temps, d'autres ententes ont été signées pour favoriser le développement économique et municipal des communautés et pour partager les retombées économiques du développement parmi les Inuits (Sanarrutik en 2002) et faciliter le transfert de fonds de Québec au Nunavik (Sivunirmut en 2004). Ces ententes ont également contribué à donner plus d'autonomie au Nunavik.

1.3.4 Contexte historique et actuel de la gouvernance au Nunatsiavut

Les maintes preuves archéologiques de l'existence des Inuits dans le Nord du Labrador remontent à quelque 4 000 ans. Le peuple de Dorset vivait dans le Nord du Labrador jusqu'à l'arrivée du peuple de Thule (les ancêtres directs des Inuits d'aujourd'hui), il y a environ 600 ans. Selon toute vraisemblance, ils auraient eu des contacts avec les Vikings autour du XI^e siècle. À partir du XVI^e siècle, des pêcheurs et des chasseurs de baleines se sont aussi rendus sur les côtes du Labrador, puis au cours du XVII^e siècle, des échanges commerciaux à grande échelle ont eu lieu avec les Européens et sont devenus plus réguliers après l'établissement en 1752 des premiers missionnaires de Moravie dans le Nord du Labrador. Le colonialisme a eu un grand impact sur les Inuits. Depuis ce temps, les Inuits du Nord du Labrador ont connu une longue série de changements, comme la réinstallation et la déconnexion progressive avec leur mode de vie traditionnel. Au cours des dernières décennies, les Inuits du Nord du Labrador ont repris avec vigueur le contrôle de leur territoire, de leurs activités socioéconomiques et traditionnelles, et aussi de leur identité politique par le biais de leur autonomie gouvernementale.

Encadré 2. La Société Makivik, le Centre de recherche du Nunavik et l'Administration régionale Kativik

Le Centre de recherche du Nunavik (CRN), basé à Kuujjuaq, est une initiative de la Société Makivik. L'objectif principal du CRN est de surveiller les contaminants toxiques et les métaux lourds que l'on peut trouver dans les ressources alimentaires traditionnelles des Inuits. Par conséquent, le CRN effectue de vastes études sur les poissons, les mammifères marins, la sauvagine et le caribou, dans le but de protéger la santé et surveiller l'innocuité des aliments des habitants des 14 localités qu'il sert au Nunavik.



Depuis sa création, le CRN a grandement bénéficié de son partenariat avec les membres des communautés et les chasseurs locaux pour la récolte d'informations sur le savoir traditionnel et pour l'échantillonnage effectué sur tout le territoire. Les données recueillies au fil des années contribuent de façon importante à la gestion durable des populations d'espèces sauvages dans la région. Par le biais de son service de cartographie, le CRN participe également à la surveillance des impacts environnementaux liés à l'extraction minière, au développement hydroélectrique et aux changements climatiques, ce qui aide à accroître la sécurité des communautés du Nunavik.



L'Administration régionale Kativik (ARK) est un organisme public dont les compétences s'étendent sur le territoire québécois au nord du 55^e parallèle. L'ARK agit au nom de tous les résidents de la région Kativik. Les mandats de l'ARK découlent de la Convention de la Baie James et du Nord québécois, de la *Loi sur les villages nordiques et l'Administration régionale Kativik* (LRQ, c. V-6.1) (Loi Kativik) ou d'ententes signées avec des gouvernements. Ils comprennent la planification de l'aménagement du territoire, la protection de l'environnement, le développement et la gestion de parcs, le soutien à la récolte de subsistance, la protection de la faune, les transports et l'assistance technique aux 14 municipalités. En outre, en vertu de ces mandats, l'ARK a entrepris depuis 2004 une série de projets sur les changements climatiques et l'adaptation de concert avec des villageois, des chercheurs, des partenaires régionaux et d'autres partenaires gouvernementaux. Ces projets ont principalement trait à la sécurité, à l'accès aux ressources, aux consultations communautaires, à l'instabilité du sol et à la réduction de la vulnérabilité des infrastructures marines et communautaires.

En collaboration avec Inuit Tapiriit Kanatami (ITK), l'ARK emploie un conseiller inuit en recherche avec l'aide financière d'ArcticNet, du Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord et du Centre Nasivvik.

La Convention de la Baie James et du Nord québécois (CBJNQ) a été conçue de façon à pleinement assurer la protection et la promotion des droits et intérêts des Inuits du Nunavik. L'ARK coopère étroitement avec la Société Makivik à la mise en oeuvre de ces mandats.

L'Association des Inuits du Labrador (Labrador Inuit Association – LIA) a été créée en 1973 pour promouvoir la culture inuite, améliorer la santé et le bien-être des Inuits et protéger leurs droits constitutionnels, démocratiques et de la personne. La LIA a aussi été mise sur pied pour élaborer les revendications des Inuits du Labrador et faire progresser

les négociations avec le Canada et la province de Terre-Neuve en vue d'un gouvernement autonome. En 2005, après 30 ans de négociations, la ratification de l'Accord sur les revendications territoriales des Inuits du Labrador a marqué le début d'une nouvelle ère pour le peuple Inuit du Labrador. Le Nunatsiavut est devenu la première région

Encadré 3. Les parcs sur la frontière : une histoire inuite

Eli Merkuratsuk montre du doigt l'endroit où est née sa mère il y a bon nombre d'années, un lieu du nom de Pitutik situé à l'embouchure du ruisseau Nakvak. À cet endroit se trouve un sentier qui part du fjord Saglek et remonte le ruisseau Nakvak jusqu'à la rivière Koroc au Nunavik. Ce sentier suit une route traditionnelle importante qui a relié les Inuits pendant des générations avant la création du Nunatsiavut et du Nunavik. Cependant, à cause des politiques de relocalisation des gouvernements et des institutions du sud, les Inuits n'y ont pas passé beaucoup de temps au cours des dernières années.

Cette route relie deux parcs (le Parc national canadien des Monts-Torngat au Nunatsiavut et le Parc national québécois du Kurrurjuaq au Nunavik) administrés en vertu des ententes de revendications des territoires inuits. Elle symbolise la nouvelle émergence des Inuits et leur nouvelle occupation d'un territoire traditionnel. Mais elle symbolise encore bien plus : les liens renoués entre les Inuits, le rassemblement des jeunes et des aînés, la renaissance de la fierté et de l'identité des Inuits, la propriété retrouvée de leurs terres et le contrôle de sa gestion. Cette route représente aussi le lien entre deux sortes de connaissances, l'harmonisation des sciences occidentales et du savoir inuit d'une façon qui valide la valeur intrinsèque des expériences et des connaissances des Inuits. La route et les deux parcs aident à la reconstruction de ces liens.



Des jeunes et des aînés du Nunatsiavut et du Nunavik sont rassemblés auprès de l'inukshuk commémoratif non loin de Pitutik. Cet endroit symbolise maintenant les liens entre les Inuits et les liens entre les générations. Les monts Torngat sont un lieu de spiritualité et cet endroit incarne l'esprit d'unité entre les Inuits et leur attachement à leur terre.

inuite au Canada à obtenir un gouvernement autonome : le gouvernement du Nunatsiavut. L'Accord de principe sur les revendications territoriales des Inuits du Labrador et la Constitution des Inuits du Labrador adoptée en 2002 sont entrés en vigueur lors de la première assemblée du gouvernement de transition du Nunatsiavut qui s'est tenue à Nain, le 1^{er} décembre 2005.

Parmi les principaux enjeux discutés dans le cadre des négociations, il y avait la création d'un parc national canadien dans la région des monts Torngat au nord du Nunatsiavut, lequel a aussi vu le jour en décembre 2005. Ce parc a été créé avec le consentement des Inuits du Nunavik (par le biais de l'Accord sur les revendications territoriales des Inuits du Nunavik) et des Inuits du Labrador (par le biais de l'Accord sur les revendications territoriales des Inuits du Labrador). Sans ce consentement et cette reconnaissance des deux revendications territoriales, le parc n'aurait pu voir le jour (voir encadré 3). Le statut de « réserve » a été abandonné le 10 juillet 2008 au moment de l'entrée en vigueur de l'Accord sur les revendications territoriales des Inuits du Nunavik.

Parmi les autres résultats pertinents de ce processus de négociation, on compte diverses ententes signées en 2002 par les trois parties (c.-à-d. la LIA, la province de Terre-Neuve-et-Labrador et le Canada) concernant le développement de l'industrie minière, notamment l'entente sur les mesures provisoires relatives à la mine de la baie Voisey, les droits et avantages des Inuits relativement au projet de cette mine (également signés par les entreprises Voisey's Bay Nickel Company Limited et Inco Limited) et l'entente sur la gestion environnementale de la baie Voisey signée avec la nation Innue du Labrador. Ces ententes ont été grandement influencées par les études d'impact existantes et elles ont été sanctionnées pour veiller à ce que les projets proposés contribuent au développement durable local et régional. Grâce à ces ententes, le projet de la baie Voisey est considéré comme étant une avancée majeure en ce qui a trait au respect des exigences d'intégrer les questions de santé et de tenir particulièrement compte des activités traditionnelles

d'utilisation du territoire, du logement, de la qualité de vie, du régime alimentaire et de la dépendance aux aliments issus du milieu, de la morbidité et de la mortalité (Canada *et al.*, 1997; Noble et Bronson, 2005). Ces ententes représentent aussi un grand pas dans la résolution de conflits étant donné les profondes différences en matière d'histoire, de culture, de priorités et de pouvoirs traditionnels en jeu (Gibson, 2006).

1.4 Plans régionaux d'aménagement du territoire

1.4.1 Plan directeur d'aménagement des terres au Nunavik

Le Plan directeur de l'aménagement des terres de la région Kativik (Le Plan, 1998) a été élaboré en vue d'harmoniser et d'intégrer les efforts de développement ainsi que les projets de gestion actuels et éventuels sur l'ensemble du territoire du Nunavik. Le Plan a été adopté par les Inuits du Nunavik, après consultation des communautés, entrevues avec des aînés et des experts, compilation des données, analyse minutieuse des renseignements, transposition et consultation du public. Il comprend les principes directeurs de la gestion du territoire, les principales orientations poursuivies par l'ARK en ce qui concerne l'utilisation des terres et la gestion du territoire et les règles pour sa mise en application. Le Plan détermine les principaux éléments des milieux urbains et naturels, les endroits utilisés traditionnellement et actuellement par les Inuits, les diverses affectations des terres (figure 8) et les aires présentant un intérêt particulier sur les plans historique, esthétique et écologique (figure 9). Le Plan a été préparé en conformité avec la CBJNQ, la Convention du Nord-Est québécois (CNEQ) et les autres lois qui s'appliquent au territoire du Nunavik.

Un des principes directeurs du Plan est la conservation. Dans le contexte du Plan, le principe de conservation s'applique à tous les types de terres et d'utilisation des ressources, peu importe si la ressource est renouvelable,



non renouvelable ou si elle a une valeur patrimoniale. Dans son ensemble, l'objectif est de préserver le patrimoine et le mode de vie traditionnel des habitants de la région Kativik, de protéger l'environnement et la faune tout en valorisant le développement durable. Le plan met l'accent sur ce qui suit :

- Déterminer des aires considérées comme « essentielles » et des aires considérées comme « importantes » pour les activités de subsistance, là où la population locale pratique la chasse, la pêche et le piégeage. Vu leur richesse écologique, ces aires essentielles sont d'une importance capitale pour l'exercice des activités de subsistance. La biodiversité est moins grande dans les aires dites importantes que dans les aires essentielles, mais on y trouve les habitats de groupes fauniques tels que des mammifères terrestres, des oiseaux et des poissons qui sont récoltés sur une base saisonnière plus intense.
- Protéger l'intégrité des milieux naturels importants, en particulier les écosystèmes représentatifs de l'environnement de la région, de même que des aires fragiles et importantes pour la faune (par exemple, les sites de mise bas du caribou, les aires de nidification et de repos de la sauvagine, les lieux de rassemblement et de mise bas des mammifères marins, les rivières à saumon et les sites de frai).
- Établir un réseau d'« aires d'intérêt » qui consiste en des sites représentatifs d'espèces végétales ou animales rares ou menacées et qui ont une importance archéologique, historique, culturelle, esthétique ou écologique pour la région, afin de les protéger des effets négatifs des activités humaines et industrielles, tout en favorisant leur reconnaissance et leur sain développement. Bien entendu, ces aires d'intérêt sont assujetties aux droits et intérêts des Autochtones stipulés dans la CBJNQ et la CNEQ et les accords complémentaires.

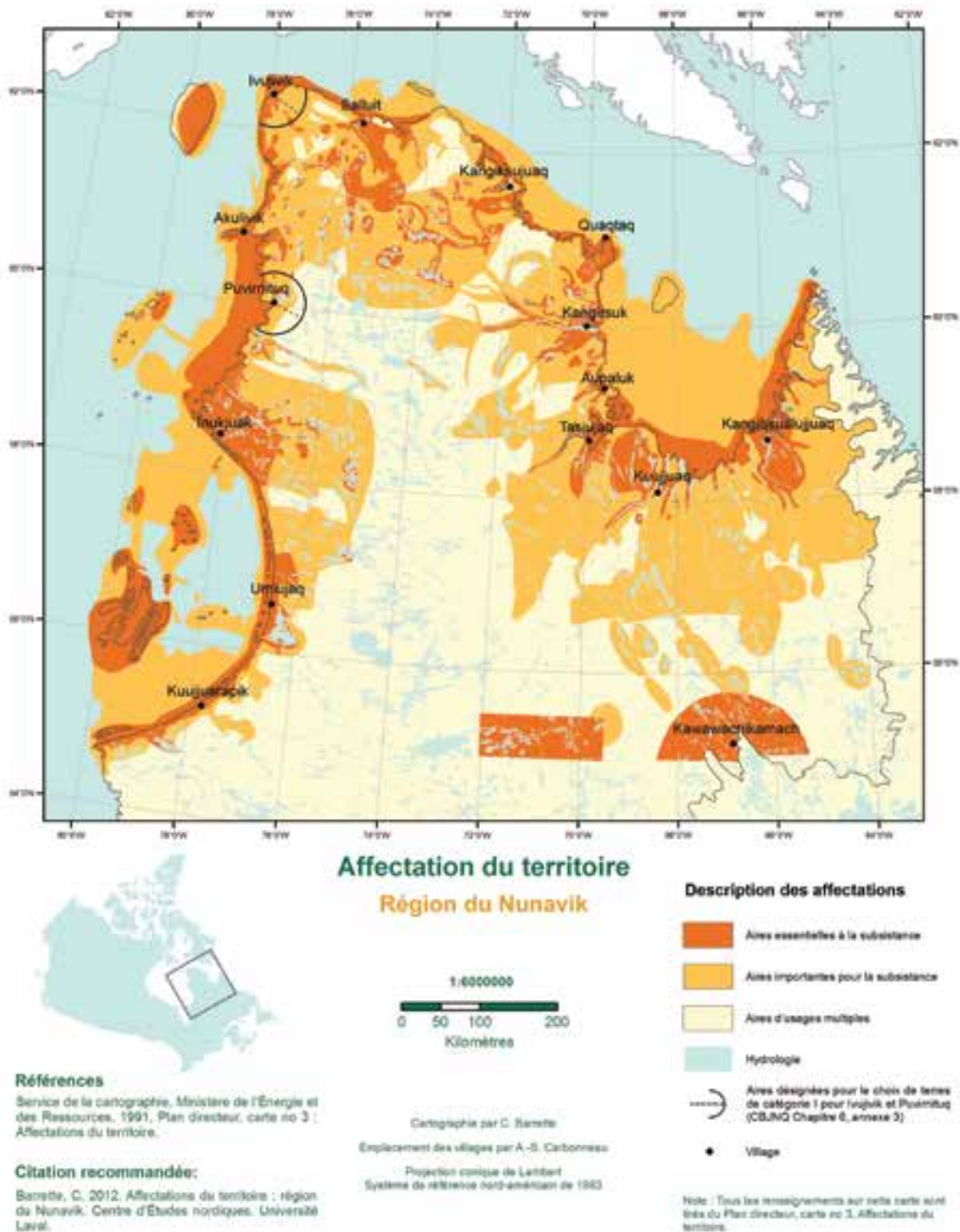


Figure 8. Carte n° 3 du Plan directeur de la région Kativik illustrant les affectations du territoire.

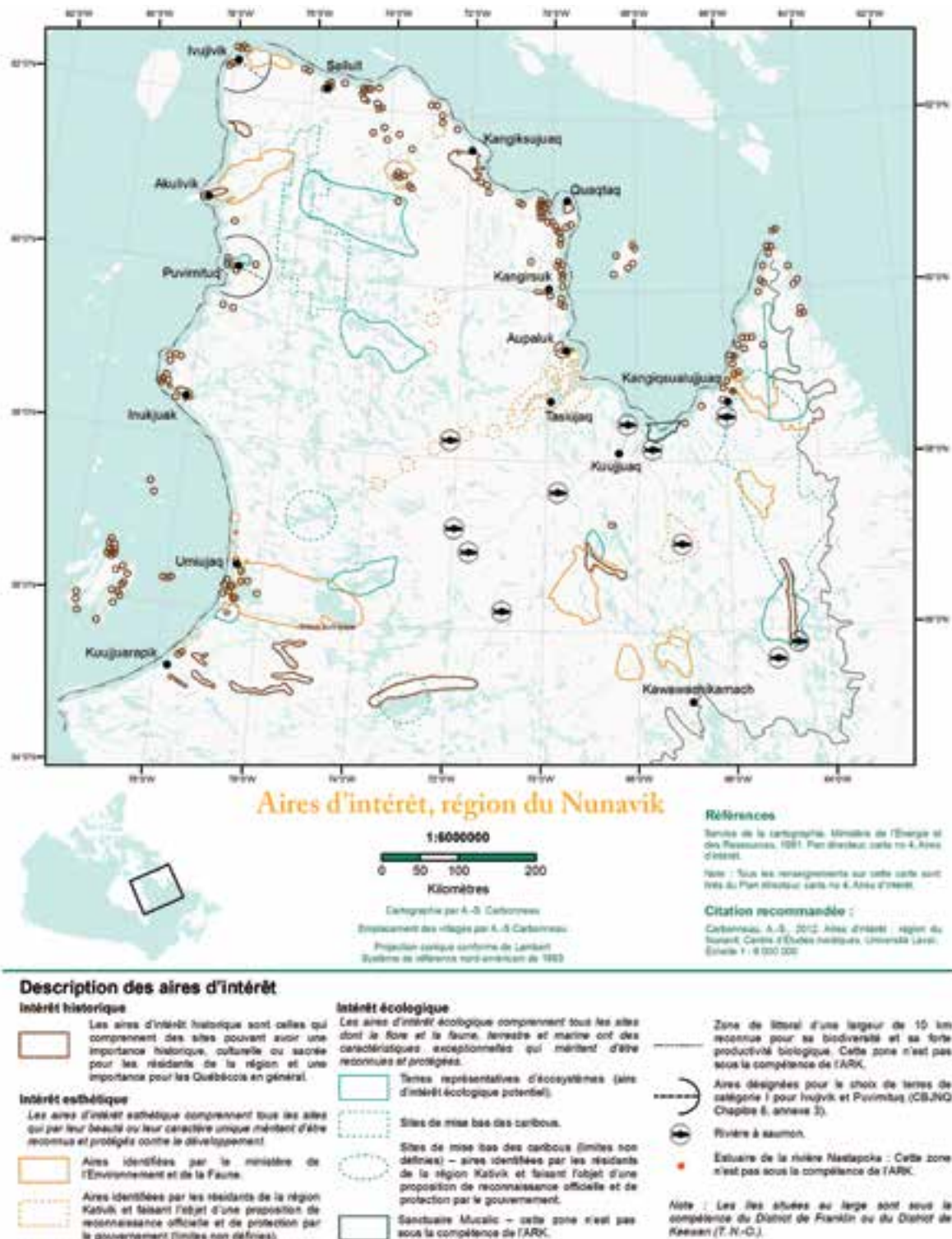


Figure 9. Carte n° 4 du Plan directeur de la région Kativik illustrant les aires d'intérêt historique, esthétique et écologique.

1.4.2 Plan régional d'aménagement du territoire pour la zone visée par l'entente avec les Inuits du Labrador

Le Plan d'aménagement du territoire pour la zone visée par l'entente avec les Inuits du Labrador (LISA - *Labrador Inuit Settlement Area*) a pour but de maximiser le bien-être social, culturel et économique des Inuits et des autres habitants de la région. Le Plan prend en considération le développement durable en fonction des principes d'utilisation traditionnelle du territoire et du respect de la terre. Une section originale du Plan régional d'aménagement du territoire pour la LISA est l'application du principe de précaution qui permet de reporter à plus tard les décisions en cas d'absence de pleine certitude scientifique, afin de respecter les attentes de la société en ce qui a trait à l'étude des dangers, au maintien du niveau de vie et à la gestion des risques possibles d'impacts graves ou irréversibles. En vue d'atteindre le développement durable, le Plan vise trois grands objectifs : 1) protéger l'environnement au sein de la LISA pour les générations à venir; 2) gérer l'utilisation du territoire et le développement de façon à améliorer la santé et la qualité de vie des habitants de la LISA; 3) offrir des occasions de développement économique au sein de la LISA. À cette fin, les terres au sein de la LISA sont réparties sous six grandes désignations, comme l'indique la figure 10 :

- parc national
- zone écosensible
- village
- zone patrimoniale
- usage traditionnel
- usage général

La désignation de parc national comprend principalement le parc national canadien des monts Torngat, mais aussi la réserve de parc national Mealy à la bordure sud de la LISA et dont on a fait l'annonce récemment. La désignation de zone écosensible est attribuée à d'importants systèmes

écologiques et à des habitats fauniques essentiels qui sont particulièrement sensibles aux activités humaines. Il s'agit en général de zones côtières où le développement y est assez limité.

La désignation de zone patrimoniale s'applique aux sites de grande importance historique, archéologique, spirituelle et culturelle, afin de préserver l'héritage patrimonial des Inuits et mettre leur histoire en évidence par la promotion d'activités écotouristiques. La désignation d'usage traditionnel s'applique aux zones utilisées par les Inuits pour leurs activités traditionnelles de chasse, de pêche, de piégeage et de récolte de petits fruits. À titre d'exemple, cette désignation a été assignée au lieu de mise bas de la harde de caribous de la rivière George pour s'assurer que tout développement dans ce secteur sera entrepris en tenant compte des répercussions possibles sur la santé de la harde et de ses individus. Enfin, la désignation d'usage général permet un vaste éventail d'activités économiques et de développement, comme la prospection et l'exploitation minière en cours et à venir, lesquelles demeurent assujetties aux politiques appropriées de protection de l'environnement.

1.5 Conservation et développement industriel possible

Pour planifier d'éventuelles zones protégées, il faut tenir compte des facteurs incontournables qui vont vraisemblablement affecter les milieux naturels, tels que les changements climatiques et les pressions de développement industriel et commercial, tout en maintenant l'orientation initiale des aspirations des Inuits qui sont bien énoncées dans les deux plans d'aménagement des territoires du Nunavik et du Nunatsiavut.

Par exemple, le gouvernement du Québec promet de réserver ou de protéger un important pourcentage du territoire du développement industriel. Il existe donc un contexte positif pour atteindre les objectifs de protection des terres de qualité et de protection de la biodiversité dans son ensemble.

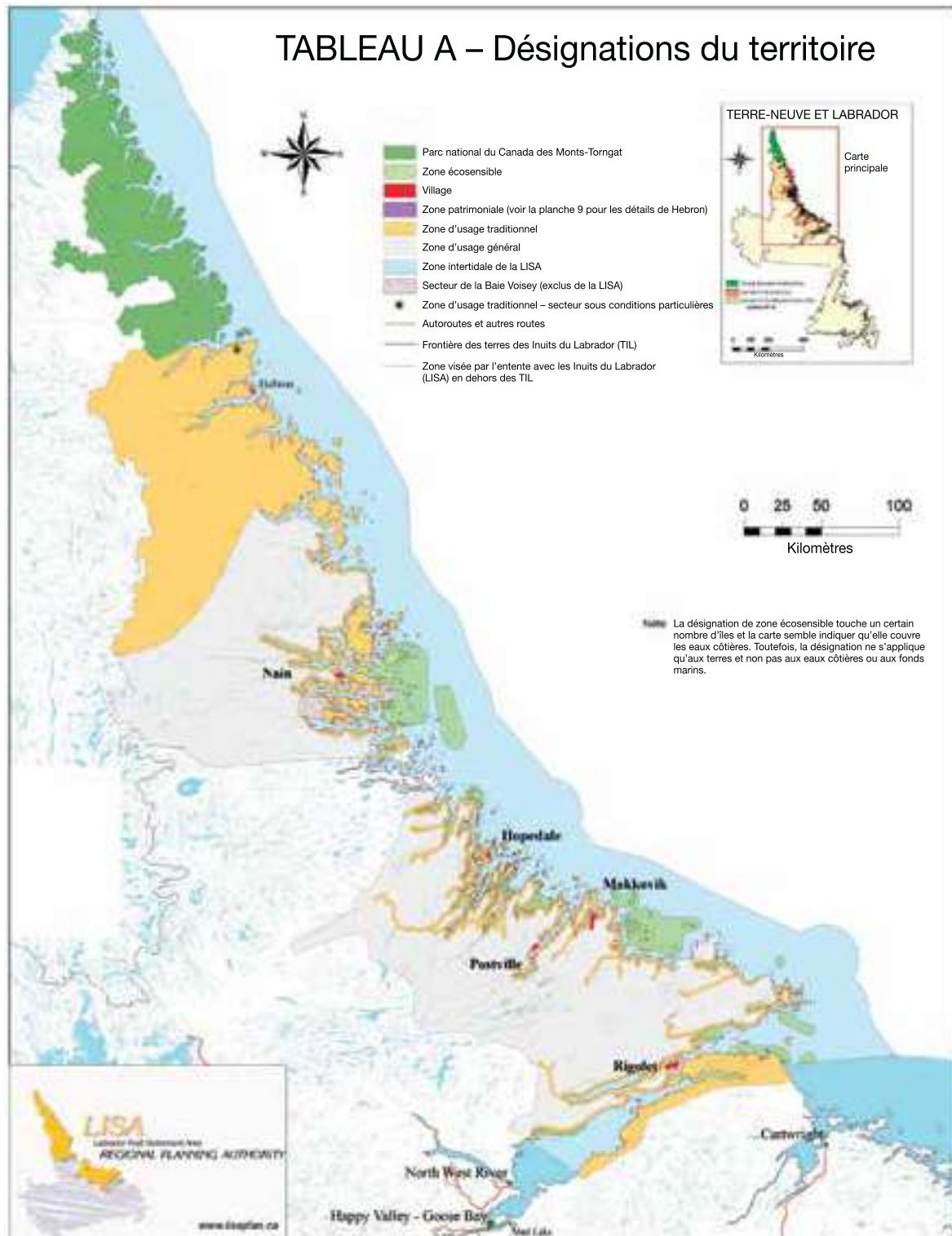


Figure 10. Affectations du territoire selon le Plan régional d'aménagement du territoire pour la LISA.

Parmi les activités industrielles à développer dans le cadre du Développement du nord du Québec, le secteur minier est probablement le plus important compte tenu de l'immense potentiel minier du Nunavik et de la demande actuelle grandissante pour des métaux à l'échelle internationale. Une étude préliminaire réalisée par le Ministère des Ressources naturelles (MRN) du Québec en collaboration avec des chercheurs de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et de l'Institut national des sciences de l'Univers (CNRS, France) indique qu'il y a relativement peu de chevauchement spatial entre les zones à fort potentiel minier et les zones protégées actuelles et prévues au Nunavik (figure 11; Jébrak *et al.*, 2010). Toutefois, l'emplacement des corridors d'accès aux sites miniers en relation avec les écosystèmes importants pour les Inuits et la question de la connectivité

des écosystèmes seront au cœur des négociations pour entreprendre des projets miniers. Au Nunatsiavut, le projet du Plan régional d'utilisation du territoire pour la LISA identifie déjà des territoires exempts d'exploration et d'exploitation minières (*Exempt Mineral Lands – EML*). On y précise que dans ces territoires EML identifiés dans les règlements, le jalonnement de claims miniers est interdit.

Le développement possible de projets hydroélectriques menace l'intégrité de certains grands bassins fluviaux et estuaires qui ont une forte valeur écologique et qui seraient normalement protégés. La recherche de sources alternatives d'énergie pourrait être un élément d'une stratégie visant à protéger les écosystèmes importants. Un autre élément à ne pas oublier est la nécessité de garder des

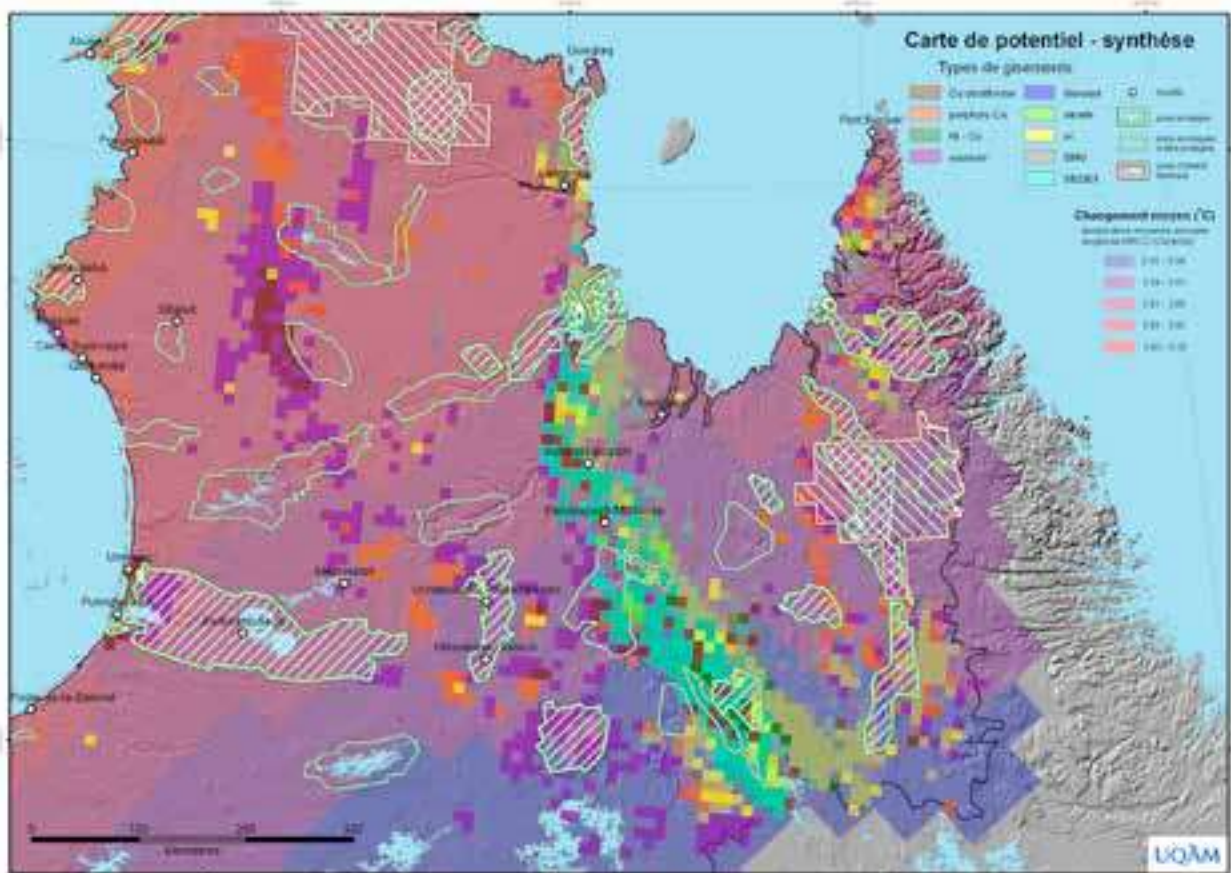


Figure 11. Carte résumant le potentiel minier au Nunavik, incluant les aires naturelles protégées actuelles et futures et les changements climatiques prévus pendant les périodes de 1961 à 1990 et de 2041 à 2070. Tiré de Jébrak *et al.*, 2010.

connexions libres entre les diverses zones protégées pour maintenir la biodiversité sur l'ensemble du territoire, en permettant par exemple les migrations des plantes et des animaux, plutôt que de courir le risque de créer un archipel de zones protégées appauvries. Il faudra aussi considérer d'autres aspects : les variations démographiques des grandes populations animales, comme le caribou, et les déplacements géographiques des aires de distribution de certaines espèces (terrestres et aquatiques) que le réchauffement climatique a déjà commencé à provoquer, comme le caribou et l'omble chevalier (voir les chapitres 7 et 9). Il faut une perspective dynamique à long terme du fonctionnement des écosystèmes dans l'ensemble du territoire, qui va bien au-delà de l'idée de base de protéger des aires établies, même si de telles zones constituent dans leur ensemble un grand pourcentage de ce territoire.

Au Nunavik, la représentativité du réseau des aires protégées se fonde aussi sur les principales façons d'accroître la qualité du réseau, mises en évidence dans la publication *Portrait du réseau d'aires protégées au Québec – période 2002-2009* (Brassard *et al.*, 2010). Cependant, cela prend encore plus de connaissances scientifiques pour mieux appuyer le processus de perfectionnement du réseau d'aires protégées pour la période 2010-2015, surtout en lien avec des mesures d'adaptation aux changements climatiques. Le Nunatsiavut a également un grand potentiel minier et devra certainement composer avec une pression accrue de ce secteur de l'industrie au moment de la planification d'aires protégées. Comme l'illustre le double système des parcs Kurrurjuaq et des monts Torngat, les paysages, les écosystèmes et le passé historique des humains ne se soucient pas des frontières politiques. Il en va de même pour les caribous...

1.6 Conclusions

Les Inuits du Nunavik et du Nunatsiavut habitent des communautés côtières sur le riche littoral d'une grande péninsule, mais leur milieu de vie s'étend de façon traditionnelle au territoire en entier. Depuis des milliers

d'années, ils partagent un même passé culturel, voire familial. Ils ont les mêmes expériences de contact avec la civilisation occidentale. Les Inuits du Nunavik et du Nunatsiavut ont des ententes territoriales avec les gouvernements provinciaux et avec le gouvernement fédéral. Grâce aux voyages, à l'éducation et aux moyens de communication électronique, les Inuits participent activement à la société mondiale. Touchés par des difficultés économiques et sociales, ils sont aussi confrontés à des défis associés aux impacts du réchauffement climatique sur tous les aspects de leur vie. Ces défis arrivent au même moment qu'un intérêt économique international énorme pour les ressources naturelles, principalement non renouvelables, de leur territoire mais dont l'exploitation pourrait présenter des avantages intéressants.

Élaborés en tenant compte de la réflexion collective et du vaste savoir inuit, les plans détaillés d'aménagement du territoire au Nunavik et au Nunatsiavut sont la preuve que les défis de l'adaptation aux changements climatiques et du développement durable devront nécessairement être résolus avec la participation et le leadership des Inuits. L'acceptabilité sociale de tout développement futur réside dans cette collaboration.

1.7 Références

Antcil, M. 2008. Survey Highlights. Nunavik Inuit Health Survey 2004, Qanuippitaa? How are we? Québec, Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) and Nunavik Regional Board of Health and Social Services (NRBHSS).

Brassard, F., Bouchard, A. -R., Boisjoly, D., Poisson, F., Bazoge, A., Bouchard, M. -A., Lavoie, G., Tardif, B., Bergeron, M., Perron, J., et Blais, D. 2010. Portrait du réseau d'aires protégées au Québec – période 2002-2009. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 229 pp.

Canadian Environmental Assessment Agency. 1997. News release. Signing of multi-party agreement leads to appointment of joint Environmental Assessment Panel.

- http://www.ceaa.gc.ca/0009/0001/0001/0011/0001/re1970131_e.htm
- CBJNQ. 1975. Convention de la Baie James et du Nord du Québec. Signataires : Gouvernement du Québec, Société d'énergie de la Baie James, Commission hydro-électrique du Québec Hydro-Québec, Grand Conseil des Cris du Québec, Association des Inuit du Nord québécois, Gouvernement du Canada.
- Chabot, M. 2004. Consumption and standards of living of the Québec Inuit: cultural permanence and discontinuities. *The Canadian Review of Sociology and Anthropology/La Revue Canadienne de Sociologie et d'Anthropologie*, 41:147-170.
- Chabot, M. 2003. Economic changes, household strategies, and social relations of contemporary Nunavik Inuit. *Polar Record*, 39:19-34.
- Damas, D. 1996. The Arctic from Norse contact to modern times. In Trigger, B., and Washburn, W. (Eds), *The Cambridge History of the Native Peoples of Americas*, New York, Cambridge University Press, 520 pp.
- Duhaime, G. 1985. De l'igloo au H.L.M. Les Inuit sédentaires et l'État-providence. In *Centre d'études nordiques*, Université Laval (Ed), Nordicana, Université Laval, Québec, 81 pp.
- Duhaime, G. 2001. Le Nord : habitants et mutations. *Atlas historique du Québec*. Presse de l'Université Laval, Québec, 227 pp.
- Fuzessy, C. 2002. An investigation of teacher role definitions in educating Inuit students in Nunavik. Ph.D. Theses, University of Toronto, Toronto, 214 pp.
- Gibson, R. B. 2006. Sustainability assessment and conflict resolution: Reaching agreement to proceed with the Voisey's Bay nickel mine. *Journal of Cleaner Production*, 14:334-348.
- Institut national de la statistique du Québec, 2006. http://www.stat.gouv.qc.ca/regions/recens2006_10/population10/tpoplog10.htm
- Jébrak, M., Amortegui, A., et Horoi, V. 2010. Le Nunavik minier en 2030 (preliminary version), UQAM, 34 pp.
- Kativik Regional Government, Environment and Land Use Planning Department. 1998. Master Plan for land use in the Kativik Region : General aims of land development and general land use policies. 69 pp.
- LISA Regional Planning Authority. 2010. Draft Regional Land Use Plan for the Labrador Inuit Settlement Area, www.lisaplan.ca.
- Noble, B. F., et Bronson, J. E. 2005. Integrating human health into environmental impact assessment: Case studies of Canada's northern mining resource sector. *Arctic*, 58:395-405.
- Richling, B. 1989. Recent trends in the northern Labrador seal hunt. *Etudes / Inuit / Studies*, 13:61-74.
- Saladin d'Angelure, B. 1984. Inuit of Québec. In Damas, D. (Ed), *Handbook of North American Indians*. Smithsonian institute, Washington, 829 pp.
- Secrétariat aux affaires autochtones. 2006. Convention de la Baie-James et du Nord québécois et conventions complémentaires. Les Publications du Québec, Sainte-Foy, 897 pp.
- Statistics Canada, 2007. <http://www.nunivaat.org/> (last access September 2010).
- Van Wagner, V., Eppo, B., Nastapoka, J., et Harney, E. 2007. Reclaiming birth, health, and community : midwifery in the Inuit villages of Nunavik, Canada. *Journal of Midwifery & Women's Health*, 52: 384-391.



Chapitre 2. Variabilité et changements climatiques dans la péninsule du Nunavik et du Nunatsiavut (IRIS de la région subarctique de l'Est du Canada)

Auteurs principaux

Ross Brown^{1,2} et Mickaël Lemay³

¹Environnement Canada, ²Ouranos, ³ArcticNet, Centre d'études nordiques, Université Laval

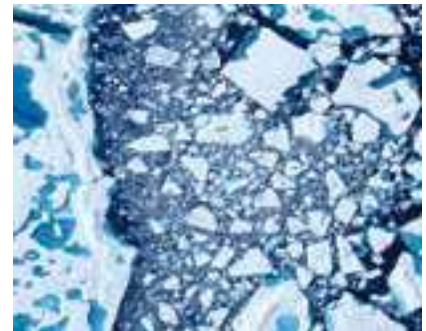
Coauteurs

M. Allard, N.E. Barrand, C. Barrette, Y. Bégin, T. Bell, M. Bernier, S. Bleau, D. Chaumont, Y. Dibike, A. Frigon, P. Leblanc, D. Paquin, M. J. Sharp et R. Way

Remerciements particuliers

Ouranos a joué un rôle important dans l'élaboration de la présente évaluation IRIS en fournissant des données du Modèle régional canadien du climat et son expertise en climatologie aux auteurs des chapitres thématiques de ce volume. L'information climatologique est en effet essentielle pour l'évaluation des impacts et le développement des stratégies d'adaptation régionales et locales. Nous souhaitons remercier tout particulièrement Daniel Caya pour ses commentaires détaillés et constructifs sur la première version de ce chapitre.

CONSORTIUM SUR LA CLIMATOLOGIE RÉGIONALE
ET L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES



Messages principaux

- * Selon les reconstitutions paléoclimatiques, au cours des 3 000 dernières années, il y a eu une longue tendance au refroidissement du climat dans la région IRIS 4, avec d'importantes fluctuations climatiques pendant la Période chaude médiévale (réchauffement) et le Petit Âge glaciaire (refroidissement). C'est au cours du XX^e siècle que le climat a commencé à se réchauffer, avec une impulsion marquée de réchauffement après 1993 provoquant une réaction rapide dans l'environnement, surtout dans la cryosphère (couverture de neige et de glace, pergélisol et glaciers). Les indices dendroécologiques et les observations climatiques témoignent des augmentations importantes et à long terme des précipitations dans la région.
- * Le moment où a débuté la récente période de réchauffement demeure incertain. Les données par satellite de l'enneigement et de surveillance de la végétation semblent indiquer que le climat est en changement depuis au moins 30 à 40 ans, tandis que les observations des températures de l'air provenant des stations côtières indiquent que le réchauffement n'a pas eu lieu avant 1993. Ces différences peuvent illustrer des régimes climatiques distincts entre les régions côtières et les régions intérieures ou bien des processus de réaction différents.
- * La cryosphère (précipitations solides, couverture de neige et de glace, glaciers et pergélisol) réagit très rapidement au réchauffement en cours. Les couvertures de neige et de glace se forment plus tard en saison et fondent plus tôt, tandis que leur durée connaît une diminution annuelle de l'ordre de 0,5 à 1,0 jour/an. Le réchauffement de 2 °C du pergélisol a donné lieu à une augmentation impressionnante du nombre de lacs thermokarstiques et de glissements de terrain par décrochement de la couche active. Les glaciers des monts Tornat ont perdu près de 20 % de leur superficie entre 2005 et 2007. Selon les connaissances traditionnelles, les communautés n'ont jamais connu de tels changements dans le passé.
- * Selon les projections des changements climatiques pour la période de 2041 à 2070 (en comparaison de la période de 1971 à 2000), il y aura une hausse des températures et des précipitations dans la région. Les plus gros changements se produiraient en hiver, leur répartition spatiale suivant normalement un axe N.O.-S.E., et les changements les plus marqués seraient observés dans le nord-ouest du Nunavik. Selon ces résultats, la saison de neige et de glace connaîtrait une diminution de trois à quatre semaines, la saison de croissance végétale serait de deux à trois semaines plus longue avec jusqu'à 50 % plus de degrés-jours et il y aurait une augmentation des précipitations annuelles de l'ordre de 15 à 25 %, avec une plus grande proportion de ces précipitations annuelles tombant sous forme de pluie.
- * Le climat de la région IRIS 4 est fortement influencé par la variabilité de la circulation atmosphérique et océanique, sur des échelles annuelles à multidécennales. Notamment, la variabilité du climat au Nunatsiavut d'une année à l'autre est étroitement liée au phénomène de l'oscillation nord-atlantique. Pour certaines variables, comme les précipitations locales, c'est la variabilité normale du climat qui dominera vraisemblablement toute manifestation de changement climatique au cours de la prochaine période de 30 à 50 ans.
- * Il est essentiel d'avoir des systèmes de surveillance et de prédiction environnementale fiables et durables afin d'appuyer la prise de décision et les mesures d'adaptation dans la région IRIS 4. Il semble que l'intégration du savoir traditionnel aux connaissances scientifiques dans le cadre de projets locaux de surveillance offre un cadre utile, permettant d'améliorer la surveillance et de mieux comprendre les conditions environnementales changeantes en faisant les liens pertinents pour veiller à ce que les nouveaux renseignements se traduisent par une sécurité accrue et une meilleure prise de décision.

2.1 Introduction

Le but du présent chapitre est de souligner les caractéristiques climatiques du Nunavik et du Nunatsiavut ayant une incidence importante sur les systèmes naturels, les services rendus par les écosystèmes et les activités humaines, et de présenter les scénarios des changements projetés dans les variables et indicateurs climatiques clés pouvant survenir au cours des 50 prochaines années environ. Le climat est l'élément moteur principal de certains processus, comme la formation de la neige et de la glace, le gel du sol, la fonte printanière, le cycle de l'eau et la croissance des plantes, qui définissent l'environnement et soutiennent les services rendus par les écosystèmes (voir les exemples donnés au tableau 1). En ce sens, le climat représente une « ressource » qui influence la valeur et la

qualité de l'environnement, mais il comporte également des « risques » qu'il faut gérer, surtout dans le contexte d'un climat en changement (*Climate as Resource, Climate as Risk*, Stehr et vonStorch, 2009).

Le chapitre se présente comme suit : la section 2.2 donne un aperçu des sources (et des limites) des renseignements disponibles pour caractériser le climat de la région, sa variabilité et ses changements; la section 2.3 donne une description générale des principaux éléments affectant le climat au Nunavik et au Nunatsiavut avec des sous-sections donnant des détails sur la variabilité et le changement d'importantes composantes du système climatique au cours de la période des données historiques et paléoclimatiques dont on dispose; la section 2.4 présente un sommaire des projections des changements climatiques pour 2050 (les détails sont fournis à l'annexe A

Tableau 1. Exemples de sensibilités liées au climat identifiées dans le présent rapport d'évaluation IRIS.

VARIABLE/ACTIVITÉ	SENSIBILITÉS LIÉES AU CLIMAT
Ressources en eau douce (chapitre 4)	Le volume, la disponibilité dans le temps, la température et les propriétés chimiques et biologiques de l'eau douce sont sensibles à la température de l'air et à la quantité et au type de précipitations.
Aliments traditionnels (chapitre 5)	Les activités de chasse en hiver sont particulièrement sensibles aux conditions de neige et de glace. Un raccourcissement projeté des saisons de couverture de neige et de glace affectera l'accès à de la viande fraîche et sa disponibilité.
Infrastructures (chapitre 6)	Le réchauffement et l'augmentation projetée des accumulations de neige hivernale contribuent à la fonte du pergélisol, à l'approfondissement de la couche active et à une foule de phénomènes reliés, comme les ruptures de la couche active par décrochement et l'érosion accrue des zones littorales. Tout cela pose des défis additionnels en ce qui a trait aux infrastructures nordiques.
Ombre chevalier (chapitre 7)	L'habitat et l'abondance des poissons sont sensibles à la couverture de glace, la température de l'eau et la qualité de l'eau.
Dynamique de la végétation (chapitre 8)	Le réchauffement et les changements dans les régimes des précipitations contribuent à une augmentation de la végétation ligneuse et à l'expansion de la limite des arbres vers le nord et en hauteur sur les versants.
Dynamique des populations de caribou (chapitre 9)	Les caribous sont sensibles à la couverture de glace (routes de migration), aux événements de pluie sur neige (ce qui affecte l'accès aux sites de fourrage hivernal), à la couverture de neige estivale (les plaques de neige résiduelle réduisent le harcèlement par les insectes) et au moment de la feuillaison printanière.

du présent chapitre). La section 2.5 présente le sommaire et les conclusions du chapitre, lesquelles sont énumérées brièvement dans les messages principaux ci-devant.

2.2 Observations et informations climatiques

La caractérisation du climat du Nunavik et du Nunatsiavut comporte quelques défis, le principal étant la couverture temporelle et spatiale inégale des observations climatiques disponibles. Des observations climatiques quotidiennes de la température et des précipitations sont effectuées dans la plupart des villages, mais la durée et la période de ces observations varient grandement. Par exemple, il n'y a que pour Kuujuaq, Inukjuak, Kuujuarapik, Goose Bay et Cartwright que l'on dispose de données climatiques quotidiennes continues depuis avant 1950 jusqu'à maintenant. Bon nombre des autres stations ont cessé leurs observations au début des années 1990 ou bien les ont commencées dans les années 1980. Le réseau d'observation du climat se situe presque entièrement dans les villages du littoral, ce qui ne reflète pas nécessairement ce qui se passe plus à l'intérieur des terres. Les principales stations climatiques utilisées dans le cadre de ce chapitre sont celles d'Inukjuak, Kuujuarapik, Kuujuaq et Schefferville au Nunavik, et de Goose Bay, Cartwright, Makkovik et Nain au Nunatsiavut (pour leur emplacement sur la carte, voir la figure 1 du chapitre 1).

Les données climatiques sont aussi sujettes à des erreurs aléatoires et systématiques liées aux observateurs, aux instruments et aux changements dans les sites de mesure et les procédures d'observation. À titre d'exemple, ce sont notamment les précipitations qui sont les variables climatiques les plus difficiles à mesurer avec précision, surtout quand il s'agit de la neige (Doesken et Judson, 1997; Goodison *et al.*, 1998). La variabilité dans l'espace et le temps est beaucoup plus importante pour les précipitations que pour la température de l'air; et il se peut que leur échantillonnage ne soit pas fait adéquatement dans l'ensemble d'une région d'intérêt en particulier.

Cela est particulièrement vrai dans le cas du Nunavik et du Nunatsiavut où il n'y a que quelques stations qui ont des périodes d'enregistrement suffisamment longues pour obtenir un suivi adéquat de la variabilité et des changements dans les précipitations au cours des 50 à 60 dernières années, et la plupart de ces stations sont situées sur le littoral. Il y a de grandes lacunes dans les données pour ce qui est de la péninsule d'Ungava et des monts Torngat, de sorte qu'on ne peut pas en dire long sur la variabilité et les changements des précipitations dans ces régions à partir des données climatiques historiques en archive. Les données de satellite peuvent aider à combler ces lacunes dans les réseaux terrestres pour certaines variables, comme la température de surface (Hachem *et al.*, 2009) et l'étendue de la couverture de neige (Brown, 2010), mais la période couverte est relativement courte et il y a peu d'observations terrestres permettant de valider les données par satellite à l'intérieur des terres. On peut déduire des renseignements climatiques sur une plus longue période à partir d'indicateurs environnementaux comme la superficie des glaciers (section 2.3.5), l'état du pergélisol (p. ex., la profondeur de la couche active, la température du pergélisol – voir la section 2.3.6) et diverses sources indirectes d'information liée au climat, comme la température du pergélisol (Chouinard *et al.*, 2007), les reconstitutions de la température à partir des anneaux de croissance des arbres (Jacoby *et al.*, 1988), la reconstitution des climats passés à partir de l'analyse de chironomides et de pollens fossiles (Kerwin *et al.*, 2004; Fallu *et al.*, 2005) et la reconstitution de renseignements sur l'épaisseur de la couche de neige et les niveaux d'eau à partir de l'analyse dendroécologique de la morphologie des arbres et l'abrasion par les glaces (Lavoie et Payette, 1992; Bégin et Payette, 1988; Lemay et Bégin, 2008).

Le savoir traditionnel est une autre source utile d'information pour documenter des tendances et des événements anormaux, surtout en ce qui concerne les couches de glace et de neige qui ont des répercussions majeures sur la chasse et le transport. Bien que ces renseignements ne soient pas quantitatifs, ils constituent un registre local des changements environnementaux.

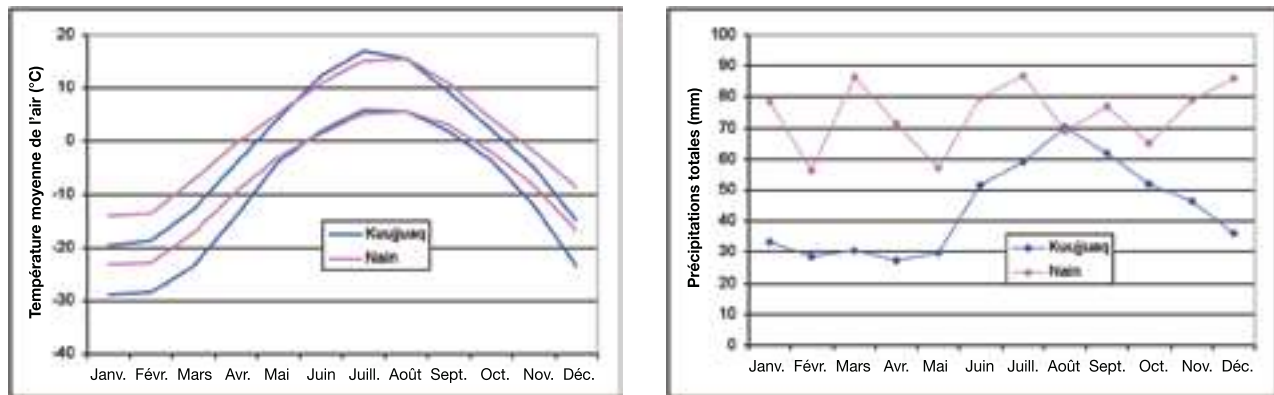


Figure 1. Comparaison des températures de l'air maximales et minimales mensuelles (gauche) et des précipitations totales moyennes mensuelles (droite) à Kuujuaq (bleu) et à Nain (magenta) au cours de la période 1971-2000. Les valeurs utilisées proviennent des normales climatiques fournies en ligne par Environnement Canada à http://www.climat.meteo.gc.ca/climate_normals/index_f.html

Ainsi, les Anciens de Quaqtq, Umiujaq et Kuujuaq signalent que depuis les années 1980 la glace se forme plus tard et fond plus tôt, la pluie est plus fréquente, il y a moins de neige qu'avant et les directions des vents ont changé sur la baie d'Hudson et le détroit d'Hudson (Tremblay *et al.*, 2009; Clerc *et al.*, 2011).

2.3 Le climat du Nunavik et du Nunatsiavut

Le Nunavik et le Nunatsiavut se situent entre le 55° et le 63° N, à l'extrémité est du continent nord-américain (voir la figure 1 du chapitre 1). La région est bordée sur trois côtés par des étendues d'eau : la baie d'Hudson à l'ouest, le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava au nord et la mer du Labrador à l'est. Elle est aussi marquée par la présence d'une importante chaîne montagneuse orientée nord-sud (les monts Torngat avec des élévations d'environ 1 500 m) au nord du Nunatsiavut, qui agit comme une barrière pour les masses d'air provenant de l'Atlantique et se dirigeant vers le Nunavik. De par sa géographie, le climat de la région IRIS 4 est de type continental, mais avec des quantités de chutes de neige plus importantes qu'aux mêmes latitudes à l'ouest de la baie d'Hudson (Phillips, 1990). La couverture de neige

et de glace est présente de novembre à mai en moyenne (tableaux 2 et 4) et la région est affectée par des tempêtes hivernales qui suivent des couloirs habituels remontant la baie d'Hudson jusqu'au Bassin Foxe et remontant le long de la côte du Labrador jusqu'à la baie de Baffin (Brown *et al.*, 1986). Ces conditions contribuent au régime dynamique de la glace de mer le long des côtes (Garde côtière canadienne, Navigation dans les glaces dans les eaux canadiennes, <http://www.ccg-gcc.gc.ca/f0010736>). La région est aussi caractérisée par des gradients principalement nord-ouest-sud-est (N.O.-S.E.) pour ce qui est des températures de l'air et des précipitations (voir figure 2, p. 35, ArcticNet 2010) ainsi que des gradients climatiques le long des côtes, surtout au Nunatsiavut. On peut obtenir une certaine idée de ces gradients de climat en comparant les régimes de températures et de précipitations de Kuujuaq et de Nain, situés d'un bord et de l'autre des monts Torngat (figure 1).

De par son emplacement précis en aval du Pacifique Nord et adjacent à l'Atlantique Nord, le climat de la région IRIS 4 subit, sur une échelle de temps allant d'années à des décennies et des siècles, l'influence de modes de variabilité naturelle du climat comme l'oscillation décennale du Pacifique (ODP) (Mantua

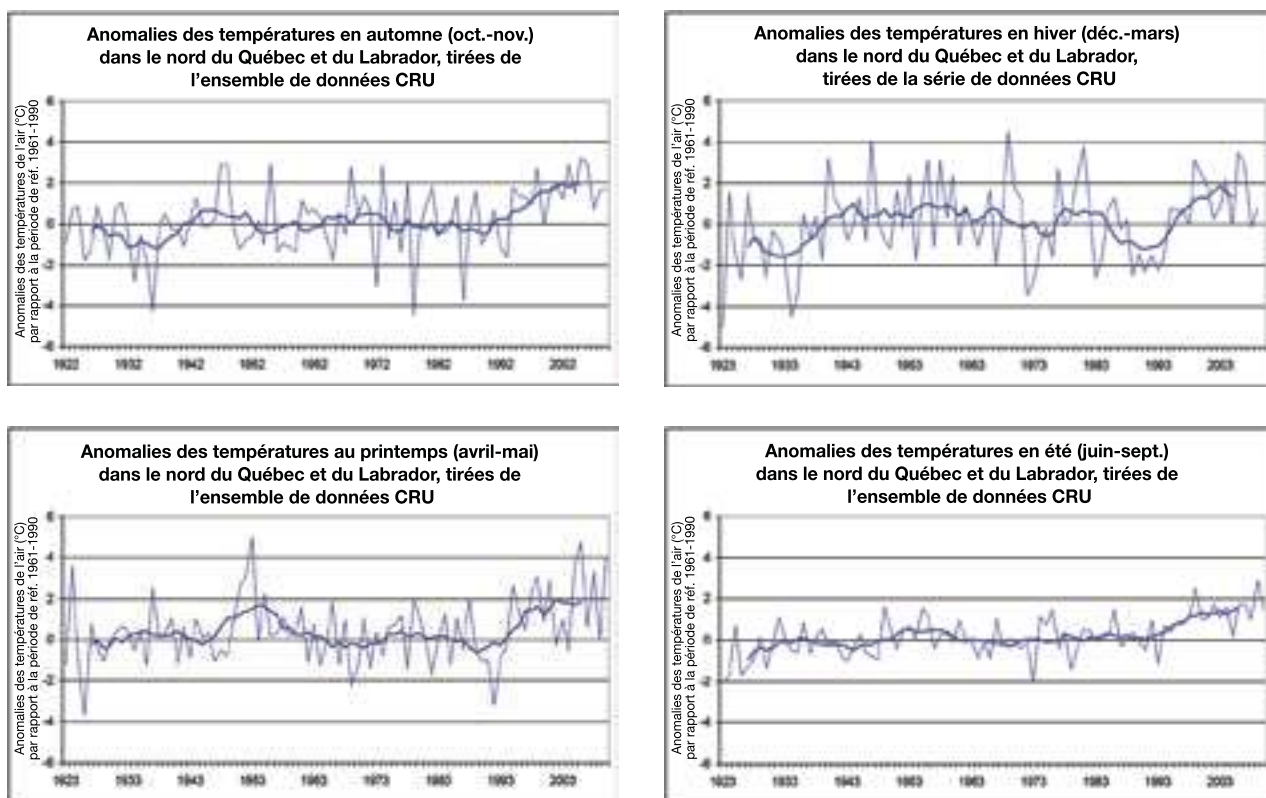


Figure 2. Anomalies des températures moyennes régionales de l'air (par rapport à la période de référence de 1961-1990) dans le nord du Québec et du Labrador (au nord du 55° N), tirées de l'ensemble de données distribuées CRU. La ligne lissée est obtenue par l'application d'un filtre binomial à 9 termes.

et al., 1997), la téléconnexion Pacifique-Amérique du Nord (PNA) (Leathers *et al.*, 1991), l'oscillation atlantique multidécennale (OAM) (Trenberth *et al.*, 2007) et l'oscillation nord-atlantique (ONA) (Rogers et van Loon, 1979). Des études récentes (Sveinsson *et al.*, 2008; Brown, 2010) ont montré que l'influence de ces modes de variabilité naturelle du climat sur l'hydroclimat du Québec est très dynamique dans l'espace et le temps selon les zones d'influence présentant de forts gradients au-dessus du Québec. En outre, il est prouvé (Walter et Graf, 2002; Yu et Zwiers, 2007; Yu *et al.*, 2007) que certains des grands modes de circulation interagissent de façon dynamique les uns avec les autres (p. ex., ODP et PNA; OAM et ONA), ce qui complique davantage les efforts de caractérisation et de compréhension de la variabilité naturelle du climat dans le nord du Québec et du Labrador.

2.3.1 Température de l'air

La température de l'air est une des principales variables des climats des régions froides où de nombreux processus sont sensibles aux changements de température, comme l'englacement, la fonte printanière, la croissance de la végétation, le dégel et le gel du sol. L'information sur la variabilité de la température au Nunavik et au Nunatsiavut pour la période d'observations climatiques historiques débutant dans les années 1920 provient de l'ensemble de données CRUtem3v (CRU) de températures de l'air en surface (relevés terrestres) de Brohan *et al.* (2006) pour le Québec et le Labrador au nord du 55° N. Les saisons sont définies d'après la couverture de neige et de glace (figure 2); l'automne (octobre et novembre) et le printemps (avril et mai) correspondent respectivement

aux périodes où commencent la couverture et la fonte de neige. Il n'y a habituellement pas de neige ni de glace en été (juin à septembre) et l'hiver correspond à la période de couverture continue de neige et de glace avec des accumulations maximales de neige généralement en mars et avril. Il est à souligner que les données des stations climatiques utilisées dans l'ensemble de données réparties CRU sont biaisées du fait qu'il s'agit de sites côtiers et qu'il y a d'encore davantage d'incertitudes quant aux séries sur les températures moyennes régionales provenant de l'ensemble de données CRU avant 1950 environ, car il y avait alors moins de stations enregistrant des observations. Pour documenter la variabilité des températures dans la région IRIS 4, nous avons utilisé une seule série de températures moyennes régionales couvrant le Nunavik *et* le Nunatsiavut, car nous avons jugé que d'utiliser des séries distinctes pour chacune de ces régions revenait essentiellement au même que d'utiliser les données provenant de l'ensemble de données CRU ou les données réanalysées du National Center for Environmental Prediction (NCEP) (Kalnay *et al.*, 1996).

On peut voir à la figure 2 qu'en toute saison, sauf l'été, il y a une grande variabilité des températures d'une année à l'autre, avec des périodes de refroidissement hivernal dans les années 1930 et à la fin des années 1980. La dernière période du XX^e siècle est caractérisée par un réchauffement rapide d'environ 2 °C affectant les quatre saisons. Les raisons exactes de ce réchauffement soudain ne sont pas claires, mais cela pourrait être lié en partie à une phase de réchauffement du cycle d'oscillation atlantique multidécennale (OAM) de variabilité des températures à la surface de la mer au-dessus de l'Atlantique Nord (Chylek *et al.*, 2009).

On constate aussi une courte période de réchauffement au printemps au début des années 1950, période qui coïncide avec le dernier pic de période chaude de l'OAM. Les séries de températures moyennes régionales CRU concordent assez bien avec les séries générées par la réanalyse des données disponibles depuis 1948 (non montré) du NCEP (Kalnay *et al.*, 1996). Ce constat fournit une certaine

vérification indépendante, car la réanalyse du NCEP ne tient pas compte des observations de températures de l'air des stations terrestres directement (mais plutôt de sondages de températures provenant de ballons, d'aéronefs et de satellites, ainsi que des températures à la surface de la mer – voir Kistler *et al.*, 2001). Les reconstitutions paléontologiques des températures ont permis d'identifier d'anciens épisodes de réchauffement affectant la région, comme la période de réchauffement de l'Holocène moyen et la période de réchauffement du Moyen-Âge (voir la section 2.3.6). Selon les connaissances traditionnelles, les communautés n'ont jamais connu de tels changements dans le passé.

2.3.2 Précipitations

Les précipitations constituent une variable climatique clé pour ce qui est de la couverture de neige, des ressources en eau et de l'écologie de la région. Les séries des anomalies annuelles (par rapport à la période de référence 1971-2000) pour les précipitations totales annuelles et les chutes de neige totales annuelles (moyennes régionales) depuis 1950 ont été générées à partir de l'ensemble de données ajustées de précipitations mensuelles de Mekis et Hogg (1999, mis à jour jusqu'en 2008) qui comprend des corrections pour tenir compte de l'homogénéité des données et des différences régionales pour la densité moyenne des chutes de neige (Mekis et Brown, 2010). Les séries de données proviennent de quatre stations au Nunavik ou dans les environs (Inukjuaq, Kuujjuaq, Kuujjuarapik et Schefferville) et de quatre stations au Nunatsiavut ou dans les environs (Goose Bay, Cartwright, Makkovik et Nain). Il n'y avait pas assez de données provenant de Nain pour les inclure dans la série régionale du Nunatsiavut, ce qui signifie que la moyenne régionale est biaisée envers la partie sud de la région. Cependant, on a constaté une corrélation importante des données de chutes de neige annuelles de Nain de 1985 à 2007 avec la moyenne régionale ($r = 0,56$), de sorte que la moyenne régionale rend quand même compte d'une certaine variabilité constatée plus au nord.

La figure 3 montre que les séries de données régionales des deux régions suivent une tendance similaire, avec une forte variabilité interannuelle superposée aux variations cycliques d'environ 10 à 20 ans, avec une hausse significative (à 0,05) des précipitations annuelles dans les deux régions au cours de la période depuis 1950. Au cours de la période de 1950-2001, on a constaté une augmentation des précipitations de l'ordre de 17 % pour les stations incluses dans la moyenne régionale du Nunavik et de l'ordre de 13 % pour les stations comprises dans la moyenne régionale du Nunatsiavut. Cette hausse semble faire partie d'une tendance de plus longue date d'après des preuves dendroécologiques d'une hausse du niveau des lacs depuis le XVII^e siècle (Bégin et Payette, 1988) et d'après des observations climatiques montrant une augmentation des précipitations à des latitudes supérieures, à la grandeur de l'hémisphère, au cours du XX^e siècle (Min *et al.*, 2008). Les données pour les chutes annuelles totales de neige (figure 4) montrent des tendances similaires de variabilité à celles observées pour les précipitations totales, mais avec des diminutions de quantité de neige tombée au Nunatsiavut après 1985 environ. Au cours de la période 1950-2001, la quantité annuelle de neige tombée a augmenté de 23 % (statistiquement significatif à 0,05) pour les stations incluses dans la moyenne régionale du Nunavik et de 8 % (non statistiquement significatif) pour les stations incluses dans la moyenne régionale du Nunatsiavut. La diminution prononcée des précipitations annuelles sous forme de pluie et de neige au Nunatsiavut de 1984 à 1993 est partiellement liée à des années de phase positive de l'ONA plus fréquentes (tout spécialement les hivers de 1989 et 1990 qui ont connu des phases fortement positives d'ONA) qui sont associées à des conditions de froid sec sur le littoral du Labrador (Brown, 2010). L'influence de l'ONA sur les températures et les précipitations diminue rapidement quand on passe du littoral du Labrador vers l'intérieur (figure 8), ce qui expliquerait pourquoi cette baisse est moins prononcée dans la série du Nunavik.

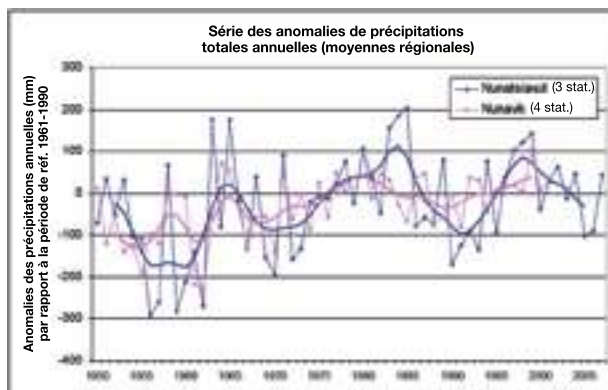


Figure 3. Anomalies des précipitations totales annuelles (mm) (moyenne pour la région) par rapport à la période de référence de 1971-2000 pour des stations climatiques disposant d'au moins 40 ans de données depuis 1950 dans l'ensemble de données de précipitations mensuelles ajustées de Mekis et Hogg (1999; mis à jour jusqu'en 2008). Le nombre de stations était insuffisant pour générer une moyenne pour la région du Nunavik après 2001. Les lignes lissées sont obtenues par l'application d'un filtre binomial à 9 termes.

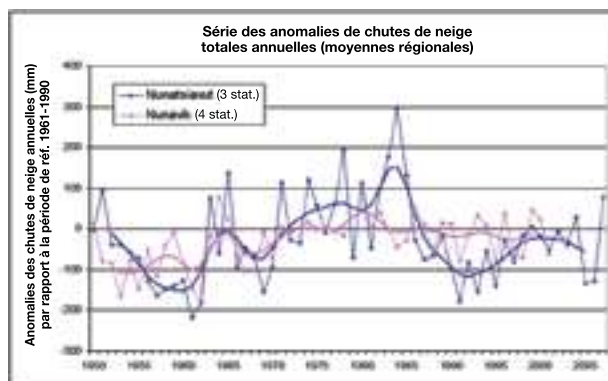


Figure 4. Anomalies des chutes de neige annuelles (mm) (moyenne pour la région) par rapport à la période de référence de 1971-2000 pour des stations climatiques disposant d'au moins 40 ans de données depuis 1950 dans l'ensemble de données de précipitations mensuelles ajustées de Mekis et Hogg (1999; mis à jour jusqu'en 2008). Le nombre de stations était insuffisant pour générer une moyenne pour la région du Nunavik après 2001. Les lignes lissées sont obtenues par l'application d'un filtre binomial à 9 termes.

2.3.3 Couverture de neige

La neige couvre la terre et la glace au Nunavik et au Nunatsiavut pendant plus de six mois par année, de novembre à mai (figure 5 et tableau 2) et elle joue des rôles clés en matière de climat (p. ex., elle isole les sols, modifie la croissance de la glace et influence les budgets énergétiques et hydriques, les écosystèmes (p. ex.,

protection hivernale pour les plantes et les animaux) et les activités humaines (p. ex., les transports et les habitations). Les principales propriétés de la couverture de neige pour les services rendus par les écosystèmes sont sa durée, son épaisseur, son équivalent en eau (EEN) et sa structure physique, laquelle comprend une foule de propriétés comme la densité, la structure cristalline et la présence d'une croûte en surface et de couches de glace.

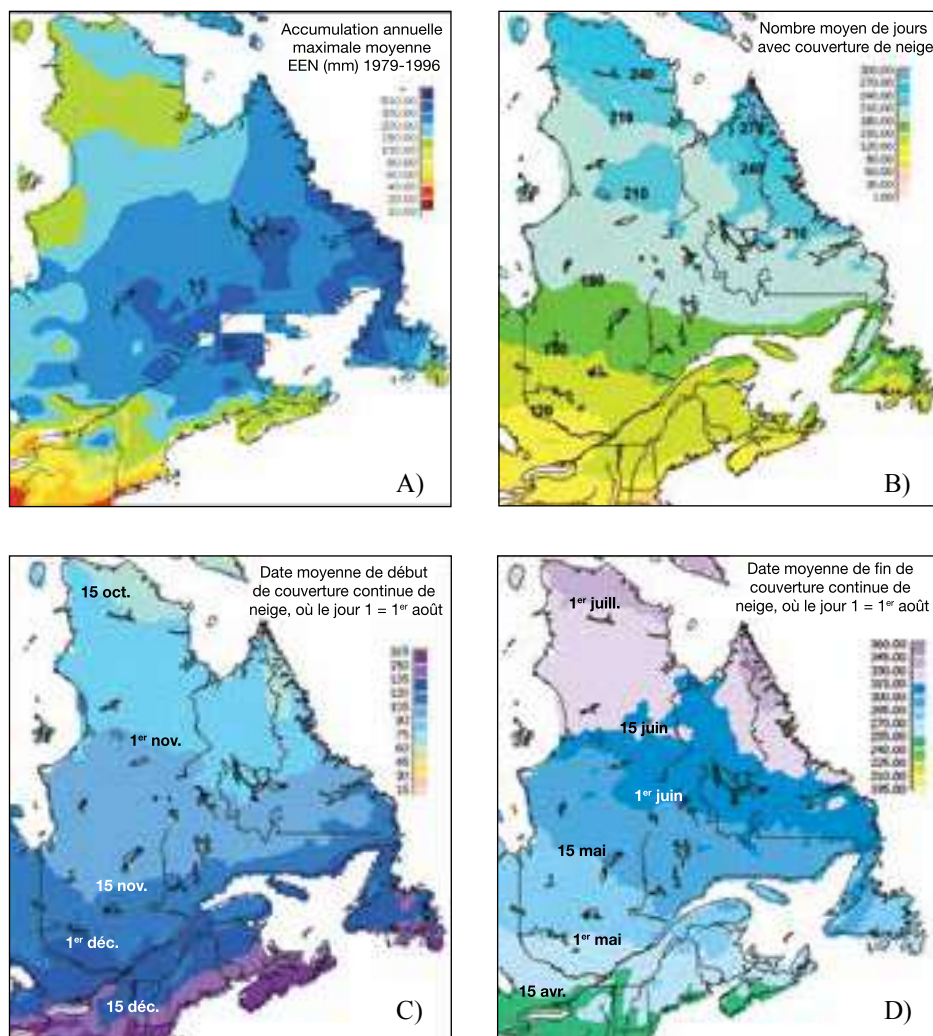


Figure 5. (A) Accumulation annuelle maximale moyenne de neige estimée en mm d'équivalent d'eau pour la période de 1979-1997 (de Brown et al., 2003). (B) Durée moyenne de la couverture de neige (jours) et (C) Date moyenne de début et (D) de fin de couverture continue de neige au cours des saisons de 2000-2001 à 2008-2009, d'après les résultats d'analyse quotidienne de la couverture de neige sur 24 km de NOAA (Helfrich et al., 2007). La date de début (ou de fin) de neige a été définie comme étant le premier jour de 30 jours consécutifs avec neige (ou sans neige).

Tableau 2. Conditions moyennes de couverture de neige de 1971 à 2000 aux stations climatiques au sein ou à proximité de la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut, ayant au moins 10 années d'observations quotidiennes de l'épaisseur de neige au cours de la période de 30 ans. Les quantités de chutes de neige annuelles moyennes ont été générées à partir de l'ensemble de données de précipitations ajustées de Mekis et Hogg (1999; mis à jour jusqu'en 2008). Source : R. Brown, Env. Canada, mars 2010.

RÉGION DU NUNATSIAVUT				
VARIABLE	GOOSE BAY	CARTWRIGHT	MAKKOVIK	NAIN
Altitude de la station (m)	46	14	66	6
Nombre d'années de données	30	30	15	18
Latitude, longitude (°)	53°3'N, 60°4'O	53°7'N, 57°O	55°1'N, 59°2'O	56°5'N, 61°7'O
Date de la première neige au sol	9 oct.	14 oct.	7 oct.	8 oct.
Date du début de la couverture continue de neige*	13 nov.	18 nov.	7 nov.	9 nov.
Date de fin de la couverture continue de neige**	15 mai	26 mai	29 mai	29 mai
Date de la toute dernière neige au sol	29 mai	2 juin	7 juin	9 juin
Durée de la couverture annuelle de neige (jours)	182,9	191,3	203,4	197,9
Chutes de neige annuelles (cm)	530,6	653,2	593,6	683,6
Épaisseur maximale de neige (cm)	118,5	195,7	97,4	135,8
Date de l'épaisseur maximale de neige	27 févr.	16 mars	31 mars	17 mars
Épaisseur moyenne de neige (cm) au cours de la période de couverture continue de neige	53,1	87,7	47,1	58,9

RÉGION DU NUNAVIK				
VARIABLE	SCHEFFERVILLE	KUJJUARAPIK	KUJJUAQ	INUKJUAQ
Altitude de la station (m)	522	21	34	3
Nombre d'années de données	21	28	30	21
Latitude, longitude (°)	54°8'N, 66°8'O	55°3'N, 77°8'O	58°1'N, 68°4'O	58°5'N, 78°1'O
Date de la première neige au sol	21 sept.	3 oct.	27 sept.	19 sept.
Date du début de la couverture continue de neige*	25 oct.	2 nov.	1 ^{er} nov.	28 oct.
Date de fin de la couverture continue de neige**	23 mai	13 mai	20 mai	2 juin
Date de la toute dernière neige au sol	6 juin	5 juin	7 juin	22 juin
Durée de la couverture annuelle de neige (jours)	216,0	193,7	204,6	221,1
Chutes de neige annuelles (cm)	575,9	338,6	368,4	306,3
Épaisseur maximale de neige (cm)	104,2	46,8	62,6	57,8
Date de l'épaisseur maximale de neige	11 mars	5 mars	24 févr.	1 ^{er} avril
Épaisseur moyenne de neige (cm) au cours de la période de couverture continue de neige	53,2	26,9	32,7	33,4

* Définie comme étant le début de la première période de deux semaines avec des épaisseurs de neige ≥ 2 cm

** Définie comme étant le début de la première période de deux semaines avec des épaisseurs de neige < 2 cm

Ces propriétés de la neige ont des effets sur le régime thermique du sol, les transports, la construction d'abris de neige et les pâturages des caribous. L'analyse de données récentes de satellites sur la couverture de neige dans la région IRIS 4 (figure 5) indique que c'est dans la partie nord des monts Torngat que la couverture de neige dure le plus longtemps (~270+ jours) et dans la région côtière de la baie d'Hudson, près de Kuujuarapik qu'elle est de plus courte durée (~180 jours). Les principaux éléments ayant un effet sur la tendance régionale d'accumulation de neige sont la proximité des sources d'humidité, les couloirs habituels des tempêtes hivernales et le relief. Dans la région IRIS 4, les plus importantes chutes et accumulations de neige sont observées le long du littoral du Nunatsiavut et dans la région de Churchill Falls (tableau 2 et figure 5A). L'épaisseur de neige accumulée chaque année varie énormément en fonction de la topographie du terrain, de la végétation et du relief, car le dépôt de neige dans les milieux ouverts est fortement influencé par l'érosion et le transport éolien (Pomeroy et Gray, 1995; Liston et Sturm, 1998). On le voit clairement dans la figure 6 qui montre les observations d'EEN effectuées à tous les 3 m environ le long d'un transect de 1,7 km près de Puvirnituk à la fin du mois de février 2008. Les pics importants d'EEN coïncident avec les reliefs déprimés qui favorisent le dépôt de neige, tandis que les secteurs de faibles EEN sont ceux où la neige était exposée à l'érosion par le vent.

Obtenir des renseignements fiables sur l'accumulation de neige pour la région IRIS du Nunavik-Nunatsiavut est

tout un défi, car il y a peu d'observations au sol et il est difficile de développer des méthodes fiables d'après des données de satellite pour surveiller l'EEN ou l'épaisseur de neige dans la forêt ou la toundra. Le développement de nouveaux algorithmes pour les données de satellite pour la forêt boréale et la toundra, spécifiques à la région arctique (p. ex., Derksen *et al.*, 2008, Lemmetyinen *et al.*, 2009) permettrait de surmonter certaines des limites des données satellitaires mondiales sur l'EEN. Les observations de l'EEN faites au sol proviennent des relevés hebdomadaires qui sont pris dans plusieurs centaines de sites au Québec et au Labrador, mais la distribution des stations est fortement biaisée envers les régions du sud et le long des principaux corridors d'hydroélectricité qui traversent le bassin de la rivière La Grande jusqu'aux chutes Churchill. Le nombre de sites de relevés varie aussi considérablement dans le temps et il n'y a pas de sites au Nunavik ou au Nunatsiavut donnant des données continues à long terme pour permettre l'observation de la variabilité et des tendances de l'EEN. Un certain nombre d'ensembles de données réparties d'EEN ont été produits au Québec au cours des dernières années (Brown *et al.*, 2003; Brown et Tapsoba, 2007; Brown, 2010) et des séries multidécennales de données simulées sur l'EEN sont disponibles à partir des sorties du Modèle régional canadien du climat (MRCC) alimentées avec des données de réanalyse (Frigon *et al.*, 2008). Dorsaz (2008) a démontré qu'il existe de grandes différences entre les divers résultats EEN obtenus au Nunavik et au Nunatsiavut.

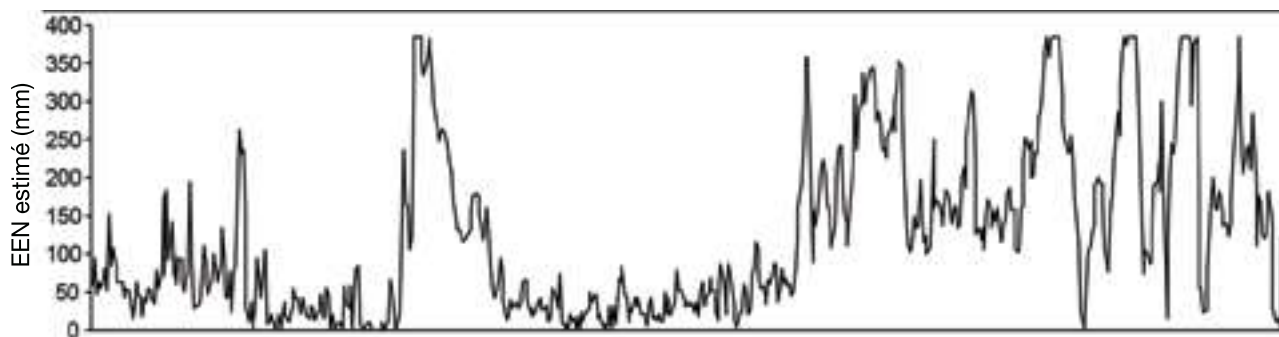


Figure 6. Variations de l'équivalent en eau de neige (EEN) le long d'un transect de 1,7 km près de Puvirnituk, le 26 février 2008. Source : P Toose, *Env. Canada*.

Tableau 3. *Changements dans les variables de couverture de neige au cours des saisons de neige de 1950-1951 et de 2006-2007, à partir de relevés quotidiens de l'épaisseur de neige pris sur des sites ouverts. La tendance a été déterminée à l'aide de la méthode Mann-Kendall (Zhang et al., 2000) qui requiert un minimum de 45 années de données pour générer une tendance. Les changements qui sont significatifs au niveau de 0,05 sont indiqués par un astérisque.*

VARIABLE	GOOSE BAY	CARTWRIGHT	KUUJJUARAPIK	KUUJJUAQ
Date du début de la couverture continue de neige	7,6 jours plus tard	6,9 jours plus tard	5,2 jours plus tard	14,3 jours plus tard
Date de fin de la couverture continue de neige	3,8 jours plus tôt	7,5 jours plus tôt	13,1 jours plus tôt	30,6 jours plus tôt*
Durée de la couverture de neige pendant la période d'août à janvier (jours)	-12,8	0,1	-4,0	-17,3
Durée de la couverture de neige pendant la période de février à juillet (jours)	-11,9*	6,3	-7,9	-32,7*
Durée annuelle de la couverture de neige (jours)	-28,4*	5,1	-12,8	-42,1*
Quantité annuelle de chute de neige (% moyen de 1971-2000)	-5,4	11,2	-1,7	7,2
Épaisseur maximale de neige (cm)	-19,0	114,0*	-85,3*	-64,8*
Date de l'épaisseur maximale de neige (jours)	-0,2	-0,2	-40,5	-43,2*

Il y a relativement peu de stations climatiques avec de longues périodes d'observations de la couverture de neige permettant de surveiller les changements des conditions de couverture de neige au Nunavik et au Nunatsiavut. Des huit stations mentionnées sommairement au tableau 2, seulement quatre avaient des données suffisamment complètes pour dégager des tendances au cours de la période de 1950-1951 à 2006-2007 (Goose Bay, Cartwright, Kuujjuarapik et Kuujjuaq). Les résultats (tableau 3) indiquent des diminutions dans la durée et l'épaisseur maximale de la couverture de neige à trois de ces sites. Cartwright était l'exception, montrant une augmentation plutôt drastique de l'épaisseur de neige de l'ordre de plus de 1 m au cours de la période de 57 ans. Ce qui suscite cette augmentation demeure nébuleux, car la chute de neige annuelle totale n'a augmenté que de 11 % au cours de la même période et on n'a observé aucune augmentation dans l'épaisseur de neige au sol ou dans les chutes de neige à Goose Bay qui se situe à un peu plus de 200 km dans les terres. Les deux sites au Nunavik différaient des sites du Labrador avec une

tendance à l'atteinte de l'épaisseur maximale de neige au sol à une date plus hâtive, soit environ 40 jours, au cours de la période de 57 ans. Des quatre sites, c'est celui de Kuujjuaq qui montre les changements les plus importants au cours de la période de 57 ans, avec une réduction de plus de 40 jours dans la durée de la couverture de neige, suscitée par une fonte se produisant 30 jours plus tôt au printemps, et une réduction de 60 cm de l'épaisseur maximale de neige.

Il importe de souligner que lorsqu'on parle des tendances susmentionnées de la couverture de neige, les relevés quotidiens de l'épaisseur de la couverture de neige aux stations climatiques se font sur des sites gazonnés ouverts, souvent près des aéroports, ce qui peut ne pas être représentatif des terrains avoisinants. Ces sites ne vont certainement pas refléter tout changement dans l'accumulation de neige qui serait relié à une croissance accrue des arbustes arctiques (Sturm *et al.*, 2001; et chapitre 8 du présent rapport). Néanmoins, l'analyse des tendances dans la couverture de neige provenant de

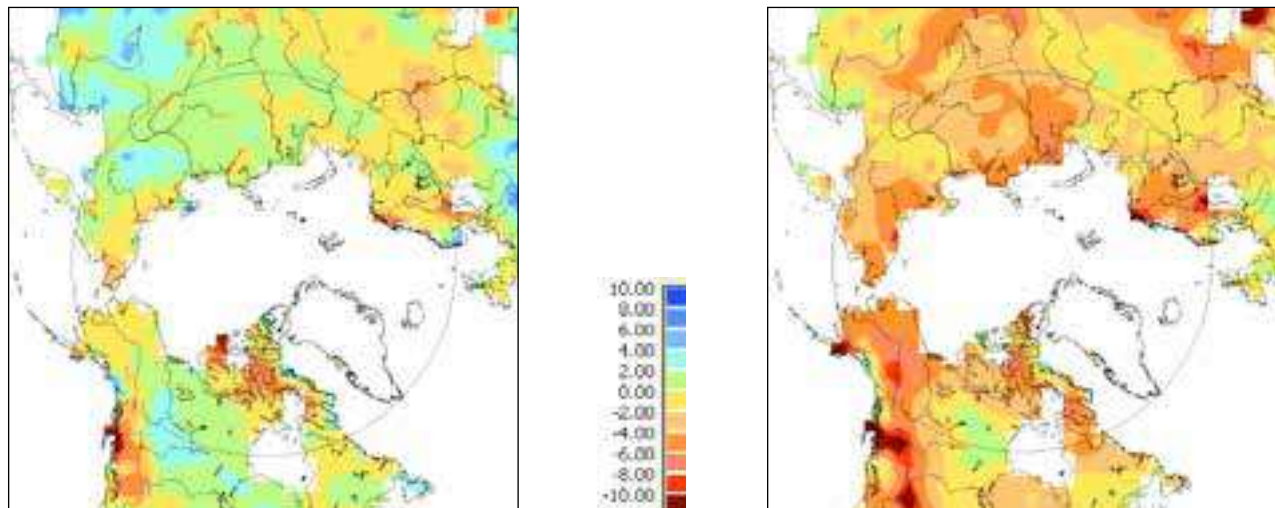


Figure 7. Tendance (jours.10a-1) dans la durée de la couverture de neige (DCN) au début (gauche) et à la fin (droite) de la saison de neige au cours des saisons de neige de 1972-1973 à 2009-2010, à partir de l'ensemble de données hebdomadaires de NOAA (Robinson et al., 1993). Les tendances ont été générées à l'aide de la méthode des moindres carrés. Source : R. Brown, EC

l'ensemble de données par satellite de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Robinson *et al.*, 1993) pour la période de 1972 à 2010 (figure 7) confirme les tendances observées aux stations terrestres qui indiquent que les plus fortes diminutions dans la couverture de neige dans la région IRIS 4 se trouvent dans les secteurs nord où se produisent les plus grands changements lors de la saison de fonte. Selon les données par satellite, la durée annuelle de la couverture de neige a diminué de 3 à 4 semaines au Nunavik et au Nunatsiavut depuis 1972.

L'analyse de la reconstitution de la couverture de neige pour la période de 1948-2005, effectuée par Brown (2010), a démontré un axe nord-sud évident pour ce qui est des tendances relatives à l'EEN annuel maximal (EENmax) et la durée de la couverture de neige au Québec, avec des diminutions locales importantes au sud du Québec et des augmentations locales importantes au centre-nord du Québec. L'augmentation de l'EENmax dans le nord du Québec est conforme aux données reconstituées du niveau des lacs (Bégin 2000) par l'analyse des formes de croissance de l'épinette noire (Lavoie et Payette, 1992);

elle est aussi conforme aux tendances d'augmentation des précipitations aux latitudes supérieures observées à la grandeur de l'hémisphère (Min *et al.*, 2008), aux projections des modèles climatiques mondiaux (Räisänen, 2007; Brown et Mote, 2009) et aux simulations du CRCC présentées à l'annexe A (figure A12).

La variabilité de la couverture de neige au Québec est significativement liée à la plupart des régimes de circulation atmosphérique qui affectent le climat de l'est de l'Amérique du Nord, mais l'influence se caractérise par une forte variabilité multidécennale (Sveinsson *et al.*, 2008; Brown, 2010). L'oscillation nord-atlantique (ONA), définie précédemment, a une influence particulièrement importante sur la température, les précipitations et la couverture de neige le long du littoral du Labrador, mais cette influence ne s'étend pas très loin à l'intérieur des terres, surtout en ce qui a trait aux précipitations (figure 8).

2.3.4 Couverture de glace

La glace des lacs, des rivières et de la mer constitue une composante majeure de l'environnement hivernal

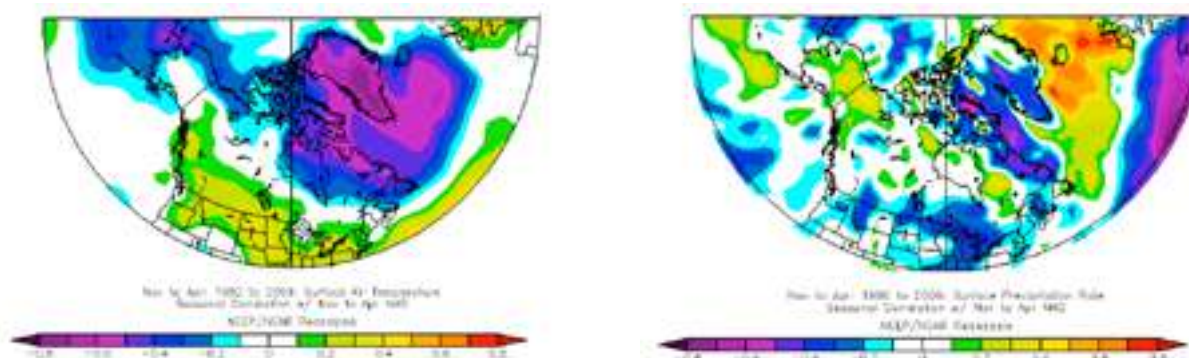


Figure 8. Corrélation de la température moyenne de l’air en surface (gauche) et du taux de précipitations (droite) tirée des données réanalysées du NCEP pour la période de novembre à avril, avec les valeurs moyennes saisonnières correspondantes de l’indice ONA au cours de la période 1980-2009. Source : NOAA/ESRL Physical Sciences Division (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/>).

au Nunavik-Nunatsiavut, avec un vaste éventail de services connexes rendus par des écosystèmes sensibles au climat, dont les transports sur la glace, la production hydroélectrique, les infrastructures humaines, de nombreuses caractéristiques écologiques et la qualité de l’eau (Beltaos et Prowse, 2009; ArcticNet, 2010). Les récents changements dans le régime des précipitations et dans la durée et l’intensité de la saison froide (Furgal *et al.*, 2002; Lafortune *et al.*, 2006; Tremblay *et al.*, 2009) ont des répercussions négatives sur les routes de glace et l’accès sécuritaire au territoire et à ses ressources, ainsi que d’importantes conséquences

socioéconomiques pour les habitants du Nord (Furgal et Tremblay, 2010). La formation de la couche de glace, sa fonte et sa dynamique sont sensibles à une foule de variables météorologiques, notamment la vitesse du vent, la température, les précipitations (sous forme de pluie et de neige), le couvert nuageux, la radiation solaire et l’humidité. Des changements dans une ou l’autre de ces variables peuvent influencer la composition de la glace, son épaisseur, sa stabilité et les interactions complexes entre les processus hydrodynamiques, mécaniques et thermiques (Beltaos et Prowse, 2001; Morse et Hicks, 2005; Beltaos, 2007; Prowse *et al.*, 2007a,b; Hicks, 2009;

Tableau 4. Sommaire des renseignements concernant l’épaisseur de la glace selon les mesures hebdomadaires d’épaisseur de la glace prises de 1972-1990. Les dates de première et dernière mesures donnent une indication approximative du moment où il est sécuritaire de circuler sur la glace. Source : R. Brown, *Env. Canada*, mars 2010.

SITE	ANNÉES	ÉPAISSEUR MAX. (CM)		DATE DE L’ÉPAISSEUR MAXIMALE		DATE DE LA PREMIÈRE MESURE D’ÉPAISSEUR		DATE DE LA DERNIÈRE MESURE D’ÉPAISSEUR	
		MOY. (CM)	É. T. (CM)	MOY.	É.T. (JOURS)	MOY.	É.T. (JOURS)	MOY.	É.T. (JOURS)
Inukjuak	18	226,8	30,2	24 avril	17,0	10 déc.	8,6	30 mai	9,3
Kuujjuaq	19	143,2	20,4	25 avril	14,8	6 nov.	9,3	18 mai	12,4
Kuujjuarapik	19	142,6	25,3	8 avril	15,4	17 déc.	14,5	3 mai	13,8
Schefferville	17	132,5	12,6	22 avril	11,3	6 nov.	10,8	24 mai	11,2
Cartwright	19	110,9	21,8	10 avril	17,2	21 déc.	10,1	14 mai	11,2
Goose Bay	18	99,2	15,1	12 avril	14,3	6 déc.	12,5	8 mai	14,8

Shen, 2010). Il a été démontré que les zones côtières, notamment les embouchures des grandes rivières où sont souvent localisées les communautés, sont des milieux particulièrement sensibles aux récents changements (ArcticNet 2010), et l'état de la glace dans ces milieux peut être spécialement dangereux à cause de la nature très dynamique du régime des glaces.

La surveillance des changements du régime des glaces au Nunavik présente un certain nombre de défis. Il existe peu de données prélevées *in situ* (Duguay *et al.*, 2006) et les observations par satellite comportent diverses limites en matière de fréquence, de constance et de durée de couverture. Des mesures hebdomadaires de l'épaisseur de la glace près de la rive ont été prises dans un certain nombre de villages de la région au cours de diverses périodes, des années 1950 à 1990. L'analyse de la période pour laquelle les données sont les plus complètes (1972-1990, tableau 4) montre que pour cette période particulière, la couche de glace que l'on estime suffisamment sécuritaire pour y circuler était présente pendant environ six mois, soit de décembre à mai, avec des épaisseurs maximales de 1 à 2 m en avril. Pour les six sites ayant des données, l'épaisseur maximale de glace varie de façon approximative en fonction de la latitude; la formation

de glace la plus épaisse ayant été relevée à Inukjuak (58°5' N) et la plus mince à Goose Bay (53°3' N).

Malheureusement, après le début des années 1990, il existe peu de mesures pour documenter la réaction de la couche de glace à la récente période de réchauffement (Duguay *et al.*, 2006). Des observations d'englacement et de déglacement sur la rivière Koksoak près de Kuujuaq (figure 9) au cours de la période de 1951-1995 indiquent une tendance statistiquement significative vers une fonte plus hâtive d'environ 0,7 jour/an au cours de la période, mais aucune tendance n'est constatée concernant les dates de prise des glaces. Toutefois, l'impact net de la durée de la couche de glace a été contrebalancé par une tendance compensatoire d'englacement plus hâtif jusqu'au début des années 1980 environ. Le fait qu'il y ait une plus grande variabilité dans les dates d'englacement que dans les dates de déglacement n'est pas anormal, car l'englacement est plus sensible à un vaste éventail de processus que ne l'est la fonte (Duguay *et al.*, 2006; Brown et Duguay, 2010). Comme l'illustre la figure 9, la durée de la couche de glace demeure relativement constante jusqu'au début des années 1980, puis diminue rapidement et devient beaucoup plus variable en fonction des tendances à un englacement plus tardif et une fonte

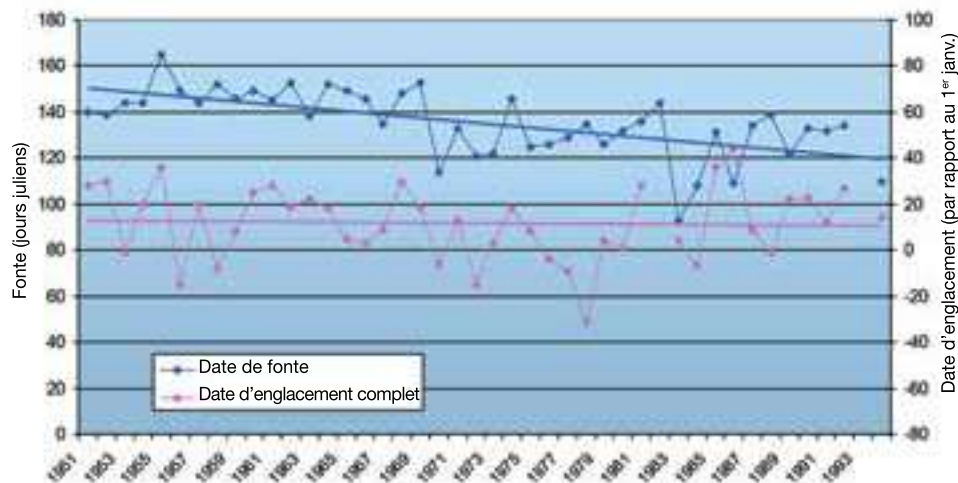


Figure 9. Variation annuelle des dates d'englacement complet et de fonte pour la rivière Koksoak à Kuujuaq, 1951-1995. Les dates d'englacement complet sont saisies par rapport au 1^{er} janvier, puisque la date peut varier de décembre à février. Source : graphique préparé par R. Brown avec les données de Lenormand et al. (2002).

plus hâtive. Bien que ces résultats ne proviennent que d'un seul site, la tendance au raccourcissement de la saison des glaces observée à Kuujuaq correspond à l'analyse des tendances de la couche de glace sur les lacs à partir de télédétection et d'observations *in situ* qui montrent que la fonte se produit plus tôt et l'englacement se produit plus tard dans la plupart des lacs au Canada (Latifovic et Pouliot, 2007). Ces tendances observées pour la glace d'eau douce s'observent aussi en mer. Une analyse récente des tendances dans la concentration de glace de mer en été dans les eaux canadiennes au cours de la période de 1968-2008 (figure 10, Tivy *et al.*, 2011) montre que certaines des diminutions les plus importantes et les plus significatives ont eu lieu dans les secteurs maritimes adjacents à la région de l'IRIS 4 (p. ex., le détroit d'Hudson : $-16,0 \pm 3,4$ % par décennie; nord de la mer du Labrador : $-17,8 \pm 4,8$ % par décennie). Les tendances dans la concentration de glace de mer en été dans l'est de la baie d'Hudson étaient aussi négatives ($-11,5 \pm 6,8$ % par décennie), mais elles n'étaient toutefois pas statistiquement significatives. Il a aussi été démontré que les patrons de circulation atmosphérique globaux jouent un rôle dans la réaction de la couche de glace sur les lacs à l'échelle régionale, en Amérique du Nord, (Walsh *et al.*, 2005; Bonsal *et al.*, 2006), bien que les résultats de Bonsal

et al. (2006) donnent à penser que ces relations sont plus prononcées dans l'Ouest du Canada.

La diminution de la couverture de glace observée à Kuujuaq est aussi conforme aux tendances préalablement documentées de raccourcissement de la saison d'enneigement et aux connaissances traditionnelles. Ainsi, on a remarqué une diminution générale de l'épaisseur de la glace sur les rivières et les lacs du Nunavik pendant l'hiver (Furgal et Prowse, 2008) et les Kuujjuamiut ont signalé une augmentation de l'instabilité de la glace sur la rivière Koksoak, ce qui a soulevé des préoccupations quant à la sécurité et suscité des modifications aux routes de glace traditionnelles aux fins de récolte et subsistance (Tremblay *et al.*, 2009; Clerc *et al.*, 2011). Les communautés nordiques des Territoires du Nord-Ouest, du Nunavut et de l'Alaska ont fait état d'expériences similaires (Tremblay *et al.*, 2006a,b). Les Aînés de Quaqtaq, Umiujaq et Kuujuaq ont observé, depuis les années 1980, que les glaces se forment plus tard, que la fonte printanière se fait plus tôt, qu'il y a davantage de pluie et moins de chutes de neige, et qu'il y a des changements dans le régime des vents dans la baie d'Hudson et le détroit d'Hudson (Clerc *et al.*, 2011).

Si nous avons une assez bonne compréhension de la façon dont les changements climatiques affecteront l'épaisseur et la durée de la couverture de glace (Dumas *et al.*, 2006; Dibike *et al.*, 2011a,b), nous en savons encore peu sur la façon dont ces changements affecteront d'autres processus d'eau douce-glace, comme la composition de la couche de glace et la dynamique des débâcles (Prowse *et al.*, 2007a,b; Beltaos et Prowse, 2009). L'information par satellite en temps réel sur les propriétés et la dynamique de la couverture de glace est un outil potentiel utile pour mieux comprendre ce qui se passe et s'adapter à un régime de glace en évolution. Le radar à synthèse d'ouverture (SAR-Synthetic Aperture Radar) s'est révélé très efficace pour surveiller les conditions de glace dans les milieux côtiers et sur les rivières, car l'information est obtenue à haute résolution et n'est pas limitée par l'illumination solaire ou le couvert nuageux. La haute résolution (8 m pour les images RADARSAT 1 en faisceau fin) et la très haute résolution

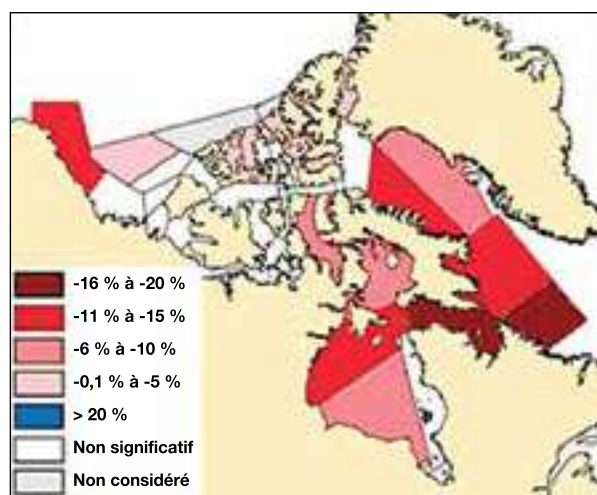


Figure 10. Tendances de la concentration de glace estivale de 1968 à 2008; les unités sont des % par décennie. Seules les tendances significatives au 95^e degré de confiance sont indiquées. Tiré de Tivy *et al.* (2011).

(3 m pour les images RADARSAT-2 en faisceau ultrafin) permettent aussi la surveillance des rivières de grande moyenne et plus récemment de l'estuaire de la Koksoak (Weber *et al.*, 2003; Gauthier *et al.*, 2006; Drouin, 2007; Untershultz *et al.*, 2008; Bleau, 2011). Le signal radar est sensible à la rugosité de la glace (diffusion de surface) et à la forme, la grandeur et la densité des inclusions d'air au sein de la couche de glace (diffusion de volume). Il peut donc être utilisé pour distinguer différents types ou formations de glace

d'eau douce (Gherboudj *et al.*, 2007). D'autres efforts sont également faits en vue d'associer l'ensemble des capacités de surveillance des glaces en tout temps de RADARSAT aux connaissances locales de l'état des glaces dans plusieurs villages nordiques (www.noetix.on.ca/floeedge.htm) de même que pour la rivière Koksoak et pour Kuujjuaq (climatechange.krg.ca/kuujjuaq.html). À titre d'exemple, on peut voir à la figure 11 (et au tableau 5) la concordance positive entre les observations aériennes et une carte des conditions

Tableau 5. Description des classes de couverture de glace de rivière de la figure 11 par les usagers (savoir traditionnel) d'après l'interprétation de l'imagerie RADARSAT. Modification de Gauthier *et al.* (2010).

CLASSE	DESCRIPTION DE LA LÉGENDE DE LA CARTE	CLASSES SELON UN ATELIER AVEC LES USAGERS (SAVOIR TRADITIONNEL)	TERME INUKTITUT
#1	Eau libre		
#2	Glace de lac vive et transparente ou glace de rive. Peut s'appliquer à de l'eau avec quelques glaces flottantes en mouvement	Couverture de glace lisse / Couverture de glace intacte	Uluaguti / Tuvaq
#3	Densité faible à moyenne de glaces flottantes en mouvement; glace de lac plus rugueuse	Radeaux de frasil à la dérive	Sikuat
#4	De forte densité de glaces flottantes en mouvement à des blocs de glace agglomérés; glace rugueuse dans les chenaux latéraux ou les bancs de sable	Les radeaux de glace commencent à se concentrer et s'agglomérer	Puttaat / Ittiniit
#5	Glace agglomérée (rugueuse)	Agglomération complétée	Puttaat / Ivuniit
#6	Glace consolidée (encore plus rugueuse)	Couverture thermique ou blocs de frasil qui s'empilent	Ivuniit / Maniiligaat

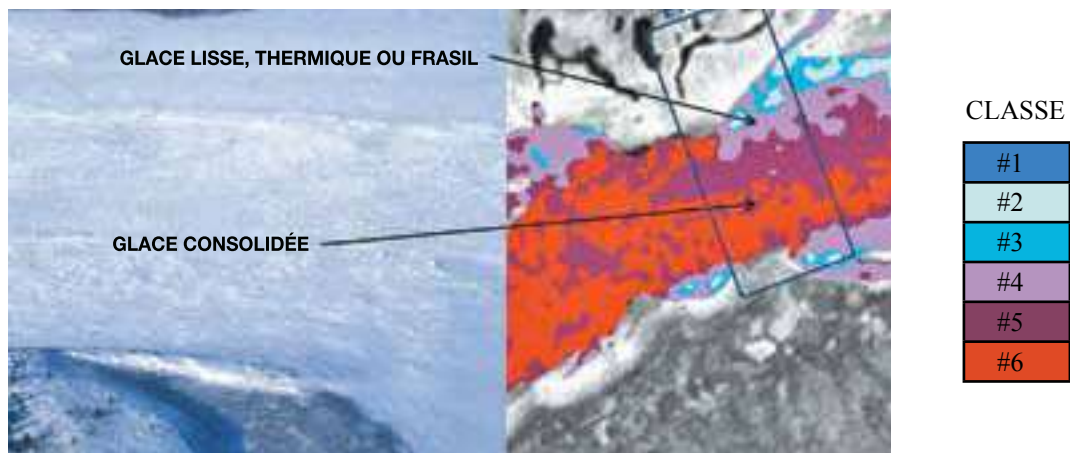


Figure 11. Correspondance positive entre les observations aériennes et les cartes de glace de rivière provenant de RADARSAT pour ce qui est de la glace consolidée (classes n° 6 et 5) et de la glace plus lisse (classes n° 2 à 4), le 29 février 2008. Modifié de Gauthier *et al.* (2010).

de glace de rivière tirée de RADARSAT (Gauthier *et al.*, 2010). On a incorporé les connaissances traditionnelles au processus de classification et de cartographie des couches de glace de RADARSAT pour la rivière Koksoak. Le tableau 5 présente la classification des différents types de glace illustrés à la figure 11 et la terminologie correspondante en inuktitut d'après les consultations avec les Aînés de l'endroit réalisées dans le cadre d'un projet de l'Année polaire internationale.

L'installation de sonars à vision ascendante ancrés permettant la prise continue de mesures de l'épaisseur de la glace de rivière viendrait compléter les capacités de surveillance des glaces en tout temps de RADARSAT (Marko et Jasek, 2010). Il reste toutefois des difficultés à surmonter pour rendre de tels systèmes pleinement fonctionnels dans des lieux sans courant alternatif et il faudra déployer d'autres efforts pour accroître les capacités d'observations de base des conditions de glace au Nunavik et au Nunatsiavut en appui aux mesures d'adaptation aux changements dynamiques du régime des glaces. Le jumelage du savoir traditionnel et des connaissances scientifiques dans le cadre d'initiatives communautaires de surveillance (Huntington, 2008) semble être un cadre utile pour améliorer la surveillance et la compréhension des conditions changeantes de la glace, avec des transferts de connaissances suffisants pour s'assurer que les nouveaux renseignements se traduisent en une sécurité accrue et une meilleure prise de décision.

2.3.5 Les glaciers des monts Torngat dans le nord du Labrador : combien en compte-t-on et pour encore combien de temps?

La plupart des Canadiens ignorent la présence de glaciers dans le nord du Labrador. La contribution de ces glaciers au volume de glace terrestre du pays est d'ailleurs négligeable. Néanmoins, leur importance géographique en fait un sujet intéressant d'étude scientifique, car ce sont les seuls glaciers en Amérique du Nord continentale à l'est des Rocheuses et ceux qui sont le plus au sud le long de la chaîne montagneuse de l'Est de l'Arctique

canadien. Ces glaciers se trouvent dans le Parc national canadien des Monts-Torngat et de ce fait ils constituent un élément important du paysage naturel arctique du Labrador, quoiqu'on ne comprenne pas bien comment les autres écosystèmes locaux – de la végétation de toundra aux habitats des fjords – dépendent des glaciers et de leur eau de fonte. Les glaciers occupent une partie du territoire des Inuits du Labrador et font partie de leur paysage naturel et culturel. Le terme inuktitut pour glacier est *simmik* et il signifie « glace qui ne fond jamais » (Willie Etok, communication personnelle, 2008).

Cela en surprendra beaucoup d'apprendre que les plus anciennes photographiques d'un des glaciers des monts Torngat datent de plus de 100 ans. En 1908, E.S. Bryant et H.S. Forbes sont montés de la côte et ont photographié un petit glacier sur la face nord du mont Tetragona en amont d'une petite moraine de retrait (c.-à-d. une crête de débris formés à la bordure stationnaire d'un glacier pendant son retrait général) située à quelques centaines de mètres du front glaciaire (figure 12). N.E. Odell et B. Morris se sont subséquemment rendus au glacier pendant l'expédition de 1931 de D.L. Forbes au nord du Labrador – ils en font référence comme du glacier de Bryant et ils ont photographié le front glaciaire à partir du même endroit au sol que leurs prédécesseurs (figure 12). Au cours de cette période de 23 ans, la bordure du glacier avait reculé de 70 à 90 m (Odell, 1933). En 1956, J.D. Ives a aussi photographié le front glaciaire (Ives, 1957). En 2008, pour commémorer la toute première photographie et en souvenir de la troisième Année polaire internationale, T. Bell et des employés de Parcs Canada et du gouvernement du Nunatsiavut sont retournés au glacier Bryant et l'ont photographié (figure 12). Au cours d'un siècle, le glacier a considérablement diminué et il est maintenant principalement constitué de deux plus petites masses de glace que l'on peut voir partiellement sur la photographie de 2008 (figures 12 et 13).

Plusieurs inventaires des glaciers du nord du Labrador ont été faits, mais malheureusement ou bien ils sont incomplets ou bien n'ont pas été publiés. Le tout premier

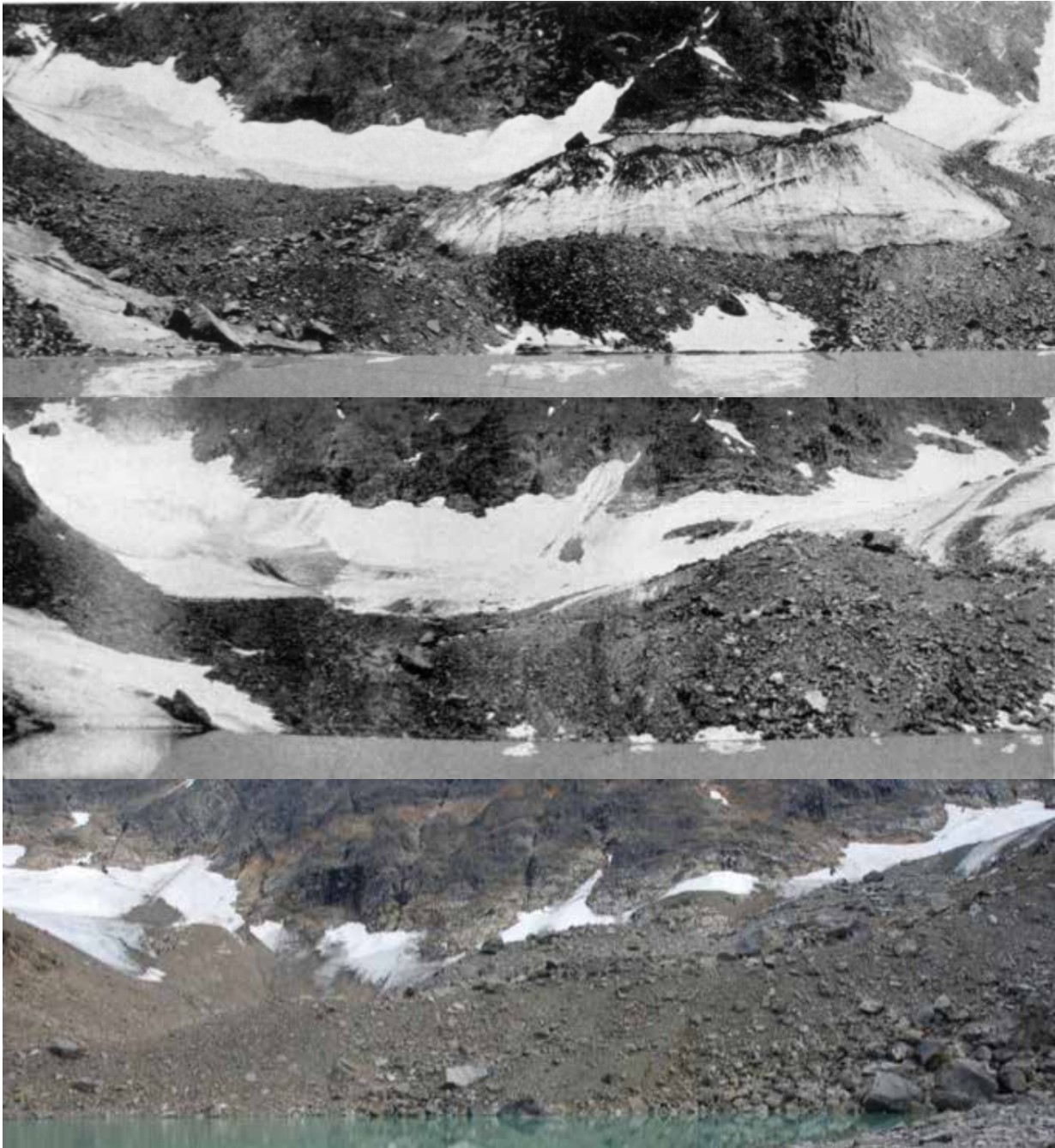


Figure 12. *Un siècle de changements au front du glacier Bryant sur la face nord du mont Tetragona dans les monts Torngat. Photo supérieure : Bryant et Forbes, 1908; photo centrale : Odell, 1931; photo inférieure : Bell 2008. En 1908, le front actif du glacier se situe à la moraine, au premier plan. En 1931, le front du glacier est à 70-90 m derrière la moraine. En 2008, le glacier est presque divisé en deux et les fronts de ces deux glaciers tributaires sont aux deux extrémités de la photographie du bas. Voir la figure 13 pour une perspective aérienne de la perte de glace proposée et de l'endroit où était placé le photographe sur une moraine terminale en face du glacier.*



Figure 13. Perspective aérienne d'un siècle de perte de glace sur le glacier Bryant. Les marges du glacier en 1908 et en 1931 sont dessinées d'après la marge de glace visible sur les photographies prises au sol (voir la figure 12) et la forme globale du glacier provient d'une photographie aérienne prise en 2005. La marge du glacier en 2008 a été cartographiée à partir de l'imagerie par satellite SPOT5 HRS. La diminution totale de la superficie du glacier Bryant entre 1908 et 2008 est estimée à 0,344 km² ou 38 %. À titre comparatif, le récent changement entre 2005 et 2008 a été mesuré comme étant de 0,144 km², soit 16 % de la superficie de 1908

inventaire a été réalisé en 1931 dans le cadre de l'expédition de cartographie du nord du Labrador de Forbes. La carte publiée par Forbes (1938) montre 61 glaciers dans la région au nord du fjord Nachvak. Comme l'ont souligné Mercer (1958) et Fahn (1975), certains de ces glaciers sont extrêmement petits et ne méritent pas de s'appeler glaciers (p. 676). Une carte des glaciers de la partie sud de l'île de

Baffin et du nord du Labrador a été compilée par W.E. Hensch et A. Stanley et publiée en 1968. On y trouvait 62 sites de glaciers, également dans la région au nord du fjord Nachvak (Hensch et Stanley, 1968).

J. Stix (Dartmouth College, New Hampshire) a effectué une reconnaissance des glaciers dans la région du fjord Nachvak en 1979. Il a fait état des conditions d'écoulement de dix masses de glace qu'il a photographiées et qu'il a classées comme étant des glaciers de cirque, des petits glaciers de cirque ou encore des champs de glace ou champs de neige (Stix, 1980). Il a comparé la photographie prise du sol en 1979 à des photographies aériennes d'une échelle de 1/62 572 datant de 1964 afin de détecter tout changement dans l'étendue de glace. Il a conclu que deux des glaciers de cirque s'étaient peut-être avancés, tandis que les autres étaient stationnaires ou avaient reculé.

Plus récemment, Leblanc et Bell (2008) ont produit un nouvel inventaire des glaciers de la région en utilisant des données déjà publiées, les cartes du Système national de référence cartographique (SNRC) à l'échelle de 1/50 000 et une base de données d'observations non publiée de Parcs Canada (A. Simpson, communication personnelle, 2008). L'inventaire intégrant toutes les observations précédentes donne à penser qu'il peut y avoir eu jusqu'à 86 masses de glace dans les monts Torngat, 65 de ces masses étant situées au nord du fjord Nachvak et le reste au sud. Il n'y a toutefois pas eu d'évaluation de l'activité des glaciers.

La première étude scientifique des glaciers a été entreprise par R. J. Rogerson de l'Université Memorial de Terre-Neuve au début des années 1980. Le chercheur et son équipe ont passé quatre saisons (1981-1984) à mesurer le bilan de masse et les caractéristiques morphologiques de quatre glaciers qui se drainent dans la vallée Ivitak (Ivitak est le nom inuit de la vallée de la rivière McCormick qui apparaît sur les cartes topographiques du SNRC), sur la rive sud du fjord Nachvak. Pendant cette période, deux glaciers ont connu un bilan massique net positif (c.-à-d. la différence entre l'accumulation provenant des chutes de neige et l'ablation par la fonte sur le glacier), tandis que les

deux autres ont toujours eu un bilan massique négatif. Fait intéressant, chacune des années de l'étude, le front du plus petit glacier avec un bilan massique négatif avait avancé d'en moyenne 1,2 m (Rogerson, 1986).

L'étude actuelle des glaciers des monts Torngat a été entreprise dans le cadre du projet Nunatsiavut Nuluak d'ArcticNet, en partenariat avec Parcs Canada et le gouvernement du Nunatsiavut. Son but premier est d'établir des données de base sur les conditions actuelles des glaciers qui pourront servir à un éventuel suivi, à la détection de changements récents et à l'évaluation de l'hydrologie locale. Le plan de recherche comporte de la télédétection, des inventaires sur le terrain et l'utilisation des connaissances locales des Aînés inuits qui ont vécu et voyagé dans les monts Torngat. Nous présentons ici un résumé de la première évaluation systématique de l'étendue des glaciers, avec une estimation préliminaire du changement de ces glaciers au cours de la période de 2005-2008, uniquement à partir des techniques de télédétection.

La provenance des données et les méthodes d'analyse sont présentées dans Barrand *et al.* (2010).

Au total, 103 glaciers ont été cartographiés à partir de photographies aériennes en couleurs prises en 2005, à une échelle de 1/40 000. Les glaciers variaient en superficie de 0,02 à 1,26 km², pour une superficie totale de glaciers de 19,8 km². De ces 103 glaciers, 17 n'avaient pas été identifiés lors des inventaires précédents. Cependant, il est peu probable que ces glaciers soient apparus dans les dernières décennies et il est plus vraisemblable qu'ils aient été omis sur les anciennes cartes. Les glaciers se trouvent au sein d'une région côtière définie par les latitudes 58°59' et 59°84' Nord. La plupart des glaciers (80 %) ont une superficie de moins de 0,25 km² et il n'y en a qu'un seul qui fait plus de 1 km². Les glaciers des monts Torngat occupent généralement des cirques avec des parois élevées à l'arrière et bon nombre d'entre eux sont fortement recouverts de débris à basse altitude (figure 14). Environ 70 % d'entre eux ont une orientation nord (azimut 315-345°), ce qui

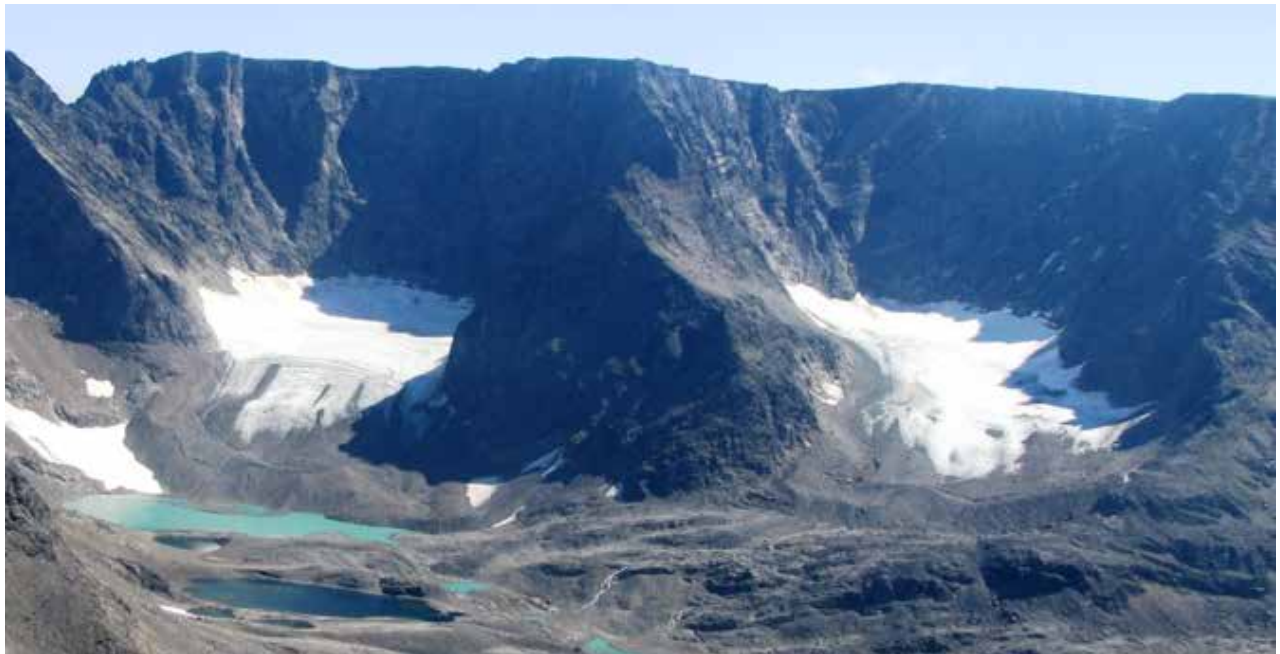


Figure 14. Vue vers le sud sur les glaciers Abraham (gauche) et Hidden (droite) dans le massif montagneux à cirques au sud du fjord Nachvak. On remarque les parois élevées à l'arrière qui font de l'ombre sur les zones d'accumulation des deux glaciers.

maximiserait l'effet d'ombre des parois élevées à l'arrière, mais de façon significative 10 % font face au sud (azimut 135-235°). L'altitude des fronts glaciaires varie de 290 m à 1 140 m au-dessus du niveau de la mer (ASL), et 14 d'entre eux (14 %) ont un front glaciaire à plus de 1 000 m ASL. Approximativement 78 % des glaciers sont situés à moins de 30 km du littoral du Labrador.

La cartographie des glaciers à partir de l'imagerie satellite SPOT5 HRS de 2008 a produit un nombre total de 96 contours de glaciers, soit 7 de moins que lors de l'inventaire de 2005, à cause du couvert nuageux et du manteau neigeux masquant les marges glaciaires. Les 96 glaciers couvraient une étendue de 16,99 km² et variaient en superficie de 0,014 à 1,25 km². Cela représente une diminution de 1,74 km², soit 9,3 % de la superficie couverte en 2005 par les mêmes 96 glaciers. On a constaté que 91 % des glaciers (87 glaciers) ont diminué en étendue, avec une diminution moyenne perceptible de 0,024 km². On a enregistré des changements de superficie de moins de 0,05 km² pour 22 glaciers, ce qui signifie probablement un changement non détectable, compte tenu de la résolution spatiale de l'imagerie.

Pour la première fois, nous avons maintenant un inventaire complet des glaciers du nord du Labrador, une mesure de leur superficie et une évaluation de leurs changements récents. La réduction de l'ordre de 9,3 % de la superficie des glaciers des monts Torngat entre 2005 et 2008 est impressionnante, mais il faut voir cela dans le contexte des tendances à long terme d'étendue et de climat. Une étude à cet égard est en cours, mais les données publiées à ce jour donnent à penser que les glaciers de la région du fjord Nachvak étaient en recul vers la fin des années 1970 et le début des années 1980 (Stix, 1980; Rogerson, 1986). La moyenne globale des bilans massiques annuels des quatre glaciers de la vallée Ivitak de 1981 à 1984 était de -0,26 m d'équivalent en eau par année (Rogerson, 1986). Les données climatiques pour la période de 1997 à 2008 dans la région du fjord Nachvak (voir la légende du tableau 6 pour des détails sur les données climatiques) indiquent une décennie anormalement chaude comparativement aux

températures moyennes estivales des 60 dernières années (tableau 6). En fait, les années 2007 et 2008 ont connu les étés les plus chauds jamais enregistrés, et l'année 2008 était de 2,57 °C plus chaude que la moyenne des 60 dernières années.

Rogerson (1986) a conclu que les précipitations hivernales sont la variable climatique qui contrôle le bilan massique des quatre glaciers à l'étude. Les précipitations hivernales de 2005 à 2007 étaient supérieures à la moyenne des 60 dernières années. Ce qui semble d'une plus grande importance, c'est la longue période de précipitations sous la moyenne depuis 1983 (16 années sur 22) ainsi que pour 5 des

Tableau 6. Anomalies des températures estivales (juin à août) et des précipitations hivernales (septembre à mai) par rapport à la moyenne de la période 1948-2009 dans la région du fjord Nachvak (-5,39 °C et 1,76E-04 kg/m²/s, respectivement). Les données de température représentent les conditions à une pression de 700 kPa pour estimer les altitudes du glacier et sont tirées de la réanalyse NCEP/NCAR. Les valeurs de précipitations (aussi à 700 kPa) sont exprimées en taux de précipitations et proviennent de la réanalyse NMC. Les données ont été obtenues du site Web du Royal Dutch Meteorological Institute (*climexp.knmi.nl*) le 25 mars 2010. Les deux ensembles de données ont été dérivés d'un secteur défini par les coordonnées suivantes : latitude 57°14'-61°25'N.; longitude 58°75'-66°25'O.

ANNÉE	ANOMALIES DES TEMPÉRATURES ESTIVALES (°C)	ANOMALIES DES PRÉCIPITATIONS HIVERNALES (KG/M ² /S)
1999	-0,28	-1,78E-05
2000	1,04	-5,97E-06
2001	0,11	-9,64E-07
2002	0,22	1,40E-05
2003	1,29	-9,14E-06
2004	0,93	4,08E-05
2005	-0,60	3,62E-05
2006	0,22	4,18E-05
2007	1,74	9,42E-06
2008	2,57	-1,74E-05

7 années précédant 2005 (tableau 6). L'impressionnant déclin récent dans l'étendue des glaciers pourrait donc s'expliquer principalement par la réaction à la tendance multidécennale de précipitations hivernales moindres, jumelé à des étés anormalement chauds.

Il est trop tôt dans notre analyse pour déterminer un pronostic à long terme de la survie des glaciers des monts Tornat. Nous utilisons actuellement un modèle distribué de fonte selon des indices de température (voir Hock, 2003) pour analyser la sensibilité du bilan massique de certains glaciers aux variables climatiques, aux conditions topographiques et aux couches de débris en surface, et nous simulons les réactions des glaciers dans le cadre de scénarios climatiques futurs (King *et al.*, 2009). Lorsque l'analyse sera terminée et que nous aurons en main une perspective à long terme des changements glaciaires, nous pourrions alors mettre à l'épreuve l'hypothèse de Rogerson (1986) selon laquelle : [Traduction] « La survie des glaciers dans les monts Tornat semble probable dans un avenir immédiat, même si le climat se réchauffe légèrement. Les températures plus chaudes en hiver pourraient causer des chutes de neige plus abondantes... En outre, même si les températures plus élevées causent plus de fonte en surface et une érosion substantielle des glaciers, toute réduction de l'élévation de la surface des glaciers augmenterait la quantité d'ombre (...) » (p 217-218).

2.3.6 Le pergélisol en tant qu'indicateur climatique

La présence et la température du pergélisol sont directement liées au climat local et régional, bien que ce soit par le biais des conditions à la surface du sol (p. ex., à travers la végétation et le manteau neigeux). Le chapitre 6 fournit une description du régime du pergélisol dans la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut, avec une carte illustrant la distribution spatiale des zones de pergélisol continu, discontinu et sporadique (voir chapitre 6, figure 1). À des profondeurs de l'ordre de dizaines à centaines de mètres, le profil thermique du pergélisol a

enregistré les variations historiques des températures de surface, fournissant un moyen de reconstituer des climats anciens. Une autre façon de reconstituer des paléoclimats dans le milieu de pergélisol est d'analyser et de dater au carbone 14 les paléosols et les couches de tourbe associés aux changements de la dynamique des sols structurés et des formes de relief (réseaux de polygones de toundra, paises, etc.) puisque ces éléments du sol changent en fonction des changements climatiques en surface. Cette approche utilise donc les conditions de surface historiques reconstituées comme indicateurs des climats anciens.

Au Nunavik, on a récemment utilisé des profils thermiques de forage profond pour la reconstitution d'anciens climats (Chouinard *et al.*, 2007). On a étudié des coins de glace pendant plusieurs années pour tenter d'identifier des seuils climatiques qui contrôlèrent la fissuration du sol gelé et de reconstituer des périodes de régimes climatiques plus chauds et plus froids (Allard et Kasper, 1998; Kasper et Allard, 2001). De plus, la datation au carbone-14 de la tourbe sommitale sur le dessus des paises (monticules recouverts de tourbe dans la région subarctique près de la limite des arbres) dans le secteur d'Umiujaq a permis de déterminer la période à laquelle leur surface a commencé à s'élever au-dessus du niveau de la tourbière et s'est asséchée à cause de la formation de glace dans le sol et du début de formation du pergélisol pendant les périodes froides (Marchildon, 2007).

Des profils thermiques de forage profond à la mine Raglan dans le nord du Nunavik ont été utilisés pour reconstituer l'historique des températures en surface du sol (*ground surface temperature history* – GSHT) (400 et 800 ans) et cerner le refroidissement lors du Petit Âge glaciaire (PAG) (pour de plus amples détails sur les méthodes, voir Chouinard *et al.*, 2007). Ils ont nettement détecté le début du PAG (reconstitution de 800 ans) qui se caractérise par une chute de température du sol en surface de 0,42 K sous la température de surface moyenne de référence (~ -8,57 °C) (figure 15). Leurs résultats mettent également en évidence le réchauffement qui s'est produit au début du XX^e siècle, un certain refroidissement vers

la deuxième moitié du siècle et le récent réchauffement observé depuis le début des années 1990.

Les résultats des études des coins de glace, des fissures de gel et des variations passées de l'épaisseur de la couche active par Kasper et Allard (2001) dans le nord du Nunavik ont révélé la présence de six phases climatiques distinctes au cours d'une période de 3 400 ans avant l'an 2000. Bien que ces méthodes n'aient pas fourni des valeurs précises de reconstitution des températures, les périodes climatiques mises en évidence correspondent bien à celles identifiées à l'aide d'autres méthodes, comme les analyses de pollens, la reconstitution climatique par le biais des profils thermiques profonds du pergélisol (dans

le centre de la péninsule d'Ungava) (Taylor et Judge, 1979; Richard, 1981) et la modélisation inverse des profils thermiques dans la calotte glaciaire du Groenland (dans le cadre des projets de forage GRIP et Dye 3; Dahl-Jensen *et al.*, 1998). Toutes ces études ont montré un refroidissement général débutant vers 3 200 ans BP (avant le présent), suivi d'un réchauffement associé à la période chaude médiévale (petit optimum climatique, de 950 à 1 100 ans BP). Des signes évidents de climat froid ont été mis évidence pendant le PAG (tableau 7). Dans la région subarctique, les terres humides avec un pergélisol discontinu dans les champs de paises ont connu une première phase d'expansion qui a débuté il y a environ 2 300 ans. La période de 1 000 à 500 ans BP était plus chaude, car certaines paises ont fondu, mais la période de 500 à 100 ans BP (environ de la fin du XIII^e siècle à la fin du XIX^e siècle, correspondant au Petit Âge glaciaire) a été particulièrement froide.

Au début du XX^e siècle, on a détecté une tendance au réchauffement par le biais de l'arrêt de l'activité des coins de glace (Kasper et Allard, 2001). Chouinard *et al.* (2007) ont également observé un réchauffement continu à la surface du sol atteignant 0,9 K au-dessus de la température de référence, vers la fin de la période de 1750 à 1925. Ces derniers ont également mis en lumière une tendance au refroidissement entre 1946 et les années 1980 avec des diminutions de température d'environ 0,3 K. Ce refroidissement correspond à la tendance régionale dont font état d'autres documents publiés (Allard *et al.*, 1995; Wang et Allard, 1995; Kasper et Allard, 2001) et on a identifié cette période comme étant la plus froide des 100 dernières années. Kasper et Allard (2001) ont aussi signalé une réactivation progressive de l'activité des coins de glace associée avec des températures plus froides pendant cette période (2001).

Au cours des 10 à 15 dernières années, les GSTH fournis par Chouinard *et al.* (2007) ont montré une nette augmentation de 2,3 K au-dessus de la température de référence. La perturbation totale des températures établies depuis la fin du PAG (-0,4 K) indique une augmentation de

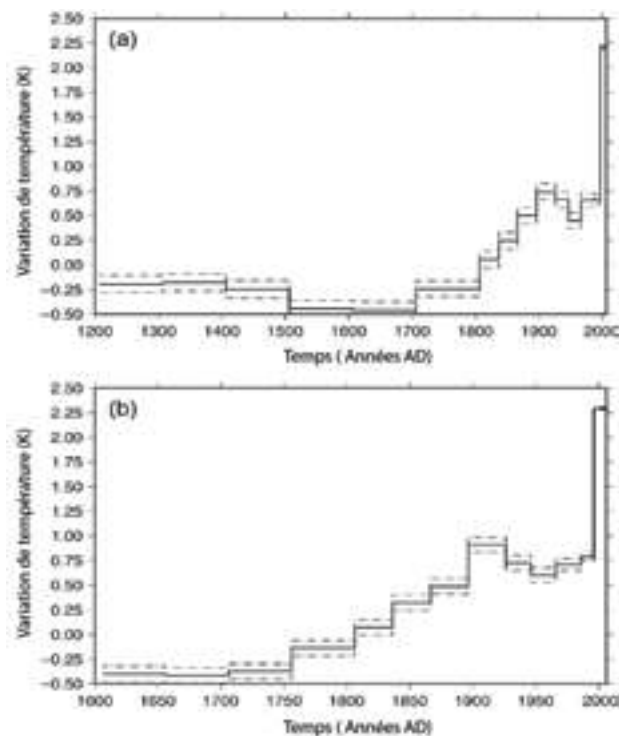


Figure 15. Résultats de la méthode inverse de Monte-Carlo pour le profil thermique du trou de forage 0615 pour les GSHT a) 800 ans et b) 400 ans. La ligne pleine représente la moyenne de toutes les températures retenues pour chaque intervalle et les lignes pointillées représentent la moyenne \pm un d'écart type. De Chouinard *et al.* (2007).

Tableau 7. Grandes périodes de climat identifiées en fonction de l'activité des coins de glace et des interprétations paléoclimatologiques. L'échelle de temps n'est pas linéaire, 0 correspond à l'an 2000. Modifié de Kasper et Allard (2001).

PÉRIODE	CLIMAT	VÉGÉTATION	ACTIVITÉ DES COINS DE GLACE
50-0	Refroidissement	Carex et mousse	Activation progressive des coins de glace
100-50	Chaud	Carex et mousse	Cessation de l'activité
500-100	Froid (le plus froid)	Prépondérance de mousse; activité éolienne; processus de versants actifs	Activité intense
970-500	Refroidissement	Prépondérance de graminées; activité éolienne; processus de versants actifs	Augmentation progressive
1860-970	Généralement humide et chaud	Prépondérance de sphaigne	Diminution généralisée de l'activité; alternance d'activation et de désactivation
3400-1860	Généralement froid et sec	Prépondérance de carex; activité éolienne	Généralement actifs; formation de polygones à centres déprimés

2,7 K au-dessus de la température de référence à la fin des années 1990. Pour les 15 dernières années, les résultats de Chouinard *et al.* (2007) infèrent une augmentation d'environ 1,8 K (figure 15) qui est également appuyée par la récente augmentation des températures de l'air près de la surface modélisée pour le nord du Nunavik dans la « *North American Regional Reanalysis* » (NARR) (Mesinger *et al.*, 2006). En outre, ces résultats correspondent au portait de la température régionale de l'air qui se dégage des mesures prises aux stations météorologiques d'Environnement Canada à Iqaluit, Kuujuaq, Inukjuak et Kuujuarapik. Les températures observées montrent des tendances croissantes pour les quelques dernières années, ce qui se reflète également dans la dégradation continue du pergélisol observée dans tout le Nunavik (Marchildon, 2007; L'Hérault, 2009; Payette *et al.*, 2004).

En résumé, les reconstitutions paléoclimatiques à l'aide des profils thermiques du pergélisol, des formes de relief et des sols structurés fournissent un aperçu global du refroidissement climatique qui a eu lieu au Nunavik pendant l'Holocène tardif, c.-à-d. depuis environ 3 000 ans. Les reconstitutions ont pu aussi identifier deux périodes climatiques importantes : le petit optimum

climatique (de l'an 1 000 environ jusqu'au XIV^e siècle), période relativement plus chaude, mais de climat variable et se refroidissant graduellement; et le Petit Âge glaciaire qui se démarque pour avoir été particulièrement froid. Le XX^e siècle a été caractérisé par un réchauffement graduel se terminant dans les années 1990 par une impulsion chaude qui s'est poursuivie au XXI^e siècle.

2.4 Projections des changements climatiques

C'est le consortium Ouranos qui a élaboré les scénarios des changements climatiques pour la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut, par réduction d'échelle des résultats issus des modèles climatiques globaux; ainsi les Modèles climatiques globaux (MCG) à une résolution de 200 – 400 km a été ramené à une résolution de 45 km à en se servant du Modèle régional canadien du climat (MRCC) (Caya *et al.*, 1995; Caya et Laprise, 1999; Plummer *et al.*, 2006; Music et Caya, 2007). Les changements projetés sont dérivés de la différence entre les moyennes sur 30 ans calculées pour la période de 1971 à 2000, soit la période dite « du climat actuel », et pour une période de « climat futur » de 2041 à 2070

correspondant à la période autour de 2050; ils adoptent comme hypothèse le scénario SRES A2 pour les futures émissions de gaz à effet de serre (Nakicenovic *et al.*, 2000). La période de 2050 a été choisie, car c'est une période au cours de laquelle les signaux des changements climatiques sont apparents dans l'Est de l'Amérique du Nord (Christensen *et al.*, 2007); cette période correspond par ailleurs à l'horizon de planification des décideurs. Au total, on a utilisé six paires de séquences produites par la plus récente version du MRCC 4.2.3 pour les climats actuel et futur (de Elia et Côté, 2010); cinq paires pilotées par la troisième génération du Modèle couplé climatique global (MCCG3) (Scinocca *et al.*, 2008; Flato et Boer, 2001) et une paire pilotée par le modèle global ECHAM5 de l'Institut Max Planck (Roeckner *et al.*, 2003; Jungclaus *et al.*, 2006). Le changement moyen calculé (Δ) à partir des six séquences d'utilisation différentes du MRCC a été cartographié en superposition sur la région à l'étude avec l'écart-type (ET) des changements projetés, afin de donner une certaine idée de la constance (ou de l'incertitude) qui, dans ce cas, est principalement liée à la variabilité interne du système climatique tel que simulée par le MCCG3. L'annexe A à la fin du présent chapitre donne une description plus complète de la méthodologie, incluant une évaluation de la performance du modèle climatique.

Au total, 14 variables ont été retenues pour le scénario de reconstitution, d'après des études antérieures (Sharma *et al.*, 2009; Williamson *et al.*, 2009) et d'après leur pertinence pour les écosystèmes de la région IRIS du Nunavik-Nunatsiavut. L'annexe A donne d'autres précisions justifiant le choix des variables et des définitions.

- Température de l'air annuelle, en hiver (octobre à avril) et en été (mai à septembre)
- Somme des degrés-jours de dégel et de degrés-jours de gel, par rapport au seuil de 0 °C
- Somme des degrés-jours de croissance, par rapport au seuil de 5 °C
- Début et fin de la saison estivale, par rapport au seuil de 0 °C
- Précipitations totales annuelles et précipitations totales solides
- Épaisseur moyenne et maximale de la couverture de neige
- Durée de la couche de neige dans la première (d'août à janvier) et la deuxième (février à juillet) moitié de l'année de neige
- La fréquence des dégels hivernaux, des cycles de gel-dégel et d'événements de pluie sur neige

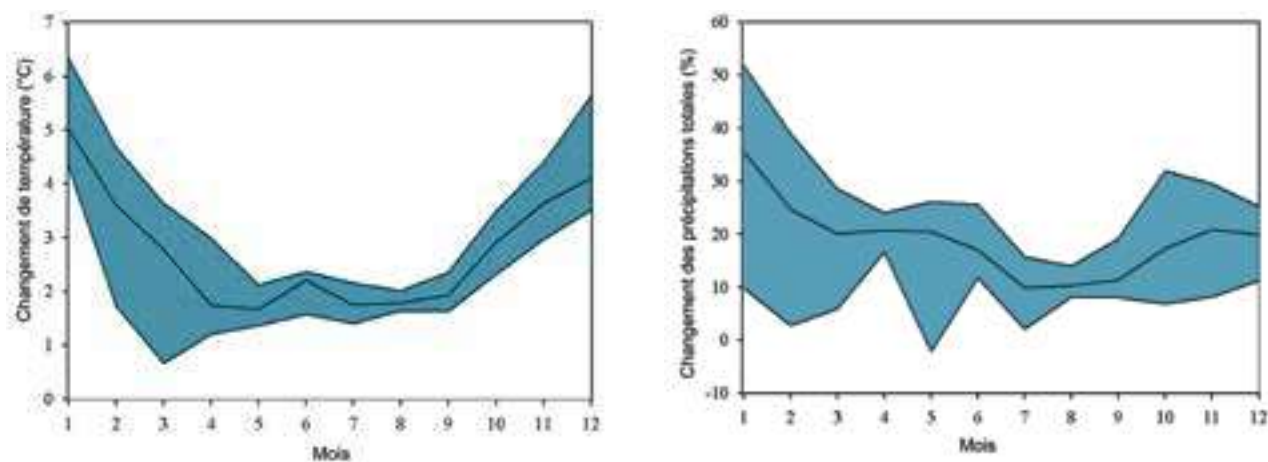


Figure 16. Caractère saisonnier des changements projetés dans la température moyenne mensuelle (à gauche) et les précipitations totales (à droite) à partir de six simulations du MRCC pour la période de 2050, dont on a fait la moyenne pour toutes les mailles de la région à l'étude. Les lignes externes représentent l'écart type entre les six simulations.

Les interactions de la glace des lacs et des côtes avec le climat ne sont pas comprises dans la version actuelle du MRCC, mais les résultats de récentes études de modélisation de la glace de lac et de mer (Dibike *et al.*, 2011a,b; Dumas *et al.*, 2006; Joly *et al.*, 2010) ont été examinés et sont abordés dans l'annexe A.

L'amplitude et le caractère saisonnier des changements projetés de la température de l'air et des précipitations totales, dont on a fait la moyenne pour toute la région à l'étude, sont indiqués à la figure 16. La répartition spatiale des changements projetés de la température de l'air et des précipitations annuelles est présentée à la figure 17. Ces deux figures englobent la plupart des éléments clés observés pour les divers indicateurs climatiques présentés à l'annexe A. En voici les deux principaux points : 1) les changements les plus marqués devraient se produire en hiver avec un réchauffement moyen de 5 °C et une augmentation des précipitations de l'ordre de 35 % au mois de janvier; 2) la répartition spatiale des changements projetés se ferait habituellement dans la région selon un axe N.-O.-S.-E., les changements les plus marqués se produisant dans la partie nord-ouest du Nunavik (quoique cette répartition peut être inverse selon la variable choisie). Le tableau 8 présente un résumé de l'ampleur des changements

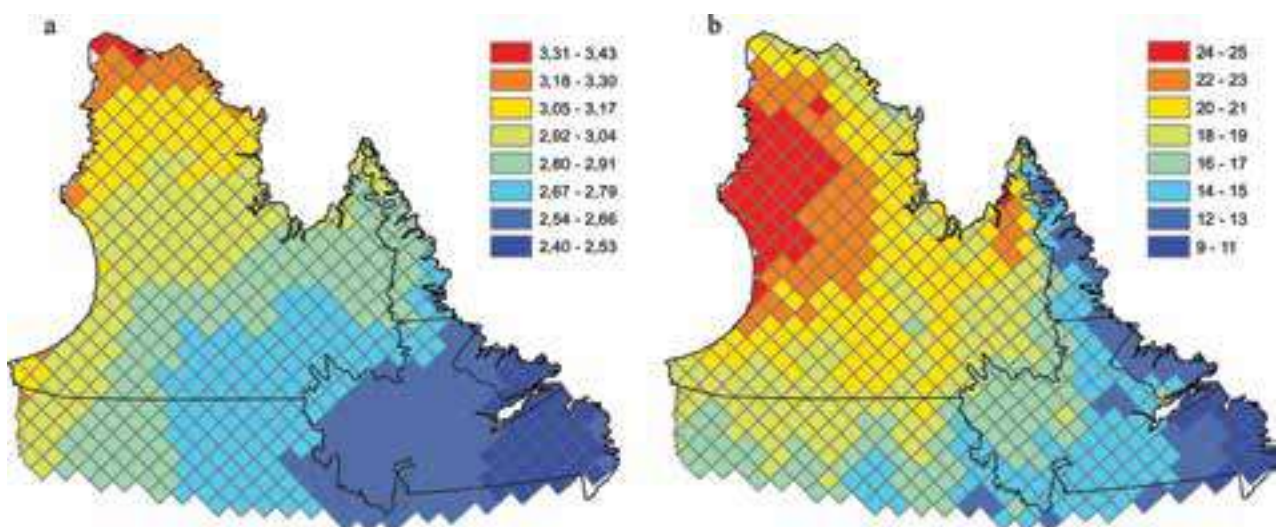
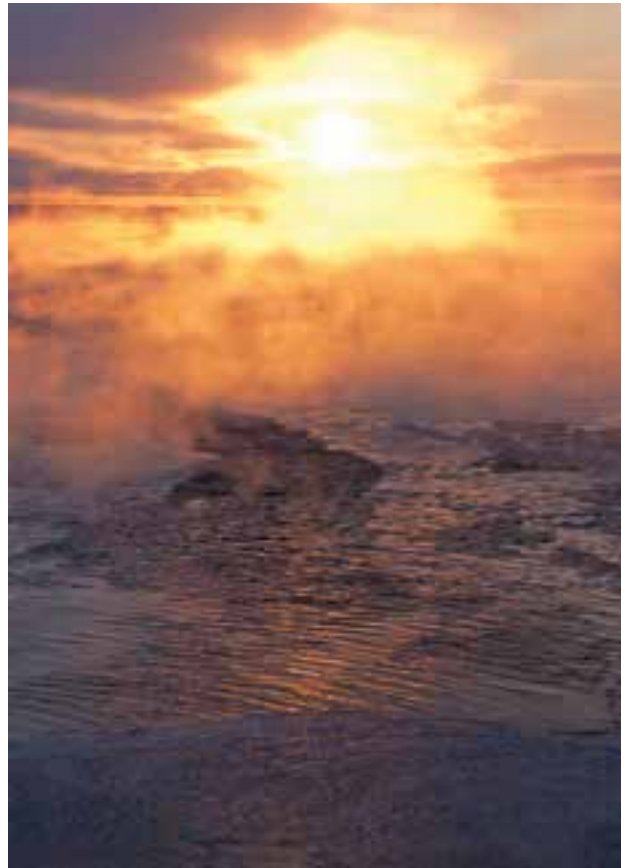


Figure 17. Changements projetés de a) la température annuelle moyenne (°C) et b) des précipitations annuelles moyennes (%) pour la période de 2050, d'après six simulations du MRCC.

Tableau 8. Sommaire des changements projetés dans les variables climatiques au Nunavik et Nunatsiavut correspondant à l'an 2050. Des cartes illustrant la répartition spatiale des changements projetés sont présentées à l'annexe A. À moins d'avis contraire, les résultats sont tirés des simulations du MRCC fournies par Ouranos. Suite à la page suivante.

VARIABLES CLIMATIQUES	NUNAVIK		NUNATSIAVUT	
	CHANGEMENTS PROJETÉS	REMARQUES	CHANGEMENTS PROJETÉS	REMARQUES
Température de l'air en hiver	+3,0 à +5,0 °C	Axe N.O.-S.E. avec réchauffement le plus marqué dans le nord-ouest de l'Ungava	+3,0 à +5,0 °C	Axe N.-S. avec réchauffement le plus marqué dans la région de Cape Chidley
Température de l'air en été	+1,5 à +2,0 °C	Réchauffement assez marqué au nord et au sud; réchauffement le moins marqué le long du littoral de la baie d'Hudson	+1,5 à +2,0 °C	Réchauffement le plus marqué dans les monts Torngat et le moins marqué sur le littoral sud
Début de l'été	De 6 à 11 jours plus tôt	Changements les plus marqués au nord-est de l'Ungava; changements les moins marqués dans le sud-ouest près de la baie James	De 6 à 11 jours plus tôt	Changements les plus marqués dans les monts Torngat et les régions côtières; changements les moins marqués dans la région du lac Melville
Fin de l'été	De 8 à 19 jours plus tard	Changements les plus marqués dans le sud-ouest près de la baie James et sur le littoral de la baie d'Hudson; changements les moins marqués dans la péninsule de l'Ungava	De 9 à 12 jours plus tard	Changements les plus marqués dans le sud de la région
Degrés jours de fonte	Augmentation de 30 à 65 %	Changements relatifs les plus marqués dans le nord-est de l'Ungava; changements les moins marqués dans le sud-ouest près de la baie James	Augmentation de 30 à 65 %	Changements relatifs les plus marqués dans les monts Torngat et les régions côtières; changements les moins marqués dans le secteur du lac Melville
Degrés jours de croissance	Augmentation de 50 à 150 %	Changements relatifs les plus marqués dans le nord-est de l'Ungava; changements les moins marqués dans le sud-ouest près de la baie James	Augmentation de 50 à 130 %	Changements relatifs les plus marqués dans les monts Torngat; changements les moins marqués dans le secteur du lac Melville
Précipitations annuelles totales (pluie + neige)	Augmentation de 12 à 25 %	Changements relatifs les plus marqués dans l'ouest de la péninsule de l'Ungava et le littoral de la baie d'Hudson; changements les moins marqués aux limites sud de la région	Augmentation de 10 à 15 %	Peu de variation spatiale dans la région, mais des valeurs légèrement plus élevées à l'intérieur des terres. Augmentations relatives les plus faibles sur le littoral sud-est
Précipitations annuelles solides (neige)	Augmentation de 1 à 24 %	Augmentations relatives les plus marquées dans le nord de la péninsule d'Ungava; augmentations les plus faibles dans le sud-est	5% de diminution à 10 % d'augmentation	Diminutions dans le sud-est et augmentations dans la région des monts Torngat
Événements hivernaux de dégel (non indiqués)	Peu de changement	Pas de répartition particulière	Peu de changement	Pas de répartition particulière
Cycles gel-dégel (non indiqués)	Peu de changement	Pas de répartition particulière	Peu de changement	Pas de répartition particulière

VARIABLES CLIMATIQUES	NUNAVIK		NUNATSIAVUT	
	CHANGEMENTS PROJETÉS	REMARQUES	CHANGEMENTS PROJETÉS	REMARQUES
Début de la saison de neige	De 5 à 14 jours plus tard	Changements les plus marqués dans la région côtière au nord de la baie James; changements les moins marqués dans la péninsule d'Ungava	De 10 à 15 jours plus tard	Changements les plus marqués dans la région côtière au sud-est
Fin de la saison de neige	De 3 à 11 jours plus tôt	Augmentations les plus marquées dans la région nord de la péninsule d'Ungava; augmentations les moins marquées dans la région sud-ouest de la baie James	De 6 à 11 jours plus tôt	Changements les plus marqués dans la région des monts Torngat et la région côtière au sud-est
Épaisseur moyenne de neige	De -7 à +7 %	Principalement des diminutions, avec un secteur d'augmentation dans le nord de la péninsule d'Ungava; diminutions les plus marquées dans les régions sud et est	-10 à -20 %	Diminutions les plus marquées dans la région côtière au sud-est
Épaisseur maximale de neige	De 0 à +15 %	Même chose que pour l'épaisseur moyenne de neige	0 à -10 %	Même chose que pour l'épaisseur moyenne de neige
Jours de pluie sur neige (PSN)	Augmentation de 1 à 2 jours de PSN par an	Augmentation confinée au sud du Nunavik	Augmentation de 1 à 2 jours de PSN par an	Augmentation confinée au sud du Nunatsiavut
Prise de la glace de lac (Dibike <i>et al.</i> 2011a)	De 8 à 14 jours plus tard	Changements les plus marqués le long du littoral de la baie d'Hudson	De 8 à 10 jours plus tard	Peu de variabilité spatiale dans la région
Débâcle de la glace de lac (Dibike <i>et al.</i> 2011a)	De 14 à 18 jours plus tôt	Changements les plus marqués le long du littoral ouest de la péninsule d'Ungava	De 12 à 20 jours plus tôt	Changements les plus marqués dans le nord de la région
Épaisseur maximale de glace (Dibike <i>et al.</i> 2011a)	Diminution de 20 à 30 cm d'épaisseur de glace	Changements les plus marqués le long du littoral ouest de la péninsule d'Ungava	Diminution de 20 à 30 cm d'épaisseur de glace	Changements les plus marqués dans le nord de la région
Englacement de la glace de mer (Joly <i>et al.</i> , 2010)	De 25 à 30 jours plus tard dans la baie d'Hudson, la baie James et le bassin Foxe	Selon les résultats présentés dans Joly <i>et al.</i> (2010), régions les plus fortement touchées : baie d'Ungava et baie James	Non disponible	
Débâcle de la glace de mer (Joly <i>et al.</i> 2010)	De 22 à 24 jours pour le bassin Foxe et la baie d'Hudson et 39 jours plus tôt pour la baie James	Selon les résultats présentés dans Joly <i>et al.</i> (2010), régions les plus fortement touchées : baie d'Ungava et baie James	Non disponible	
Épaisseur de la glace de mer (Joly <i>et al.</i> 2010)	Réductions de l'épaisseur de la glace hivernale de 30 à 50 % dans les zones côtières	Selon les résultats présentés dans Joly <i>et al.</i> (2010), régions les plus fortement touchées : baie d'Ungava et baie James	Non disponible	

pour chacune des 14 variables et de leur répartition régionale au Nunavik et au Nunatsiavut. Les résultats suggèrent qu'en 2050, le climat sera profondément différent dans la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut : la saison de couverture de neige et de glace sera raccourcie d'environ 3 à 4 semaines, la saison de croissance sera plus longue de 2 à 3 semaines avec jusqu'à 50 % plus de degrés-jours de croissance et il y aura des hausses des précipitations de l'ordre de 15 à 25 % avec une plus grande proportion des précipitations annuelles tombant sous forme de pluie. Les scénarios de modélisation de la glace de mer présentés par Joly *et al.* (2010) pour la région de la baie d'Hudson montrent des réductions importantes de la quantité de glace hivernale hâtive dans toutes les régions côtières du Nunavik, avec les plus diminutions relatives d'épaisseur de glace les plus marquées dans la partie est de la baie d'Hudson, au nord de la baie James (à proximité du village de Whapmagoostui) ainsi que dans la baie d'Ungava, près de Kuujuaq (figure 18).

Il importe de souligner que le pouvoir de résolution de 45 km du MCR utilisé pour générer les résultats décrits à l'annexe A est encore trop faible pour saisir la variabilité

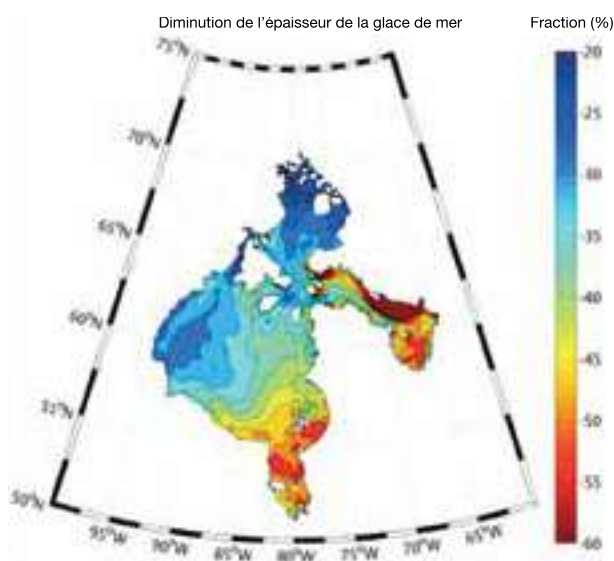


Figure 18. Changement relatif (%) dans l'épaisseur de la glace de mer (moyenne hivernale) (JFMA) pour 2050 d'après le changement de températures à échelle réduite du MCG3 selon le scénario d'émission SRES A2. Source : Joly *et al.* (2010).

topographique d'échelle plus locale. Brown et Mote (2009) ont montré que la réaction de la couverture de neige aux changements des températures et des précipitations dépend fortement du régime climatique et de l'altitude, avec les réactions les plus marquées dans les régions montagneuses maritimes. Ce point a aussi été soulevé au chapitre 8 où l'on a souligné qu'au Labrador, pendant l'hiver relativement doux de 2009-2010 (caractérisé par des conditions OAN fortement négatives), il y a davantage de chutes de neige à plus de 600 m, et qu'à des élévations moindres ce sont la pluie et les événements de dégel qui sont plus fréquents. Diverses approches permettent de réduire l'échelle des données du MRCC pour répondre aux besoins des décideurs locaux (Mearns *et al.*, 2003). Des sorties du MRCC à une résolution supérieure (15 km) seront disponibles dans quelques années.

2.5 Sommaire et conclusions

Les données paléoclimatiques et historiques et les renseignements indirects disponibles pour la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut suggèrent que le climat de la région a connu une période de refroidissement graduelle au cours des 3 000 dernières années, mis à part une courte période de réchauffement lors de la période chaude médiévale (petit optimum climatique) (années 950-1250) et des températures nettement plus froides pendant le Petit Âge glaciaire (1400-1900). Diverses sources de données montrent que la seconde moitié du XX^e siècle a été plus chaude, mais il existe de l'incertitude à savoir quand la récente période de réchauffement a commencé, à cause de l'importante variabilité interannuelle du climat dans la région. Les relevés instrumentaux de la température montrent une période de réchauffement rapide commençant au début des années 1990, mais certains éléments probants d'un certain nombre d'autres sources (p. ex., les tendances relatives à la couverture neigeuse, les enregistrements dans les cernes de croissance des arbres, les changements dans la végétation) suggèrent que le climat a commencé à se réchauffer depuis les 40 à 50 dernières années. Cela

peut être clairement observé dans les reconstitutions des températures maximales estivales issues des cernes d'arbres qui remontent jusqu'à 1800 (figure 19), alors que les températures maximales sont relativement stables de la fin des années 1800 jusqu'en 1950-1975, soit au début de la tendance au réchauffement. Les différences entre les diverses sources de données sont probablement liées à un certain nombre de facteurs, y compris à des réactions différentes au réchauffement climatique selon la région (p. ex., les données mesurées des températures historiques pour la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut proviennent de sites côtiers qui sont fortement influencés par les températures de l'océan), et différents processus (p. ex. la température du sol réagit aux changements de la végétation et de la couverture de neige, et aussi aux températures moyennes annuelles de l'air).

Même s'il existe de l'incertitude quant au moment où a commencé la récente période de réchauffement dans la région IRIS du Nunavik-Nunatsiavut, on ne peut nier la rapidité à laquelle sont survenus ces changements au cours des dernières décennies. Les températures de l'air se sont réchauffées de plus de 2 °C depuis 1993; la durée de la couverture neigeuse a diminué de 3-4 semaines dans le nord du Nunavik et du Nunatsiavut depuis que l'on a commencé à enregistrer régulièrement

des observations par satellite au début des années 1970; la glace sur la rivière Koksoak à Kuujuaq dans les années 1990 (lorsque les observations ont cessé) fondait en moyenne trois semaines plus tôt que dans les années 1950; le réchauffement du pergélisol a donné lieu à une augmentation impressionnante du nombre de lacs thermokarstiques et de décrochements de la couche active (chapitre 6); les glaciers dans les monts Torngat ont perdu environ 20 % de leur superficie entre 2005 et 2007 (Section 2.3.5); et les augmentations marquées dans l'abondance d'arbres et d'arbustes ont été documentées dans bon nombre d'endroits (chapitre 8). La nature inhabituelle de ces changements est clairement visible dans les registres de paléotempératures (p. ex., figure 15) et est aussi confirmée par le savoir traditionnel (Tremblay *et al.*, 2006a,b).

Les modèles climatiques projettent des changements futurs qui sont, pour la plupart, la continuation des tendances actuelles avec les augmentations les plus marquées concernant la température de l'air et les précipitations prévues sur le nord de la péninsule d'Ungava. Les changements projetés sont généralement de même ampleur et de manifestation similaire au Nunavik et au Nunatsiavut, à l'exception des chutes de neige que devraient augmenter dans la péninsule d'Ungava

Températures estivales maximales (de juin à août)

(modèles de régression multiple, ANN/évaluation des erreurs Bootstrap auto-amorçage
Comparaison avec des registres climatiques indépendants)

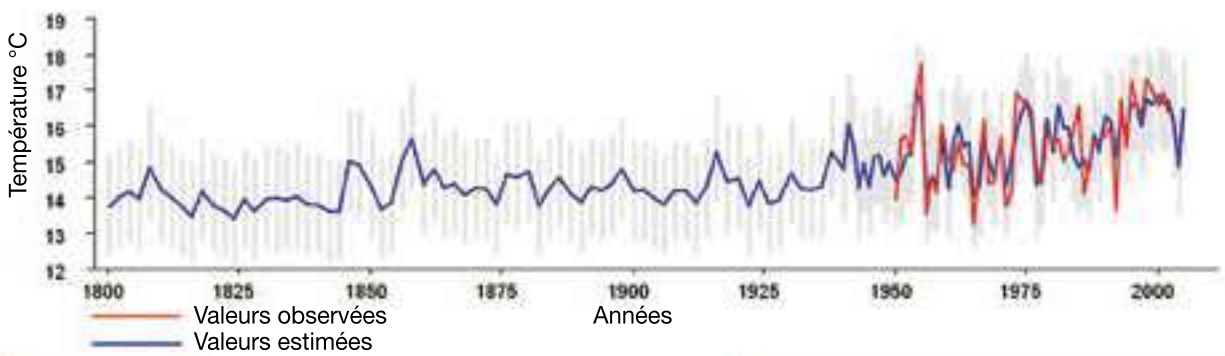


Figure 19. Températures maximales de l'air en été reconstituées selon les cernes de croissance des arbres dans les bassins des rivières Caniapiscou, Ashanipi et du fleuve Churchill. Source : Yves Bégin, projet ARCHIVES, INRS-ETE et Centre d'études nordiques.

et diminuer sur la majeure partie du Nunatsiavut. Le climat futur pourrait aussi inclure des changements dans la fréquence et la gravité des événements climatiques extrêmes, comme des vagues de chaleur et de fortes pluies (Meehl *et al.*, 2007b). Il y a déjà des preuves de l'augmentation des précipitations en région arctique, de même que des preuves de l'augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes, les deux étant attribuables aux influences de l'homme sur le système climatique (Min *et al.*, 2008, 2011). Les scénarios des changements dans le cas d'événements extrêmes n'ont pas été présentés dans ce chapitre, car ils doivent être élaborés en fonction des besoins et emplacements particuliers des utilisateurs, en se servant des méthodes appropriées de réduction d'échelle pour les variables prises en compte (p. ex., Kallache *et al.*, 2011). Enfin, il importe de réitérer que la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut est caractérisée par des sources importantes de variabilité climatique qui influencent le climat régional à des échelles temporelles décennales et multidécennales. Pour certaines de ces variables, comme les précipitations locales, la variabilité propre au climat dominera vraisemblablement toute manifestation de changement climatique au cours de la prochaine période de 30-50 ans.

2.6 Remerciements

Les données du MCG utilisées pour le MRCM ont été obtenues de la série de données multimodèles de la phase 3 du projet d'intercomparaison des modèles couplés (CMIP3) du Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC) (Meehl *et al.*, 2007a). Nous souhaitons remercier les groupes de modélisation, le Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI) et le groupe de travail sur la modélisation couplée du PMRC pour avoir contribué à rendre disponible la série de données multimodèles CMIP3 du PMRC. L'aide pour cette série de données est fournie par l'Office of Science, du département américain de l'Énergie. Les données du MCG ont été générées et fournies par l'équipe de simulation climatique d'Ouranos.

2.7 Références

- Allard, M., et Kasper, J. N. 1998. Temperature conditions for ice-wedge cracking: results from field measurements from Salluit, Northern Québec. In Lewkowicz A. G., et Allard, M. (Eds), *Permafrost, Proceedings of the 7th International Conference*. Yellowknife, Northwest Territories, Centre d'études nordiques, Université Laval, 5-11.
- Allard, M., Wang, B. L., et Pilon, J. A. 1995. Recent Cooling Along the Southern Shore of Hudson Strait, Québec, Canada, Documented from Permafrost Temperature-Measurements. *Arctic and Alpine Research*, 27:157-166.
- ArcticNet, 2010: Impacts of Environmental Change in the Canadian Coastal Arctic: A Compendium of Research Conducted during ArcticNet Phase I (2004-2008). Vincent, W. F., Lemay, M., et Barnard, C. (Eds), ArcticNet Inc., Québec City, Canada, 330 pp.
- Barrand, N. E., Bell, T., et Sharp, M. J. 2010. Recent glacier change in the Torngat Mountains, northern Labrador, Canada. WDCAG 2010: A Spatial Odyssey, Western Division of the Canadian Association of Geographers annual meeting, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 26-27 March.
- Bégin, Y., et Payette, S. 1988. Dendroecological evidence of lake-level changes during the last three centuries in subarctic Québec. *Quaternary Research*, 30:210-220.
- Bégin, Y. 2000. Reconstruction of subarctic lake levels over past centuries using tree rings. *Journal of Cold Regions Engineering*, 14:192-212.
- Beltaos, S. 2007. The role of waves in ice-jam flooding of the Peace-Athabasca Delta. *Hydrological Processes*, 21:2548-2559.
- Beltaos, S., et Prowse, T. D. 2001. Climate impacts on extreme ice-jam events in Canadian rivers. *Hydrological Sciences*, 46:157-181.
- Beltaos, S., et Prowse, T. D. 2009. River-ice hydrology in a shrinking cryosphere. *Hydrological Processes*, 23:122-144. DOI: 10.1002/hyp.7165.



Bleau, S., 2011. Étude du comportement des glaces dans un environnement subarctique en régime macrotidal, l'estuaire de la rivière Koksoak, Nunavik, Québec. M.Sc Thesis, Institut National de la Recherche Scientifique (INRS), 125 pp.

Bonsal, B. R., Prowse, T. D., Duguay, C. R., et Lacroix, M. P. 2006. Impacts of large-scale teleconnections on freshwater-ice break/freeze-up dates over Canada. *Journal of Hydrology*, 330, 340-353.

Brohan, P., Kennedy, J. J., Harris, I., Tett, S. F. B., et Jones, P. D. 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research*, 111:D12106, DOI: 10.1029/2005JD006548.

Brown, L. C., et Duguay, C. R. 2010. The response and role of ice cover in lake-climate interactions. *Progress in Physical Geography*. p. 1-34:DOI: 10.1177/0309133310375653.

Brown, R. D., Roebber, P., et Walsh, K. 1986: Climatology of severe storms affecting coastal areas of eastern Canada. *Environmental Studies Revolving Funds Report no. 20*, Ottawa, 230 pp. <http://www.esrfunds.org/pdf/20.pdf>

Brown R. D., Brasnett, B., et Robinson, D. 2003. Gridded North American monthly snow depth and snow water equivalent for GCM evaluation. *Atmosphere-Ocean*, 41:1-14.

Brown, R. D., et Tapsoba, D. 2007. Improved mapping of Snow Water Equivalent over Québec. *Proceedings 64th Eastern Snow Conference*, St. John's, Newfoundland, 29 May-1 June, 2007, p. 3-7.

Brown, R. D., et Mote, P. 2009. The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. *Journal of Climate*, 22:2124-2145.

Brown, R. D. 2010. Analysis of snow cover variability and change in Quebec, 1948-2005. *Hydrological Processes* 24:1929-1954.

Caya, D., Laprise, R., Giguère, M., Bergeron, G., Blanchet, J. -P., Stocks, B. J., Boer, G. J., et McFarlane, N. A. 1995, Description of the Canadian Regional Climate Model. *Water, Air and Soil Pollution*, 82:477-482.

Caya, D., et Laprise, R. 1999. A semi-implicit semi-Lagrangian regional climate model: The Canadian RCM. *Monthly Weather Review*, 127:341-362.

- Chouinard, C., Fortier, R., et Mareschal, J. C. 2007. Recent climate variations in the subarctic inferred from three borehole temperature profiles in northern Québec, Canada. *Earth and Planetary Science Letters*, 263:355-369.
- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R. K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr A., et Whetton, P. 2007. Regional Climate Projections. In Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor M., et Miller H. L. (Eds), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Chylek, P., Folland, C. K., Lesins, G., Dubey, M. K., et Wang, M. 2009. Arctic air temperature change amplification and the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 36, L14801, DOI:10.1029/2009GL038777, 2009.
- Clerc, C., Gagnon, M., Breton-Honeyman, K., Tremblay, M., Bleau, S., Gauthier, Y., Aloupa, S., Kasudluak, A., Furgal, C., Bernier, M., et Barrett, M. 2011. Climate change and marine infrastructures in Nunavik – Local Expert Knowledge and Community Perspective in Quaqtaq, Umiujaq and Kuujuaq. Final report for Indian and Northern Affairs Canada, INRS Research report no R-1273a, 123 pp.
- Dahl-Jensen, D., Mosegaard, K., Gundestrup, N., Clow, G. D., Johnsen, S. J., Hansen, A. W., et Balling, N. 1998. Past temperatures directly from the Greenland Ice Sheet. *Science*, 282: 268-271.
- de Elia, R., et Côté, H. 2010. Climate and climate change sensitivity to model configuration in the Canadian RCM over North America. *Meteorologische Zeitschrift*, 4:325-339.
- Derksen, C., Walker, A., et Toose, P. 2008: Estimating snow water equivalent in Northern Regions from satellite passive microwave data. In Woo M. -K. (Ed), *Cold Region Atmospheric and Hydrologic Studies, The Mackenzie GEWEX Experience, Vol. 1: Atmospheric Dynamics*, p. 195-212.
- Dibike, Y., Prowse, T., Bonsal, B., de Rhama L., et Saloranta, T. 2011a. Simulation of North American lake-ice cover characteristics under contemporary and future climate conditions. *International Journal of Climatology*, DOI:10.1002/joc.2300.
- Dibike, Y., Prowse, T., Saloranta T., et Ahmed, R. 2011b. Response of Northern Hemisphere lake-ice cover and lake-water thermal structure patterns to a changing climate. *Hydrological Processes*, 25, 2492-2953, DOI: 10.1002/hyp.8068
- Doesken, N. J., et Judson, A. 1997. *The SNOW Booklet: A Guide to the Science, Climatology and Measurement of Snow in the United States*. Colorado State University, 86 pp.
- Dorsaz, F. 2008. Évaluation des simulations du couvert nival sur le Québec par les modèles MRCC 4.2.3 et GEMCLIM 3.3.0. Rapport de stage, Décembre 2008, Ouranos, 41 pp.
- Drouin, H., Gauthier Y., Bernier, M., Jasek, M., Penner, O., et Weber, F. 2007. Quantitative validation of RADARSAT-1 river ice maps. *Proceedings of the 14th Workshop of the Committee on River Ice Processes and the Environment, (CRIPE), Québec*, 18 pp.
- Duguay C. R., Prowse, T. D., Bonsal, B. R., Brown, R. D., Lacroix, M. P., et Ménard, P. 2006. Recent trends in Canadian lake ice cover. *Hydrological Processes*, 20:781-801.
- Dumas, J. A., Flato, G. M., et Brown, R. D. 2006. Future projections of landfast ice thickness and duration in the Canadian Arctic. *Journal of Climate*, 19:5175-5189.
- Fahn, C. 1975. Glaciers of northern Labrador. In Field, W. O. (Ed.), *Mountain glaciers of the northern hemisphere Volume II*. Hanover, NH, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, p. 673-682.
- Fallu, M. -A., Pienitz, R., Walker, I. R., et Lavoie, M. 2005. Paleolimnology of a shrub-tundra lake and

- response of aquatic and terrestrial indicators to climatic change in arctic Québec, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 215:183-203.
- Flato, G. M., et Boer, G. J. 2001. Warming Asymmetry in Climate Change Simulations. *Geophysical Research Letters*, 28:195-198.
- Forbes, A. 1938. Northernmost Labrador Mapped From the Air. *American Geographical Society Special Publication*, no 22, 255 pp.
- Frigon, A., Slivitzky, M., et Music, B. 2008. Comparaison du couvert de neige du Modèle régional canadien du climat (MRCC) avec des données sur grille à l'échelle des 21 bassins versants du Québec/Labrador. *Ouranos Climate Simulation Team Internal Report 9*, March 2008, 22 pp.
- Furgal, C., Martin, D., Gosselin, P., Viau, A., Nunavik Regional Board of Health et Social Service/Nunavik et Health Committee, Labrador Inuit Association et Labrador Inuit Health Commission. 2002. Climate change and health in Nunavik and Labrador. What we know from science and Inuit knowledge. *Public Health Research Unit, CHUL Research, CHUQ, Québec*.
- Furgal, C., et Prowse, T. D. 2008. Northern Canada; in *From Impacts to Adaptations; Canada in a Changing Climate 2007*. Lemmen, D. S., Warren, F. J., Lacroix, J., and Bush, E. (Eds), *Gouvernement of Canada, Ottawa, Ontario*, p. 57-118.
- Furgal, C. M., et Tremblay, M. 2010. Climate changes in Nunavik: Access to territory and resources. In Vincent, W. F., Lemay, M., et Barnard, C. (Eds), *ArcticNet 2010, Impacts of Environmental Change in the Canadian Coastal Arctic: A Compendium of Research Conducted during ArcticNet Phase I (2004-2008)*. ArcticNet Inc., Québec City, Canada, 330 pp.
- Gauthier, Y., Weber, F., Savary, S., Jasek, M., Paquet, L. M., et Bernier, M., 2006. A Combined Classification Scheme to Characterise River Ice from SAR Data. *EARSel eProceedings*, 5:77-88.
- Gauthier, Y., Tremblay, M., Bernier, M., et C. Furgal, 2010: Adaptation of a radar-based river ice mapping technology to the Nunavik context. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 36, Suppl. 1, pp. S168–S185.
- Gherboudj, I., Bernier, M., Hicks, F., et Leconte, R. 2007. Physical characterisation of air inclusion in river ice. *Cold Region Science and Technology*, 49:179-194.
- Goodison, B. E., Louie, P. Y. T., et Yang, D. 1998. WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison, WMO Instruments and Observing Methods Report No. 67, WMO/TD No. 872.
- Hachem, S., Allard, M., et Duguay, C. R. 2009. Use of the MODIS land surface temperature product for permafrost mapping: an application in northern Québec and Labrador. *Permafrost and Periglacial Processes*, 20:407-416.
- Hench, W. E., et Stanley, A. 1968. Glacier map of southern Baffin Island (District of Franklin) and Northern Labrador Peninsula. I.W.B. 1006, 1:1,000,000 scale. *Glaciology Section, Inland Waters Branch, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Ontario*.
- Hicks, F. 2009. An overview of river ice problems: CRIPE07 guest editorial. *Cold Regions Science and technology*, 55:175-185.
- Hock, R. 2003. Temperature index melt modeling in mountain areas. *Journal of Hydrology*, 282:104-115.
- Huntington, H. 2008: A strategy for facilitating and promoting community-based monitoring approaches in Arctic Biodiversity Monitoring. *CAFF CBMP Report, No. 13, CAFF International Secretariat, Akureyri, Iceland*. <http://www.arcticobserving.org/images/stories/CBMP-Report-No.13.pdf>
- Ives, J. D. 1957. Glaciation of the Torngat Mountains, northern Labrador. *Arctic*, 10:66-87.
- Jacoby, G. C., Ivanciu, I. S. et Ulan, L. D. 1988. A 263-year record of summer temperature for northern Quebec reconstructed from tree-ring data and evidence of a major climatic shift in the early 1800s. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 64:69-78.
- Joly, S., Senneville, S., Caya, D., et Saucier, F. J. 2010. Sensitivity of Hudson Bay Sea ice and ocean climate to

- atmospheric temperature forcing. *Climate Dynamics*, 36, 1835-1849, DOI: 10.1007/s00382-009-0731-4.
- Jungclaus, J. H., Botzet, M., Haak, H., Keenlyside, N., Luo, J. -J., Latif, M., Marotzke, J., Mikolajewicz, U., et Roeckner, E. 2006. Ocean circulation and tropical variability in the AOGCM ECHAM5/MPI-OM. *Journal of Climate*, 19:3952-3972.
- Kallache, M., Vrac, M., Naveau, P., et Michelangeli P. -A. 2011. Nonstationary probabilistic downscaling of extreme precipitation, *Journal of Geophysical Research*, 116, D05113, DOI:10.1029/2010JD014892.
- Kasper, J. N., et Allard, M. 2001. Late-Holocene climatic changes as detected by the growth and decay of ice wedges on the southern shore of Hudson Strait, northern Québec, Canada. *The Holocene*, 11:563-577.
- Kerwin, M. W., Overpeck, J. T., Webb, R. S., et Anderson, K. H. 2004. Pollen-based summer temperature reconstructions for the eastern Canadian boreal forest, subarctic, and Arctic. *Quaternary Science Reviews*, 23:1901-1924.
- King, J. R., Barrand, N. E., Bell, T., et Sharp, M. J. 2009. Measuring and modeling glacier change in the Torngat Mountains, northern Labrador. *Annual Science Meeting, ArcticNet NCE*, Victoria, 08-11 December.
- Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., van den Dool, H., Jenne, R., et Fiorino, M. 2001. The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82:247-268.
- Lafortune, V., Drouin, J., Furgal, C., Annanack, T., Etidloie, B., Einish, N., Tookalook, P., Qiisiq, M., et Tremblay, M., et the communities of Climate Change in Nunavik: Access to the Territory and its Resources. *Climate Change Impacts and Adaptation Program, Natural Resources Canada Final Report*, December 2006. 49
- Latifovic, R., et Pouliot, D. 2007. Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using historical satellite data record. *Remote Sensing Environment*, 106:492-507.
- Lavoie, C., et Payette, S. 1992. Black spruce growth as a record of a changing winter environment at treeline, Québec, Canada. *Arctic and Alpine Research*, 25:40-49.
- Leathers, D. J., Yarnal, B., et Palecki, M. A. 1991. The Pacific/North American teleconnection pattern and United States Climate. Part I: regional temperature and precipitation associations. *Journal of Climate*, 4:517-528.
- Leblanc, P., et Bell, T. 2008. A composite glacier inventory of the Torngat Mountains, northern Labrador, from published sources. Unpublished report, Memorial University of Newfoundland, St. John's, NL.
- Lemay, M., et Bégin, Y. 2008. Hydroclimatic analysis of an ice-scar tree-ring chronology of a high-boreal lake in Northern Québec, Canada. *Hydrology Research*, 39:451-464.
- Lemmetyinen, J., Derksen, C., Pulliainen, J., Strapp, W., Toose, P., Walker, A., Tauriainen, S., Pihlflyckt, J., Kärnä, J. -P., et Hallikainen, M. 2009. A comparison of airborne microwave brightness temperatures and snowpack properties across the boreal forests of Finland and western Canada. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 47:965-978.
- Lenormand F., Duguay C. R., et Gauthier, R. 2002. Development of a historical ice database for the study of climate change in Canada. *Hydrological Processes*, 16:3707-3722.
- L'Héroult, E. 2009. Contexte climatique critique favorable au déclenchement de ruptures de mollisol dans la vallée de Salluit, Nunavik. M.Sc. Thesis, Université Laval, Québec City, Québec, 140 pp.
- Liston, G. E., et Sturm, M. 1998. A snow-transport model for complex terrain. *Journal of Glaciology*, 44:498-516.
- Mantua, N. J., Hare, S. R., Zhang, Y., Wallace, J. M., et Francis, R. C. 1997. A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78:1069-1079.
- Marchildon, C. 2007. Évolution spatio-temporelle des palses et des lithalses de la région des rivières Sheldrake et Nastapoka, côte est de la Baie d'Hudson, Nunavik.

- M.Sc Thesis, Université Laval, Québec City, Québec, 101 pp.
- Marko, J. R., et Jasek, M. 2010. Sonar detection and measurement of ice in a freezing river II: Observations and results on frazil ice. *Cold Regions Science and Technology*, 63:135-153.
- Mearns, L. O., Giorgi, F., Whetton, P., Pabon, D., Hulme, M., et Lal, M. 2003: Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments. Web document. http://www.clivar.org/organization/wgcm/regional/IPCC_TGICA_guidelines_RCMscenarios_2003.pdf
- Meehl G. A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J. F. B., Stouffer, R. J., et Taylor, K. E. 2007a. The WCRP CMIP3 Multimodel Dataset: A New Era in Climate Change Research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88:1383-1394, DOI:10.1175/BAMS-88-9-1383.
- Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, A. T., Gregory, J. M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J. M., Noda, A., Raper, S. C. B., Watterson, I. G., Weaver A. J., et Zhao, Z. -C. 2007b. Global Climate Projections. In Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor M., et Miller H. L. (Eds), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Mekis, E., et Hogg, W. D., 1999. Rehabilitation and analysis of Canadian daily precipitation time series. *Atmosphere-Ocean*, 37:53-85.
- Mekis, E. et Brown, R. D. 2010. Derivation of an adjustment factor map for the estimation of the water equivalent of snowfall from ruler measurements in Canada. *Atmosphere-Ocean*, 48:284-293, DOI:10.3137/AO1104.2010.
- Mercer, J. H., 1958. The glaciers of northern Labrador. In Irmgard, F., Field, W. O., McCarley, C., van Summern, J., et Morrison, C. C. (Eds), *Geographic study of mountain glaciation in the Northern Hemisphere*. New York: American Geographical Society, 2b.3.1-2b.3.4.
- Mesinger, F., DiMego, G., Kalnay, E., Mitchell, K., Shafran, P. C., Ebisuzaki, W., Jovic, D., Wollen, J., Rogers, E., Berbery, E. H., Ek, M. B., Fan, Y., Grumbine, R., Higgins, W., Ki, H., Lin, Y., Mankin, G., Parrish, D., et Shi, W. 2006. North American Regional Reanalysis. *Bulletin of American Meteorology Society*, 87:343-360.
- Min, S. -K., Zhang, X., et Zwiers, F. 2008. Human-induced Arctic moistening. *Science*, 320:518-520.
- Min, S. -K., Zhang, X., Zwiers F. W., et Hegerl, G. C. 2011. Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature*, 470:378-381, DOI:10.1038/nature09763.
- Morse, B., et Hicks, F. 2005. Advances in river ice hydrology. *Hydrological Processes*, 19:247-263.
- Music, B., et Caya, D. 2007. Evaluation of the Hydrological Cycle over the Mississippi River Basin as Simulated by the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *Journal of Hydrometeorology*, 8:969-988.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T. Y., Kram, T., Lebre La Rovere, E., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H. H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., et Dadi, Z. 2000. Special report on emissions scenarios, Intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, 612 pp.
- Odell, N. E. 1933. The Mountains of Northern Labrador. *The Geographical Journal*, 82:193-210.
- Payette, S., Delwaide, A., Caccianiga, M., et Beauchemin, M. 2004. Accelerated thawing of subarctic peatland permafrost over the last 50 years. *Geophysical Research Letters*, 31:L18208.
- Pomeroy, J. W., et Gray, D. M. 1995. Snow Accumulation, Relocation and Management. National Hydrology Research Institute Science Report No. 7. Environment Canada: Saskatoon, 144 pp.

- Plummer, D. A., Caya, D., Frigon, A., Cote, H., Giguere, M., Paquin, D., Biner, S., Harvey, R., et De Elia, R. 2006. Climate and climate change over North America as simulated by the Canadian RCM. *Journal of Climate*, 19:3112-3132.
- Phillips, D. 1990. *The Climates of Canada*. Minister of Supply and Services Canada, 176 pp.
- Prowse, T. D., Bonsal, B. R., Duguay C. R., Henssen D. O., et Vuglinsky V. S. 2007a. River and lake ice, chapter 8. *Global Outlook for Ice and Snow*. United Nations, Environment program: DEW/0924/NA. Norway, p. 201-214.
- Prowse, T. D., Bonsal, B. R., Duguay, C. R. et Lacroix M. P. 2007b. River-ice break-up/freeze-up: A review of climatic drivers, historical trends, and future predictions. *Annals of Glaciology*, 46:443-451.
- Räisänen, J. 2007. Warmer climate: less or more snow? *Climate Dynamics*, 30:307-319, DOI: 10.1007/s00382-007-0289-y.
- Richard, P. J. H. 1981. Paléophytogéographie postglaciaire en Ungava par l'analyse pollinique. *Paleo-Québec*, 13:153-160.
- Robinson, D. A., Dewey, K. F., et Heim, R. R. 1993. Global snow cover monitoring: an update. *Bulletin of American Meteorological Society*, 74:1689-1696.
- Roeckner, E., Bäuml, G., Bonaventura, L., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kirchner, I., Kornbluh, L., Manzini, E., Rhodin, A., Schlese, U., Schulzweida, U., et Tompkins, A. 2003. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part 1: model description. Max Planck Institute for Meteorology Report No. 349, Hamburg, November 2003, 140 pp. Available on line: www.mpimet.mpg.de/fileadmin/models/echam/mpi_report_349.pdf
- Rogers J. C., et van Loon H. 1979. The seesaw in winter temperature between Greenland and northern Europe. Part II: Some oceanic and atmospheric effects in middle and high latitudes. *Monthly Weather Review*, 107:509-519.
- Rogerson, R. J. 1986. Mass balance of four cirque glaciers in the Torngat Mountains of northern Labrador, Canada. *Journal of Glaciology*, 32:207-218.
- Scinocca, J. F., McFarlane, N. A., Lazare, M., Li, J., et Plummer, D. 2008. Technical Note: The CCCma third generation AGCM and its extension into the middle atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8:7055-7074.
- Sharma, S., Couturier, S., et Cote, S. D. 2009. Impacts of climate change on the seasonal distribution of migratory caribou. *Global Change Biology*, 15:2549-2562.
- Shen, H. T. 2010. Mathematical modeling of river ice processes. *Cold region Science and Technology*, 62:3-13.
- Stehr, N. et H. von Storch, 2009: *Climate and Society - Climate as Resource, Climate as Risk*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., London, 152 pp, ISBN-13: 978-9814280532.
- Stix, J. 1980. *Glaciers of the Nachvak Fiord region, northern Labrador*. Unpublished manuscript accessed at the National Hydrology Research Institute, Saskatoon, Saskatchewan, in March 2010.
- Sturm, M., Racine C., et Tape, K. 2001. Climate change: Increasing shrub abundance in the Arctic. *Nature*, 411:546-547.
- Sveinsson, O. G. B., Lall, U., Gaudet J., Kushnir, Y., Zebiak S., et Fortin, V. 2008. Analysis of Climatic States and Atmospheric Circulation Patterns That Influence Québec Spring Streamflows, *Journal of Hydrological Engineering*, 13:411-425, DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:6(411).
- Taylor, A. E., et Judge, A. 1979. Permafrost studies in northern Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 38:245-252.
- Tivy, A., L. Howell, S. E., Alt, B., McCourt, S., Chagnon, R., Crocker, G., Carrieres, T., et Yackel J. J. 2011. Trends and variability in summer sea ice cover in the Canadian Arctic based on the Canadian Ice Service Digital Archive, 1960–2008 and 1968–2008, *Journal of Geophysical Research*, 116:C03007, DOI:10.1029/2009JC005855.
- Tremblay, M., Furgal, C., Lafortune, V., Larrivière, C., Savard, J. -P., Barrett, M., Annanack, T., Enish, N., Tookalook, P., et Etidloie, B. 2006a. Communities

- and Ice: Bringing Together Traditional and Scientific Knowledge. In Riewe, R., et Oakes, J. (Eds), *Climate Change: Linking Traditional and Scientific Knowledge*, Aboriginal Issues Press, University of Manitoba, Manitoba, 289 pp.
- Tremblay, M., Furgal, C., Larrivée, C., Annanak, T., Einish, N., Swappie, N., Tookalook, P., Angiyu, E., Qiisik, M., Savard, J. -P., Allard, M., Barrett, M., et the communities of Kangiqsujuaq, Akulivik, Ivujivik, Umiujaq, Kangiqsualujuaq and Kamwachikamak. 2006b. *Changements climatiques au Nunavik: Accès aux territoires et aux ressources. Programme sur les impacts et adaptations liés aux changements climatiques, Rapport final*, Ressources Naturelles du Canada, 70 pp.
- Tremblay, M., Bleau, S., Bernier, M., Gauthier, Y., Tukkiapik, S., Baron, A., et Barrett, M. 2009. *L'environnement de la rivière Kuujuaq. Une perspective Kuujuaumiut. Nunavik. Initiatives des écosystèmes nordiques*, Environnement Canada, 62 pp.
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Tank, A. K., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J. A., Rusticucci, M., Soden, B., et Zhai, P. 2007. *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change*. In Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor M., et Miller H. L. (Eds), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Unterschultz, K. D., Van Der Sanden, J., et Hicks, F. E. 2008. *Potential of RADARSAT-1 for the monitoring of river ice: Results of a case study on the Athabasca River at Fort McMurray, Canada*. *Cold Regions Science and Technology*, 55:238-248.
- Walsh J., Anisimov O., Hagen J. O., Jakobsson T., Oerlemans J., Prowse T. D., Romanovsky, V., Savelieva N., Serreze M., Shiklomanov A., Shiklomanov I., et Solomon, S. 2005. *Cryosphere and Hydrology, Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 183-242.
- Walter, K., et Graf, H. -F. 2002. *On the changing nature of the regional connection between the North Atlantic Oscillation and sea surface temperature*. *Journal of Geophysical Research*, 107:4338. DOI:10.1029/2001JD000850.
- Wang, B. L., et Allard, M. 1995. *Recent Climatic Trend and Thermal Response of Permafrost in Salluit, Northern Québec, Canada*. *Permafrost and Periglacial Processes*, 6:221-233.
- Weber, F., Nixon, D., et Hurley, J. 2003. *Semi-automated classification of river ice types on the Peace River using RADARSAT-1 synthetic aperture radar (SAR) imagery*. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30:11-27.
- Williamson, C. E., Saros, J. E., Vincent, W. F., et Smol, J. P. 2009. *Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change*. *Limnology and Oceanography*, 54:2273-2282.
- Yu, B., Shabbar, A., et Zwiers, F. W. 2007. *The enhanced PNA-like climate response to Pacific interannual and decadal variability*. *Journal of Climate*, 20:5285-5300.
- Yu, B., et Zwiers, F. W. 2007. *The impact of combined ENSO and PDO on the PNA climate: a 1,000 year climate modeling study*. *Climate Dynamics*, 29:837-851.
- Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W. D., et Niitsoo, A. 2000. *Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th Century*. *Atmosphere–Ocean*, 38:395-429.

Annexe A. Projections des changements climatiques au Nunavik et au Nunatsiavut pour 2050

Carl Barrette¹, Line Bourdages³, Ross Brown^{2,3}, Diane Chaumont³, Yonas Dibike⁴, Anne Frigon³, Travis Logan³, Dominique Paquin³

¹ArcticNet, Centre d'études nordiques (CEN), Université Laval, ²Climate Research Division Environment Canada,

³Ouranos, ⁴Water and Climate Impacts Research Centre, Environnement Canada à University of Victoria

I. Introduction

Un certain nombre de méthodes peuvent être utilisées pour obtenir des scénarios de changements climatiques aux fins de planification et d'adaptation (Mearns *et al.*, 2001), allant de la simple extrapolation des tendances observées pour de courtes périodes à des simulations à plus long terme à partir de modèles climatiques qui tiennent compte de l'évolution future de la concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Cette dernière approche est celle utilisée ici, car les modèles climatiques suggèrent que l'augmentation des GES suscitera des changements importants dans le climat de l'Est de l'Amérique du Nord au cours de la période 2041-2070 (Christensen *et al.*, 2007). Les simulations de modèle climatique global (MCG) fournies dans le cadre de la plus récente évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et contenues dans l'ensemble de données du CMIP3 (Meehl *et al.*, 2007) ont une résolution spatiale de l'ordre de 200 à 400 km. Cette résolution est trop grossière pour traduire la topographie et le littoral de la région à l'étude et elle n'est pas optimale pour bon nombre d'applications. Il est possible de ramener la résolution des résultats des simulations du MCG à l'échelle requise par les décideurs en établissant des relations statistiques ou en utilisant les résultats du MCG pour alimenter un modèle climatique de résolution plus fine centré sur une plus petite région (un modèle régional du climat ou MRC – voir l'examen de la question par Laprise, 2008). C'est ce que nous avons fait dans le cas présent, car cette approche cohérente, basée sur des critères physiques, permet de fournir de l'information d'une résolution supérieure pour une vaste gamme de besoins des utilisateurs.

Les utilisateurs des scénarios de changements climatiques dérivés des résultats de modèles climatiques doivent être au

courant de la « cascade d'incertitudes » qu'ils comportent (Jones, 2000), notamment les scénarios d'émission de GES utilisés pour alimenter les projections de changements climatiques du MCG, les critères physiques et le paramétrage utilisés dans les MCG et les modèles régionaux du climat (MRC), les conditions aux limites latérales utilisées lors de la réduction de la résolution dans les MRC, et la variabilité climatique naturelle ou interne présente dans le système climatique (et simulée par les modèles climatiques mondiaux). Selon De Elia *et al.* (2008), qui ont entrepris d'évaluer les incertitudes d'une simulation climatique à l'aide du Modèle régional canadien du climat (MRCC) pour l'Amérique du Nord, les erreurs provenant de la variabilité climatique interne du MRC et découlant de la configuration choisie sont beaucoup plus petites que celles liées au choix des données d'alimentation du MCG et elles ne constituent pas un obstacle majeur à la réduction d'échelle. L'ampleur de certaines incertitudes dépend aussi du lieu géographique. Selon Rowell (2006), on peut obtenir une certaine idée de l'importance relative de ces incertitudes dans une région en particulier et pour une variable en particulier en analysant les données provenant de multiples simulations du MCG et du MRC. Cependant, il n'y avait qu'un petit nombre de simulations du MRC disponibles pour la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut, ne permettant pas d'effectuer une analyse selon Rowell. La méthode choisie pour générer des scénarios et tenir compte de l'incertitude est décrite dans la section qui suit.

II. Méthodologie

Les projections des changements climatiques dans la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut sont générées à l'aide du Modèle régional canadien du climat (MRCC) (Caya *et al.*, 1995; Caya et Laprise, 1999; Plummer *et al.*, 2006; Music et Caya, 2007) qui permet de réduire la résolution

spatiale à 45 km, comparativement à la résolution de ~ 200-400 km des modèles climatiques mondiaux de base. Les changements projetés sont générés à partir de la différence entre les moyennes sur 30 ans au cours de la période de climat « actuel » de 1971-2000 et de la période de climat « futur » de 2041-2070 correspondant à la période 2050. On a choisi la période 2050 car elle correspond à l'horizon de planification des décideurs. Le MRCC a fait l'objet de nombreuses validations par rapport à divers ensembles de données d'observation et on a constaté qu'il fournissait

des simulations réalistes du climat, de l'enneigement et de l'hydrologie, avec un certain biais régional (voir l'encadré 1).

Pour analyser les changements climatiques projetés (tableau A1), Ouranos nous a fourni au total six séries de simulation de la plus récente version du MRCC 4.2.3 pour le climat actuel et pour le climat futur (de Elia et Côté, 2010). Cinq de ces séries du MRCC sont basées sur la troisième génération du Modèle couplé climatique global (MCCG3) à la résolution T47 (~ 400 km) (Scinocca et

Encadré 1. Notes à propos de la validation du MRCC

Mitchell et Jones (2005) ont effectué une évaluation préliminaire des simulations de températures de l'air et de précipitations rendues par le MRCC4 pour la région à l'étude (plus précisément les sorties MCCG3#4 (aet/aeu), MCCG3#5 (aev/aeu) et ECHAM5#1 (agx/agz)) en les comparant aux observations de la grille du Climatic Research Unit (CRU version ts_2.02). Il importe toutefois de souligner que l'ensemble de données CRU contient peu d'observations pour la région de l'IRIS4 et que celles-ci tendent à favoriser les zones côtières. Les résultats de l'évaluation doivent donc être interprétés avec prudence.

Température de l'air : Les différences entre les températures saisonnières tirées du MRCC et les observations CRU sont moins homogènes sur le plan géographique que pour les précipitations et elles tendent à varier selon les données dictées par le modèle de base. Lorsqu'il est dicté par le MCCG3, le MRCC simule des températures généralement trop froides dont le biais peut atteindre -8 °C en hiver le long du littoral. Cependant, lorsqu'il est dicté par le modèle ECHAM5 (#1), il n'y a aucun biais systématique et les différences peuvent être positives (p. ex., +5 °C pour Tmax au printemps) ou négatives (p. ex., -4 °C pour Tmin en automne) (Paquin, 2010).

Précipitations : Le biais du MRCC en ce qui concerne les précipitations saisonnières est généralement inférieur à 1,5 mm/jour. Il tend à être négatif (sous-estimation) dans l'est de la région et positif dans l'ouest de la région (Paquin, 2010).

Couverture de neige : Dorsaz (2008) a démontré que le MRCC fournit des simulations réalistes de la couverture de neige moyenne au Québec, mais avec une tendance à simuler une trop grande quantité de neige tôt dans la saison hivernale (liée au biais du froid), des valeurs faibles d'équivalent d'eau en neige (EEN) maximum annuel (à cause du déficit en précipitations solides en lien avec le biais du froid) et une fonte trop rapide en période printanière. La variabilité interannuelle quant à la date de disparition de la neige était mieux simulée que celle pour la date de début de neige d'après les ensembles de données d'observation disponibles. La capacité du MRCC à saisir la variabilité interannuelle de l'EEN maximum annuel n'a pas pu être déterminée clairement, car il y avait peu de correspondances entre les ensembles de données d'observation. L'évaluation du MRCC pour ce qui est de la couverture de neige dans les secteurs au nord de la région IRIS4 est difficile, car il y a peu d'observations faites au sol et les données par satellite diffèrent considérablement des ensembles de données de réanalyse.

Tableau A1. Liste des simulations du MRCC utilisées dans le présent rapport IRIS. La version 4.2.3 du MRCC a été utilisée pour toutes les simulations avec le modèle au-dessus du domaine de l'Amérique du Nord (AMNO 200x192 à une résolution de 45 km). Les simulations du MCM de base pour le climat futur appliquaient le scénario d'émission SRES A2.

ACTUEL (1971-2000)	FUTUR (2041-2070)	MODÈLE DE BASE ET MEMBRES
aey	afb	CGCM3-1
aez	afc	CGCM3-2
afa	afd	CGCM3-3
aev	aew	CGCM3-4
aet	aeu	CGCM3-5
agx	agz	ECHAM5-1

al., 2008; Flato et Boer, 2001) comportant des incertitudes liées à la variabilité naturelle du climat (simulée par les divers éléments du MCGG3 avec pour seule différence leurs conditions initiales). L'autre série de simulations du MRCC est basée sur le modèle global ECHAM5 de l'Institut Max Planck (Roeckner *et al.*, 2003; Jungclaus *et al.*, 2006), pour tenir compte de certaines incertitudes liées aux différences entre les divers MCG de base. Toutes les simulations du climat futur ont été faites en fonction du scénario A2 d'émission de GES (Nakicenovic *et al.*, 2000). Les changements moyens calculés (Δ) à partir des six différentes séries de simulations du MRCC ont été cartographiés en superposition sur la région à l'étude avec un écart type (ET) des changements projetés, afin de donner une certaine idée de l'incertitude.

Dans un premier temps, on a comparé les changements projetés des températures et des précipitations annuelles moyennes dans la région à l'étude, obtenus des six séries de simulation du MRCC, aux résultats de 86 séries de simulation du MCG à partir de l'ensemble de données CMIP3 (Meehl *et al.*, 2007), incluant différents scénarios d'émissions et plusieurs simulations faites avec un même modèle mais à partir de conditions initiales différentes (figure A1). Ce processus donne une idée à savoir où se situent les simulations du MRCC utilisées ici dans le spectre des changements projetés. L'analyse montre que les simulations utilisées correspondent

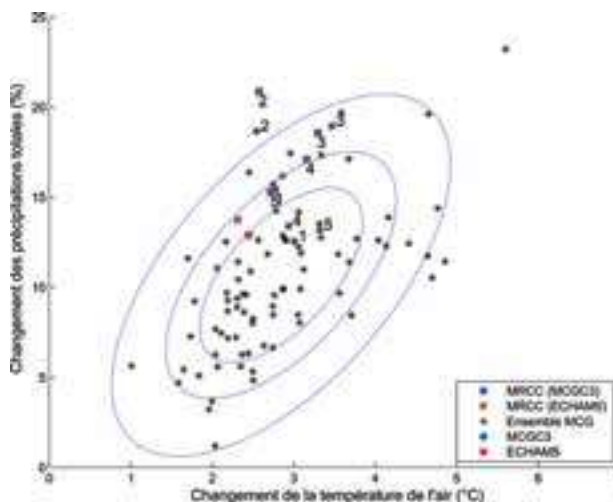


Figure A1. Changements projetés dans la température annuelle moyenne de l'air ($^{\circ}\text{C}$) et les précipitations totales (%) pour 2050, dans les régions du Nunavik et du Nunatsiavut. Le point rouge représente la simulation ECHAM5 utilisée dans cette étude et les points bleus représentent les cinq différentes sorties du MCGG3. Les carrés colorés représentent les résultats du MRCC avec chaque MCM (les nombres correspondent aux éléments du MCGG3) tandis que les astérisques noirs représentent les 86 différentes séquences issues des MCM comprises dans l'ensemble de données CMIP3 (Meehl *et al.*, 2007).

à peu près au centre de la plage moyenne de 2 à 4 $^{\circ}\text{C}$ des changements projetés pour la température annuelle moyenne, tandis que pour les précipitations, les changements projetés de l'ordre de 15 à 20 % se trouvent dans la partie supérieure de la plage des divers MCG.

III. Choix et définition des variables

On a choisi les variables à analyser en fonction de leur risque d'être affectées par les changements climatiques et de leur pertinence pour les communautés nordiques. À cet égard, les chercheurs et les communautés ont cerné cinq composantes clés de l'écosystème nordique à prendre en considération lors de l'élaboration des scénarios des changements climatiques :

- La végétation
- Le caribou
- Le pergélisol
- Les écosystèmes aquatiques
- L'omble chevalier

Les variables et indicateurs climatiques pertinents pour ces composantes clés ont été déterminés antérieurement (p. ex., Sharma *et al.*, 2009; Williamson *et al.*, 2009) et sont définis ci-dessous aux fins de la présente analyse :

Température de l'air (T_a) : La température de l'air est un indicateur climatique fondamental puisque de nombreux processus arctiques sont étroitement liés à des seuils thermiques, surtout autour du point de congélation. Deux périodes de moyennes saisonnières ont été utilisées pour présenter les scénarios de changement de température qui correspondent aux deux principales saisons dans le nord du Québec et du Labrador : une saison hivernale d'octobre à avril (T_a généralement < 0 °C) et une saison estivale de mai à septembre (T_a généralement > 0 °C).

Précipitations : Les précipitations totales annuelles moyennes (P_t) et les précipitations solides annuelles (P_s) ont été obtenues à partir de six résultats du MRCC pour le taux moyen de précipitations par heure. Les calculs ont été faits sur une année civile pour les P_t et d'octobre à mai pour les P_s . On a supposé que les précipitations étaient sous forme solide lorsque la température de l'air près de la surface était < 0 °C.

Accumulation maximum et moyenne de neige (N_{max} et N_{moy}) : Il importe de connaître les changements dans la quantité de neige au sol puisqu'ils sont liés au régime thermique du sol (Hinkel et Hurd, 2006), aux ressources hydriques, aux transports et à un large éventail de répercussions écologiques, comme l'alimentation des ongulés (Tews *et al.*, 2007; Bourque et Simonet, 2008). On a généré les valeurs de N_{max} et N_{moy} à partir des séries de simulations quotidiennes de l'épaisseur de la neige du MRCC au cours de la période d'enneigement (PE) définie plus loin.

Degrés-jours (DJ) : Les degrés-jours sont définis comme le début de la température moyenne quotidienne à partir d'un seuil donné. On les utilise pour calculer différents indices. Par exemple, la somme des températures moyennes quotidiennes au-dessus de 0 °C sert à calculer les degrés-jours de dégel (DJD) ou degrés-jours de fonte, lesquels sont étroitement liés aux processus de fonte tels que la profondeur de la couche active du pergélisol (L'Hérault, 2009). Le début et la durée d'ablation de la couverture de neige sont aussi étroitement liés aux DJD.

On peut aussi obtenir un indice de la croissance des plantes à partir de la somme des degrés-jours au-dessus d'une température seuil correspondant à la physiologie des végétaux. Par exemple, la somme des températures moyennes quotidiennes au-dessus de 5 °C est utilisée pour estimer les degrés-jours de croissance (DJC) en milieu arctique. Inversement, les degrés-jours peuvent servir à calculer les indices liés au refroidissement, p. ex., les degrés-jours de gel (DJG) (calculés comme étant la somme des degrés-jours sous 0 °C) sont étroitement liés à la formation de la glace (voir USACE, 2002). Les indices de DJ sont aussi liés aux dynamiques des populations des ongulés, puisqu'ils influencent l'abondance de pâturage pendant toute la durée de la saison de croissance et la production primaire (Sharma *et al.*, 2009).

Durée de la saison de croissance : La durée de la période pendant laquelle les températures de l'air sont au-dessus du point de congélation affecte un vaste éventail de processus environnementaux comme l'évaporation, le type de précipitations et les conditions de croissance des végétaux. La durée de la saison estivale a été générée à partir des dates où la température dépasse 0 °C, à l'aide d'une moyenne mobile centrée de 20 jours de la température moyenne quotidienne de l'air.

Cycles de gel-dégel : Le début de l'hiver et surtout le printemps sont des périodes caractérisées par des cycles de gel-dégel qui jouent un rôle important dans la désagrégation mécanique des roches et des sols et dans la formation des couches de glace au sein de la couverture de

neige ou sous celle-ci, avec des effets potentiels sur le régime thermique du sol, la végétation et les pâturages des ongulés. Les résultats de ces variables sont tirés des analyses des changements dans le nombre de cycles gel-dégel pour 2050 de huit simulations du MRCC selon le scénario d'émission SRES A2 (Logan *et al.*, 2011). Les cycles gel-dégel ont été définis comme étant le nombre de jours où les températures quotidiennes maximales (T_{max}) > 0 °C et les températures quotidiennes minimales (T_{min}) < 0 °C.

Nombre d'événements de fonte hivernale (Fhiv) et de pluie sur neige (PSN) : Les événements de Fhiv peuvent avoir des impacts majeurs sur les écosystèmes arctiques, surtout pour les ongulés, en produisant des couches de glace au sein de la couverture de neige ou sous celle-ci, ce qui peut limiter l'accès aux pâturages (Tyler *et al.*, 2008). Les événements de PSN et de pluie verglaçante peuvent aussi causer des problèmes similaires aux ongulés en quête de nourriture, car ils créent une croûte glacée en surface de la neige (Putkonen et Roe, 2003; Rennert *et al.*, 2009). Les événements de Fhiv ont été générés en faisant la somme du nombre de jours où les températures maximales de l'air avaient dépassé le point de congélation (> 0 °C) pendant des périodes où la moyenne mobile centrée des températures moyennes de l'air pendant 29 jours se situait sous -5 °C. Ce dernier critère a été appliqué pour restreindre ces événements de dégel à la principale période hivernale et éviter ainsi de générer de fréquents événements pendant le début ou la fin de l'hiver (ces derniers sont saisis par l'indice quotidien de cycle gel-dégel). Le nombre de jours de PSN a été défini selon Rennert *et al.* (2009) comme étant le nombre de jours avec des précipitations totales journalières > 3 mm alors qu'il y avait de la neige au sol avec un équivalent d'eau en neige > 3 mm.

Durée de l'enneigement (DE) : La DE est importante pour les transports, le régime thermique du sol et l'écologie. La saison d'enneigement a été définie comme étant la période où il y a au moins 10 cm de neige au sol, ce qui correspond à une couverture de neige complète sur une cellule de grille du schéma canadien de paramétrisation de la surface terrestre (*Canadian Land Surface Scheme – CLASS*) utilisé pour simuler les processus d'enneigement dans le MRCC

(Verseghy, 2000). Les dates de début et de fin de la saison d'enneigement ont été définies respectivement comme les cinq premiers jours consécutifs avec une épaisseur de neige au-dessus du seuil choisi et les cinq derniers jours consécutifs avec une épaisseur de neige sous ce même seuil.

Couverture de glace : On s'attend à d'importants changements dans l'épaisseur et la durée de la couverture de glace en réaction au réchauffement projeté (Drobot *et al.*, 2008) avec des incidences considérables sur les transports et les écosystèmes (p. ex., Williamson *et al.*, 2009; Sharma *et al.*, 2009) et sur les modes de vie des Autochtones (Williamson *et al.*, 2009). Les processus rétroactifs de la glace de lac et de mer sur le climat ne sont pas inclus dans la version actuelle du MRCC, mais les résultats des récentes études de modélisation de la réaction de la glace de lac aux changements climatiques (Dibike *et al.*, 2011a,b) et de la réaction de la glace de mer au réchauffement dans la région de la baie d'Hudson (Joly *et al.*, 2010) sont pertinents dans le cadre du présent rapport. Il en est de même pour les scénarios des changements rapides de la glace présentés par Dumas *et al.* (2006). Les résultats de ces études sont présentés et commentés à la section IV.IV.

IV. Résultats

Cette section présente les résultats des scénarios climatiques pour chaque variable/indicateur clé. Le sommaire des changements climatiques projetés pour le Nunavik et le Nunatsiavut est présenté au tableau 8 du chapitre 2.

IV.I Changements projetés des températures de l'air et indices connexes

La figure A2 présente les changements moyens projetés des températures annuelles moyennes de l'air (ΔT_a) pour 2050 à partir de six simulations à l'aide du MRCC. Les résultats révèlent des changements qui s'effectueraient selon un axe N.-E.-S.-O., avec les augmentations les plus marquées (de 3,0 à 3,5 °C) dans le nord du Nunavik et du Nunatsiavut et les augmentations les moins marquées (de 2,5 à 3,0 °C) dans le sud de la région.

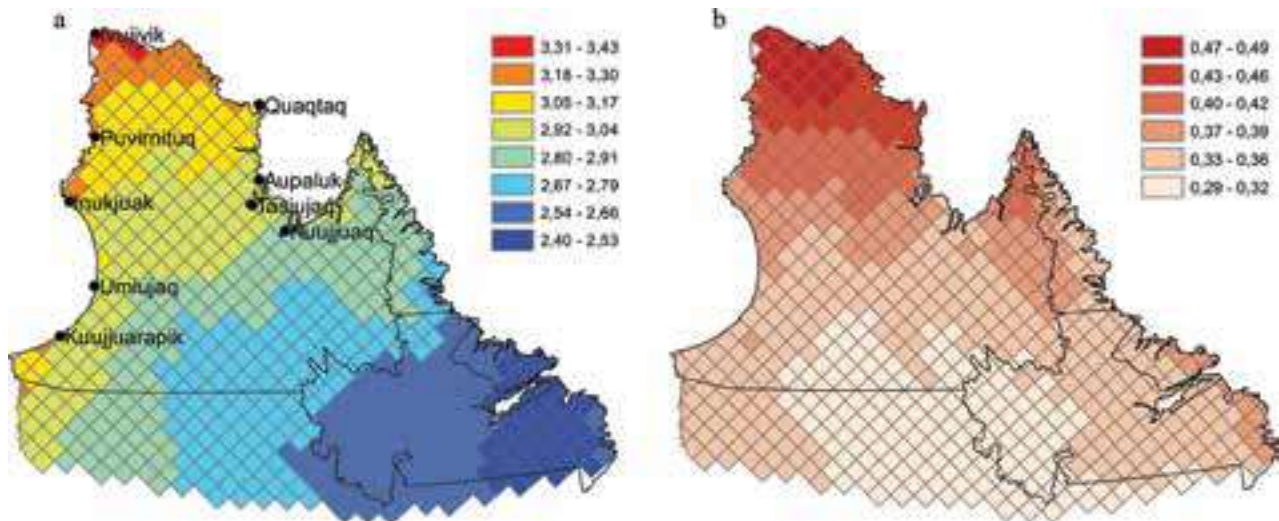


Figure A2. a) Changements moyens projetés (ΔT_a , °C) de la température annuelle moyenne de l'air pour 2050, à partir de six simulations du MRCC; b) Écarts types de ΔT_a pour les six simulations (°C).

Pour le Nunavik, on a identifié trois zones de changements de températures : 1) la zone nord (Quaqlaq, Ivujivik et Puvirnituq) caractérisée par les changements projetés les plus importants d'environ 3,0 à 3,4 °C; 2) le centre est de la région du Nunavik (Tasiujaq, Aupaluk et Kuujuaq) où les augmentations sont les moins marquées, soit d'environ 2,8 °C; 3) la région de la baie d'Hudson (Kuujuarapik, Umijuq, Inukjuak) où les augmentations intermédiaires sont d'environ 3,0 °C (figure A2). Les écarts types entre les séquences de simulation sont plus marqués dans le secteur nord de la péninsule d'Ungava, ce qui indique une plus grande incertitude dans les projections du modèle pour ce secteur.

Les projections pour l'hiver et l'été (figure A3 a et c) indiquent des augmentations de température plus importantes en hiver dans la région à l'étude (de 2,8 à 4,6 °C), tandis qu'en été les augmentations projetées varient de 1,5 à 2,1 °C. Le plus important réchauffement hivernal projeté se déroulerait dans les secteurs autour de la baie d'Hudson et du détroit d'Hudson, en accord avec l'amplification polaire du réchauffement climatique global et régional causé par la diminution de la glace de mer (Gagnon et Gough, 2005). Le plus important réchauffement estival projeté (~2,0 °C) aurait lieu dans la partie la plus au nord du Nunavik, d'Ivujivik à Quaqlaq, et dans la région des monts Torngat.



La figure 16 du chapitre 2 (section de gauche) illustre avec une meilleure précision le caractère saisonnier des changements projetés dans la température moyenne de l'air dont on a fait la moyenne pour toute la région de l'IRIS. Le réchauffement projeté en hiver atteint un pic de 4-6 °C en janvier et la plus grande variabilité entre les simulations du modèle est notée en février et mars. Ceci contraste avec les mois d'été où la variabilité climatique interne de la région est beaucoup moins prononcée (la figure A3 illustre clairement ce contraste

saisonnier dans la variabilité interannuelle dans la série des températures saisonnières observées).

Les changements projetés pour les degrés-jours de dégel (DJD) (figure A4a) sont plus marqués dans le sud de la région avec des augmentations allant de 300 DJD environ jusqu'à presque 400 DJD. Cependant, en termes de pourcentage de changement projeté (figure A4c), c'est le nord du Nunavik, incluant les villages d'Ivuivik, Salluit, Kangiqsujuaq et Quaqtaq, qui connaîtrait

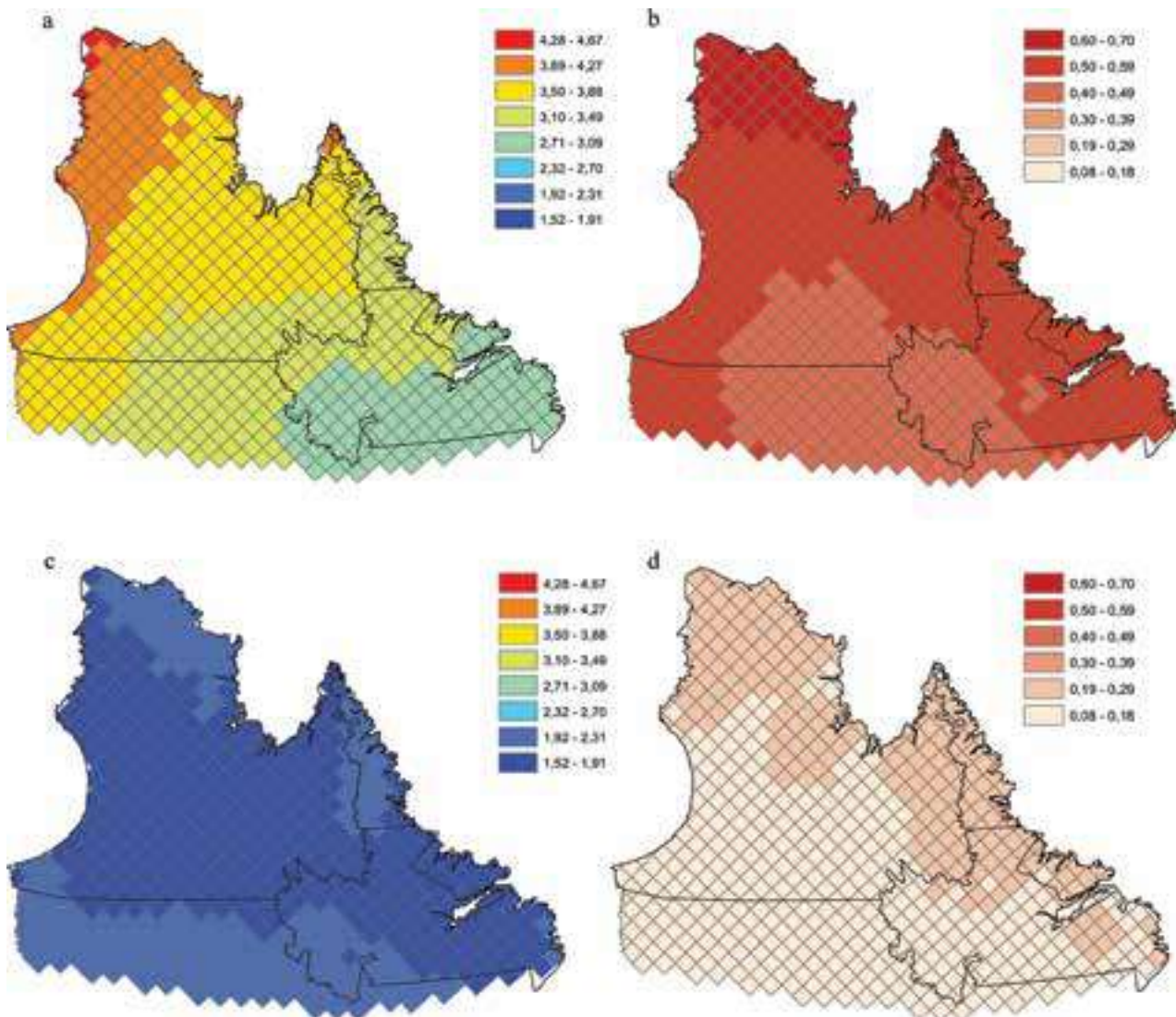


Figure A3. Changements moyens projetés de la température moyenne de l'air a) en hiver (oct.-avril) et c) en été (mai-sept.) à partir de six simulations du MRCC (°C). Les écarts types correspondants pour les simulations sont illustrés en b) et d).

le plus important changement relatif avec des augmentations de l'ordre de 50-70 %. Les mêmes augmentations relatives importantes des DJD se produiraient dans les monts Tomgat. Les incertitudes liées à la variabilité climatique interne sont plus marquées pour ces deux régions nordiques (figure A4d).

La figure A5 présente les changements projetés pour les degrés-jours de croissance (DJC), c.-à-d. le nombre de degrés-

jours au-dessus de 5 °C, ce qui correspond aux changements dans la durée de la saison de croissance. La répartition spatiale des changements projetés est essentiellement la même que pour les DGD, puisque la saison plus longue sans neige est le principal processus reposant sur cette réponse thermique. Les augmentations relatives sont toutefois plus importantes, variant de ~ 50 % dans la région côtière de la baie d'Hudson au nord de la baie James à ~ 150 % dans le nord de la péninsule d'Ungava.

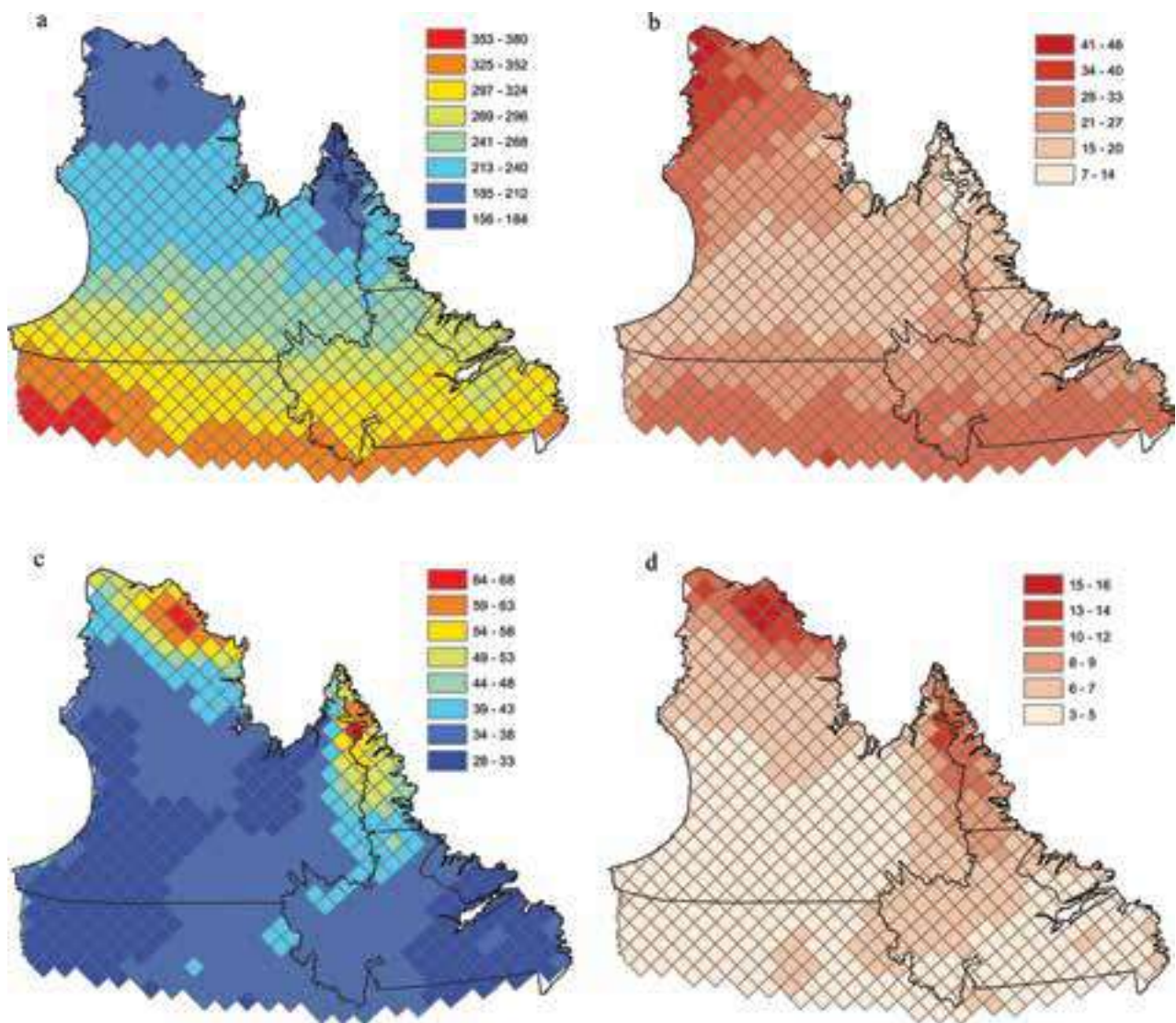


Figure A4. Changements moyens projetés des degrés-jours de dégel (DJD) moyens pour 2050, à partir d'un ensemble de six simulations du MRCC : a) changements projetés des DJD, b) écarts types pour les changements de DJD, c) changements dans les DJD exprimés en pourcentage des DJD moyens du climat actuel et d) écarts types pour les changements dans les DJD exprimés en pourcentage de DJD moyens du climat actuel.

La figure A6 illustre les changements moyens projetés en ce qui a trait aux dates de début et de fin de l'été (période avec des températures moyennes de l'air $> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Pour la date du début de l'été, les changements projetés les plus marqués (environ 10 jours plus tôt) se produiraient dans les régions au nord du Nunatsiavut et du Nunavik (figure A6a), incluant les villages d'Ivujivik et Quaqaq au Nunavik et le village de Nain au Nunatsiavut. Quant à la date de fin de l'été, les changements projetés seraient les plus marqués (prolongation de ~ 15 à

18 jours) dans la région côtière de la baie d'Hudson au nord de la baie James (figure A6c) incluant les villages de Kuujjuarapik, Umiujaq et Inukjuak. Les résultats suggèrent une augmentation potentielle projetée de la durée de la saison de croissance d'environ 3 à 4 semaines pour la majeure partie de la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut d'ici 2050.

L'analyse des changements dans les cycles de gel-dégel (Logan *et al.*, 2011) (non illustrés) indique des déplacements

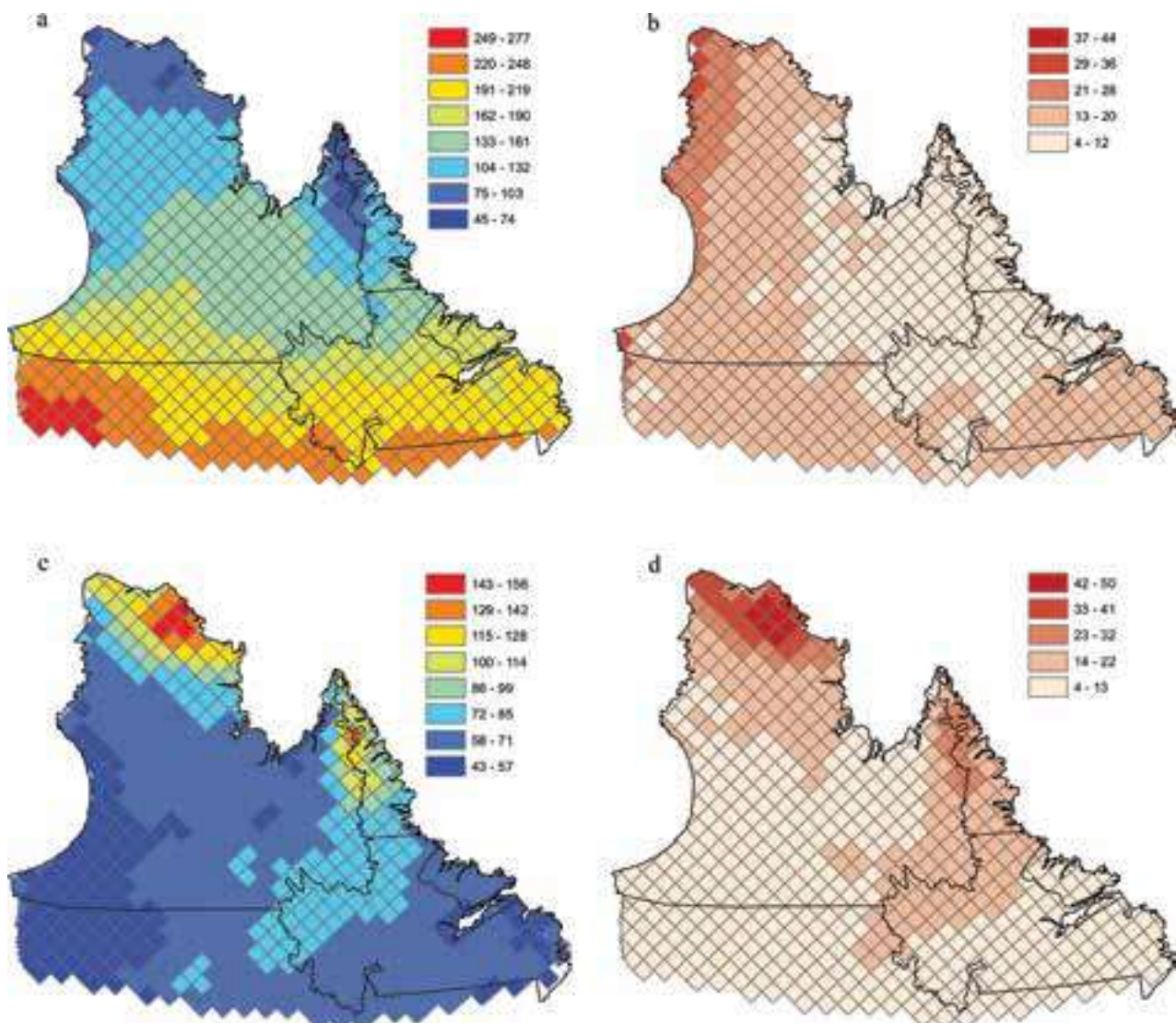


Figure A5. Changements moyens projetés des degrés-jours de croissance (DJC) moyens pour 2050, à partir d'un ensemble de six simulations du MRCC : a) changements projetés dans les DJC, b) écarts types des changements dans les DJC, c) changements dans les DJC exprimés en pourcentage des DJC moyens du climat actuel et d) écarts types pour les changements dans les DJC exprimés en pourcentage de DJC moyens du climat actuel.

saisonniers importants de la période de cycles de gel-dégel, mais seulement de légers changements (diminutions) dans la fréquence annuelle de ces cycles dans la majeure partie de la région IRIS. De la même façon, les résultats des changements projetés dans le nombre d'événements de fonte hivernale (non illustrés) indiquent de légères diminutions liées à la réduction de la durée de la saison hivernale, mais il n'y a pas d'évidence de répartitions spatiales particulières.

IV.II Changements projetés dans les précipitations et indicateurs connexes

Pour les précipitations totales, les changements projetés dans la région à l'étude selon les simulations du MRCC (figure A7a,b) indiquent une augmentation globale de l'ordre de 10 à 25 % d'ici 2050. Les augmentations les plus marquées (de 20 à 25 %) se produiraient au Nunavik, dans

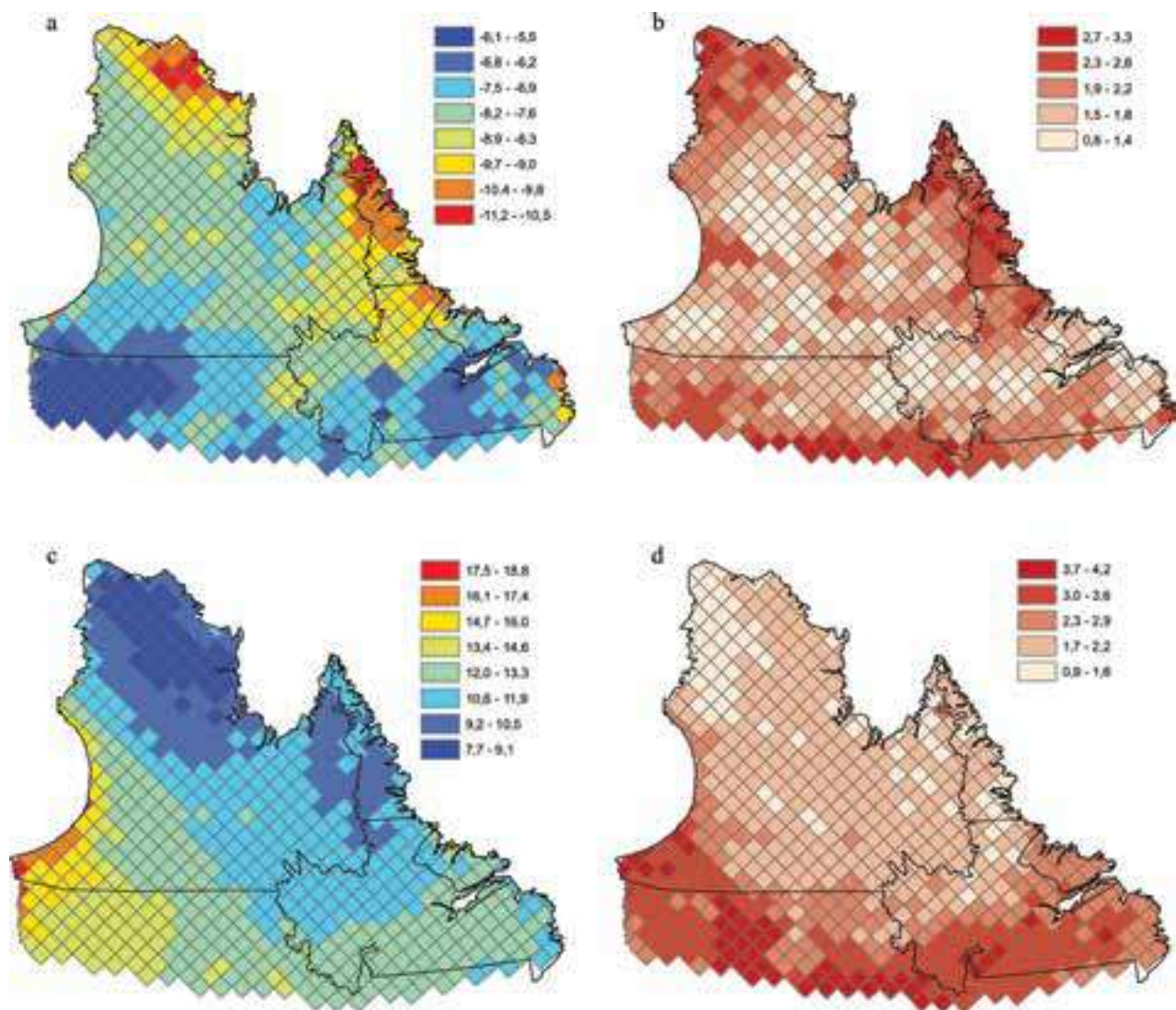


Figure A6. Changements moyens projetés du prolongement de la saison estivale pour 2050 à partir d'un ensemble de six simulations du MRCC : a) date moyenne de début des températures moyennes au-dessus de 0 °C; b) écarts types des dates de début; c) date moyenne de fin des températures moyennes au-dessus de 0 °C; d) écarts types des dates de fin. Les valeurs négatives (positives) indiquent des changements à des dates plus hâtives (plus tardives).

la partie ouest de la péninsule d'Ungava et la partie est de la baie d'Ungava. Au Nunatsiavut, les changements projetés dans les précipitations sont de l'ordre de +10 à 15 %. La répartition des changements projetés en ce qui a trait aux chutes de neige totales (figure A7c,d) est semblable à ce que l'on prévoit pour les précipitations totales, avec des augmentations de 16 à 23 % dans le nord de la péninsule d'Ungava. Cependant, on prévoit une légère diminution des précipitations solides dans les régions côtières du

Nunatsiavut, surtout dans les zones au sud de la région (de Makkovik à Cartwright). L'augmentation de l'écart type entre les séquences d'utilisation du modèle pour l'est de la région dans la figure A7 b serait vraisemblablement liée aux sources de variabilité climatique, comme l'OAN mentionné à la section 2.3, lesquelles affecteraient principalement l'est de la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut. Le caractère saisonnier des changements projetés dans les précipitations totales (voir chapitre 2, figure 16, section de droite)

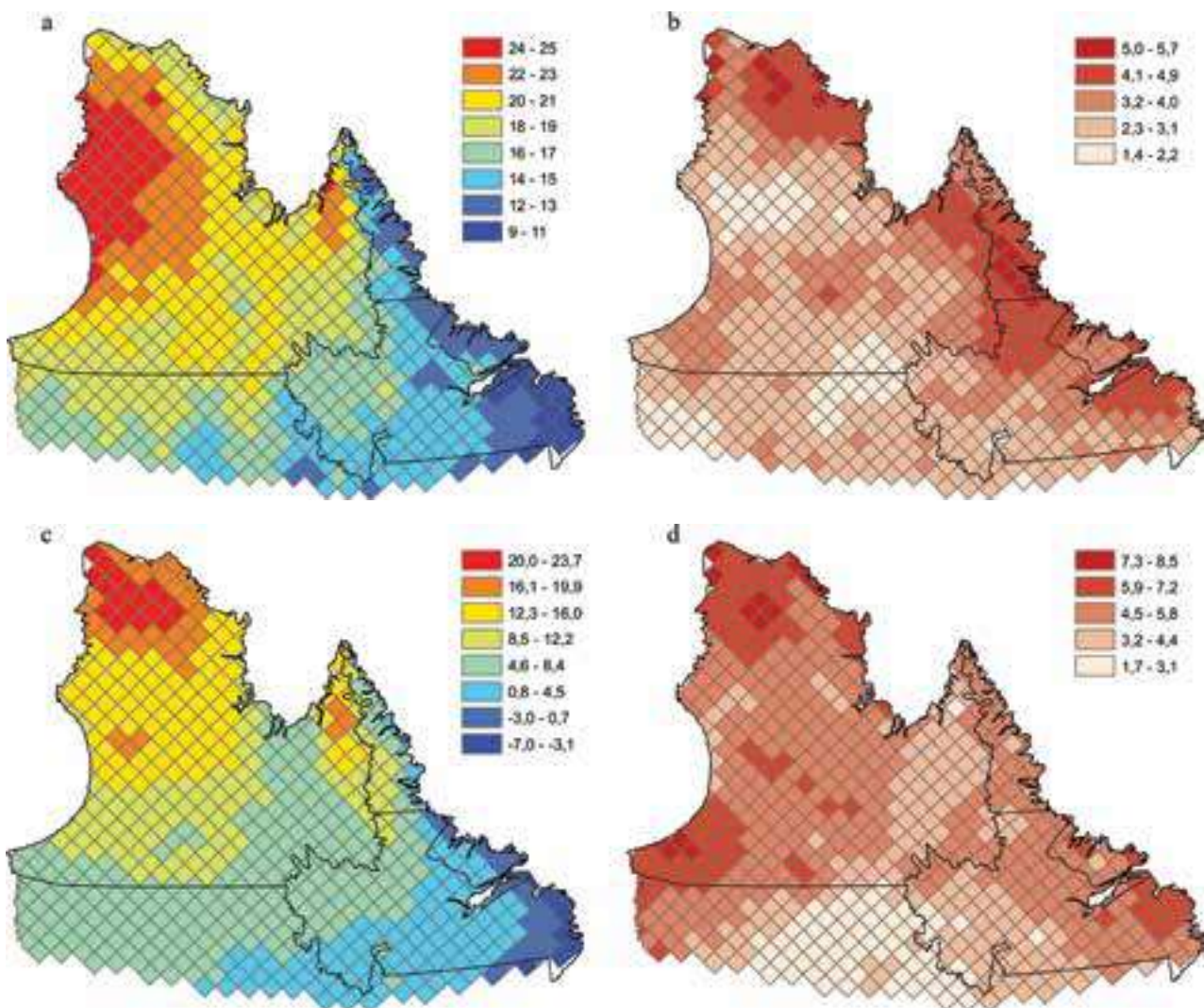


Figure A7. a) Changements moyens projetés exprimés en pourcentage des précipitations totales annuelles (ΔPt) pour 2050; b) écarts types des ΔPt à partir des six simulations du MRCC pour 2050, c) changements moyens projetés exprimés en pourcentage des précipitations solides annuelles (ΔPs) pour 2050, d) écarts types des ΔPs à partir des six simulations du MRCC pour 2050. Les précipitations sont classées comme étant solides ou liquides dans le MRCC d'après un seuil de température de 0 °C.

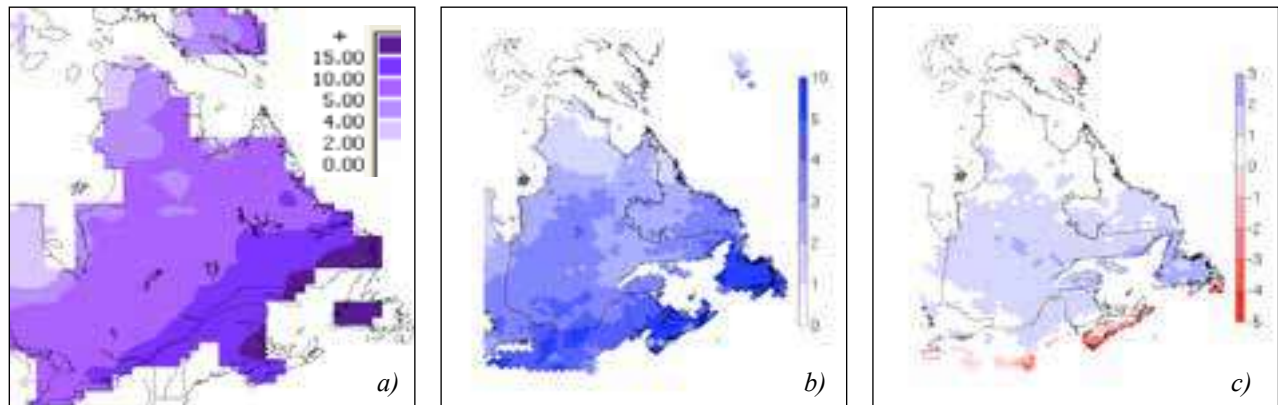


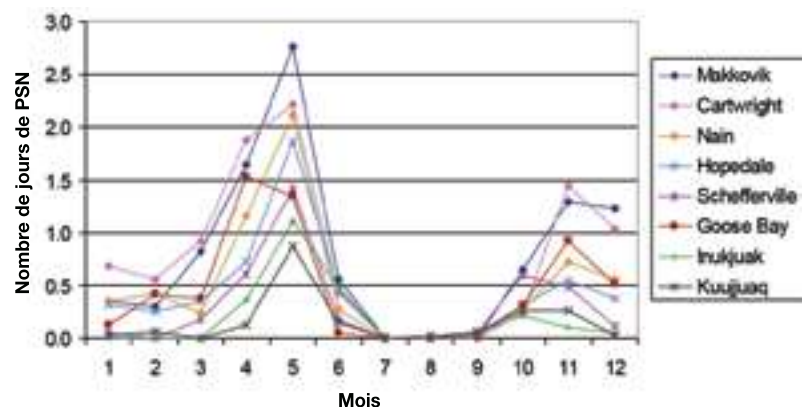
Figure A8. Comparaison de la fréquence des événements de pluie sur neige (PSN) (événements par année) simulés à partir du MRCC pour 1971-2000 (section b) avec les estimations des reconstitutions de la couverture de neige obtenues de Brown (2010) (section a). La section c) montre la moyenne (de 6 simulations) des changements projetés par le MRCC dans la fréquence annuelle des événements PSN pour 2050. L'écart type des changements projetés de PSN à partir des six simulations du MRCC (non illustré) est moins d'un événement par année dans la région IRIS. Les jours de PSN ont été définis selon Rennert et al. (2009) comme étant le nombre de jours avec de la neige au sol et un équivalent d'eau en neige de > 3 mm et une chute de pluie totale journalière de > 3 mm.

s'illustre par des augmentations projetées plus marquées dans la première moitié de l'année civile, mais ces résultats sont plus bruités que pour les températures de l'air (voir le chapitre 2, figure 16, section de gauche). Cela était prévisible, car la répartition spatiale et la variabilité temporelle sont plus importantes pour les précipitations que pour les températures de l'air.

Les changements projetés dans le nombre annuel de jours de pluie sur neige (PSN) (figure A8) dans la région IRIS indiquent de légères augmentations de 1 à 2 jours par année, principalement confinées au sud de la région (figure A8c). Les jours de PSN sont relativement rares dans la région de l'IRIS et

l'analyse de l'épaisseur quotidienne de la neige et des données de pluie provenant des stations climatiques de toute la région (figure 9) montre que l'occurrence annuelle moyenne de ces événements varie de moins de 2 jours/an à Kuujuaq à environ 10 jours/an à Makkovik et à Cartwright. Le MRCC semble saisir la variabilité spatiale et l'ampleur de ces événements raisonnablement bien. La distribution saisonnière des jours de PSN (selon la définition de Rennert *et al.*, 2009) présente un pic en période printanière (figure A9), lorsqu'il est moins probable que se forment des couches de glace pouvant nuire aux caribous en quête de nourriture. Cette définition pourrait ne pas être la meilleure pour évaluer les risques que présentent les événements PSN pour le caribou.

Figure A9. Fréquence mensuelle moyenne des jours de PSN constatés à partir des observations des stations climatiques de l'épaisseur de neige et de la pluie sur une base quotidienne dans divers endroits de la région de l'IRIS 4 pour différentes durées et périodes de données. Les jours de PSN ont été définis comme étant ceux avec des chutes de pluie > 3 mm sur une couverture de neige avec un équivalent en eau > 3 mm (en supposant une densité de neige de 250 kg.m-3).



IV.III Changements projetés de la couverture de neige

Les changements projetés dans l'épaisseur annuelle moyenne de la couverture de neige pour le Nunavik et le Nunatsiavut (fig. A10a) indiquent de légères augmentations allant jusqu'à environ 7% dans le nord-ouest du Nunavik et des diminutions dans le reste de la région de l'IRIS. Les diminutions les plus marquées dans l'épaisseur de neige (de -10 à -15 %) surviendraient dans les régions côtières du Nunatsiavut. On s'attend à ce que les secteurs sud et est de la péninsule d'Ungava

(de Kuujjuaq à Kanjigsualujjuaq) suivent la même tendance, avec des réductions de 0 à 5 %. Les écarts types obtenus (figure A10b) sont plus élevés et une plus grande incertitude apparaît dans les régions côtières, tout particulièrement dans le secteur de la baie d'Hudson près de Kuujjuarapik.

Les changements projetés dans l'épaisseur maximale annuelle de la couverture de neige (figure A10c) indiquent une tendance similaire, mais sont accrus d'environ 10 %, donnant lieu à une augmentation générale de la Nmax dans la majeure partie de la région. Les changements les plus marqués projetés par les modèles (augmentations de 9 à 15 %) surviendraient dans

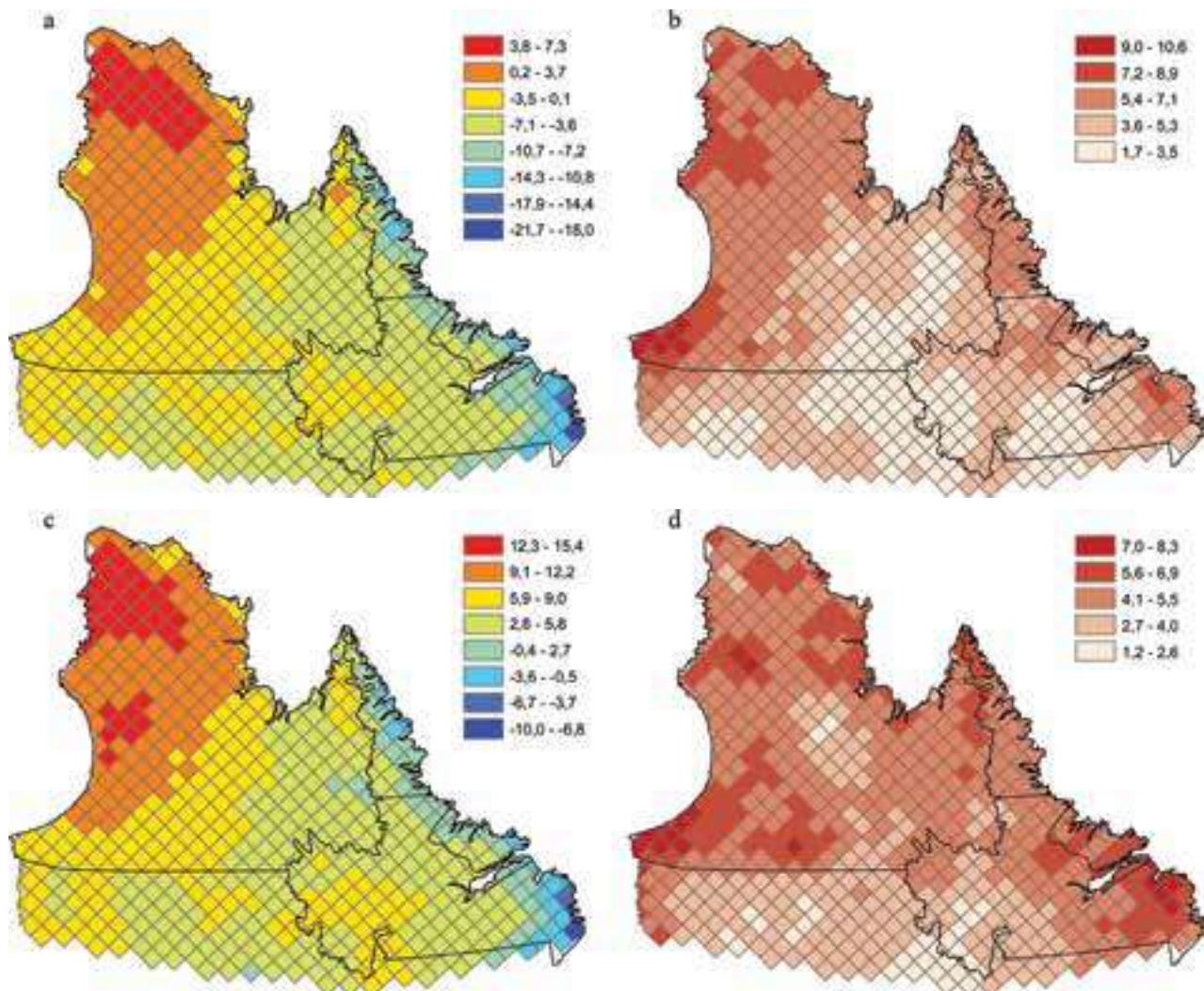


Figure A10. Changements moyens projetés exprimés en pourcentage a) de l'épaisseur de neige annuelle moyenne et c) de l'épaisseur de neige maximale annuelle et (b et d) écarts types pour les six simulations du MRCC pour 2050.

le nord du Nunavik. Dans la région centrale du Nunavik, il pourrait y avoir des changements dans l'épaisseur maximale de neige de l'ordre de 3 à 9 %. Pour les régions côtières du Nunatsiavut, les changements projetés par le MRCC indiquent une réduction de l'accumulation maximale de neige de 0 à 5 %. Les changements relativement faibles de NMax dans la région de l'IRIS concordent avec les résultats de 14 simulations de MCG analysés par Brown et Mote (2009) qui ne relèvent aucun consensus quant à des changements

importants des maximums annuels de l'épaisseur de neige mensuelle dans le nord du Québec d'ici 2050.

Selon les projections pour 2050, la durée moyenne de la saison de neige pourrait être réduite d'environ 10 à 25 jours, avec une date plus tardive (de 6 à 15 jours) de début d'enneigement (figure A11a), et une date plus hâtive de fin d'enneigement (de 2 à 10 jours) au printemps (figure A11c). Les diminutions les plus marquées de la saison de couverture de neige (> 20 jours)

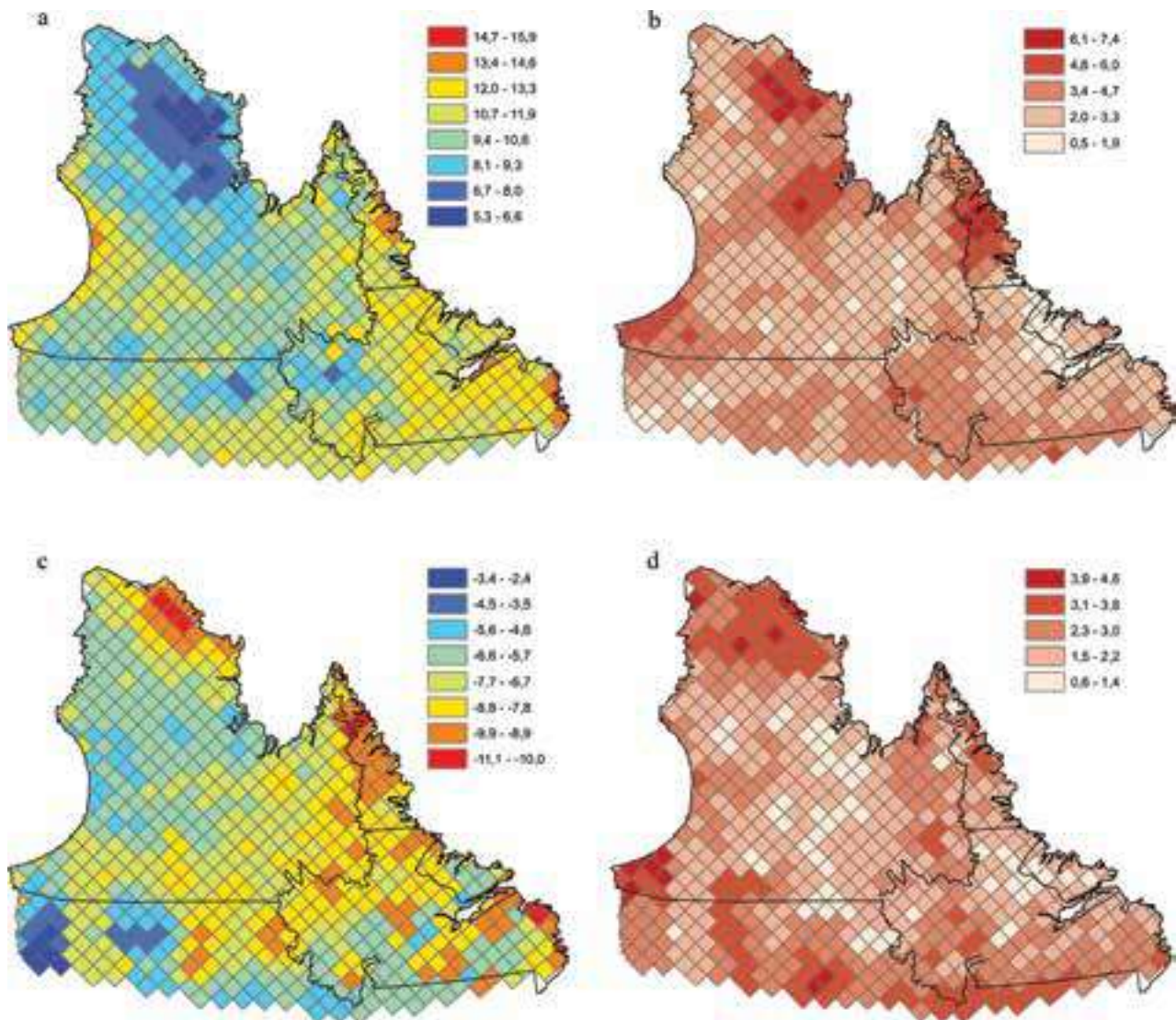


Figure A11. Changements projetés (jours) dans les dates de début et de fin d'enneigement à partir de six simulations du MRCC pour 2050 : a) date du début d'enneigement continu; c) date de fin d'enneigement continu; b et d) écarts types correspondants pour les six séquences. Les valeurs négatives (positives) indiquent des changements à des dates plus hâtives (plus tardives)

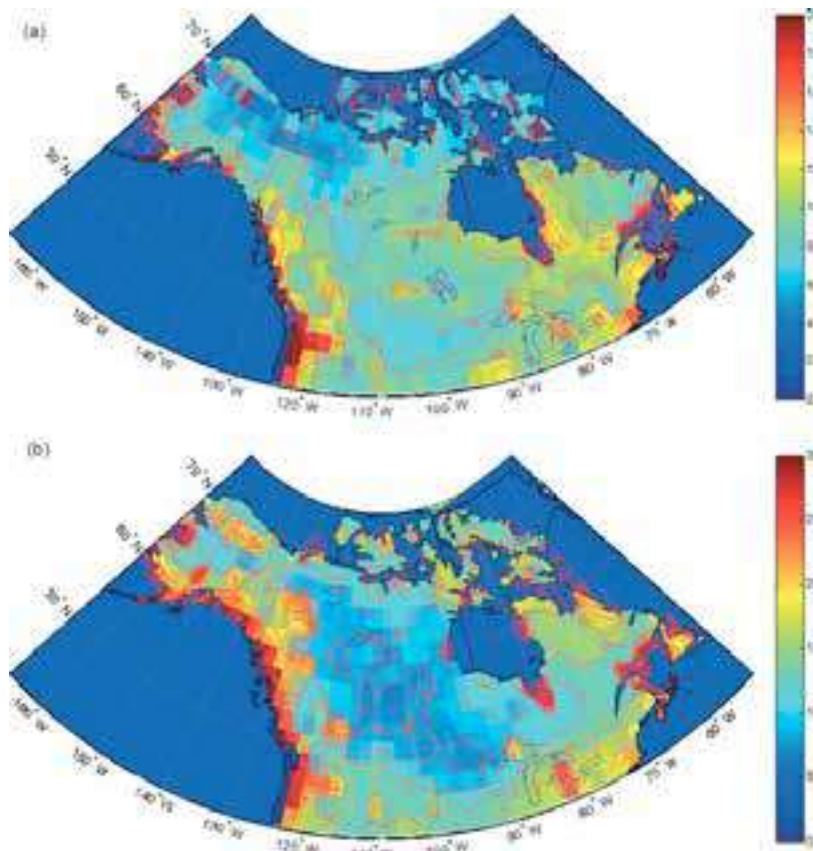
sont projetées pour les régions côtières du Nunatsiavut, près de la chaîne des monts Torngat et dans le nord du Nunavik entre Kangiqsujuaq et Quaqaq. Ces résultats sont conformes à l'analyse de Brown et Mote (2009) des projections des changements dans la durée annuelle d'enneigement (DE) obtenus à partir de huit simulations de MCG qui montraient un net consensus des modèles envers d'importantes réductions de la DE annuelle dans la majeure partie du nord du Québec d'ici 2050.

IV.IV Changements projetés dans la couverture de glace

Dumas *et al.* (2006) ont observé la réaction du régime des glaces de rives au réchauffement climatique avec une simple technique de réduction de l'échelle utilisant un modèle de glace de mer unidimensionnel. Cette approche utilise des projections de changement climatique futur superposées et

forcées selon des observations obtenues du modèle climatique mondial (CGCM2) du Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique. La méthode indiquait des diminutions dans l'épaisseur maximale de la glace de 30 cm et 50 cm, ainsi qu'une réduction de la durée de la couverture de glace dans plusieurs sites de l'Arctique, de 1 et de 2 mois d'ici 2041-2060 et 2081-21000 respectivement. Cependant, les projections indiquaient aussi de légères augmentations de l'épaisseur et de la durée de la glace à Cartwright, à cause de la formation de glace de neige (ou glace blanche) due à la chute accrue de neige, ainsi qu'un léger refroidissement dans le nord-ouest de l'Atlantique. (Il est à noter que ce refroidissement n'est pas inclus dans les séquences du MCGG3 utilisées ici.) Dibike *et al.* (2011a) ont examiné la réaction en 2050 du régime de glace de lac en Amérique du Nord aux projections de changements climatiques d'après le modèle MyLake (Saloranta et Andersen 2007) alimenté par des données du CRCM4.2 d'après une simulation du CGCM3 selon le scénario d'émissions A2. Les

Figure A12. *Changements projetés dans la date moyenne a) d'englacement et b) de déglacement (les deux exprimés en jours) entre les périodes du climat actuel (1961–1990) et futur (2041–2070) pour un lac hypothétique de 20 m de profondeur, d'après le modèle MyLake à l'aide des données du MRCC4.2 basées sur le MCGG en fonction du scénario d'émission SRES A2. Il est à noter que la légende des couleurs de la figure b) devrait indiquer des nombres négatifs pour correspondre aux lignes de contour de la figure. Source : Dibike et al. (2011a).*



résultats de Dibike *et al.* (2011a) pour les changements projetés pour l'englacement et le déglacement des lacs (figure A12 a,b) montrent un englacement se produisant de 8 à 12 jours plus tard et un déglacement se produisant de 14 à 20 jours plus tôt dans la région de l'IRIS du Nunavik-Nunatsiavut. Toutefois, les répartitions spatiales sont assez différentes, les changements les plus marqués dans l'englacement étant concentrés le long du littoral est de la baie d'Hudson et les changements

les plus marqués dans le déglacement étant concentrés au nord du Nunatsiavut (cette répartition concorde avec les résultats obtenus pour les changements projetés de la date de début et de fin de l'été illustrés à la figure A5). La simulation MYLAKE des changements projetés dans l'épaisseur maximale de glace (figure A13a) montre que les diminutions les plus marquées seraient situées dans les régions côtières du nord de la région de l'IRIS. Les changements simulés dans

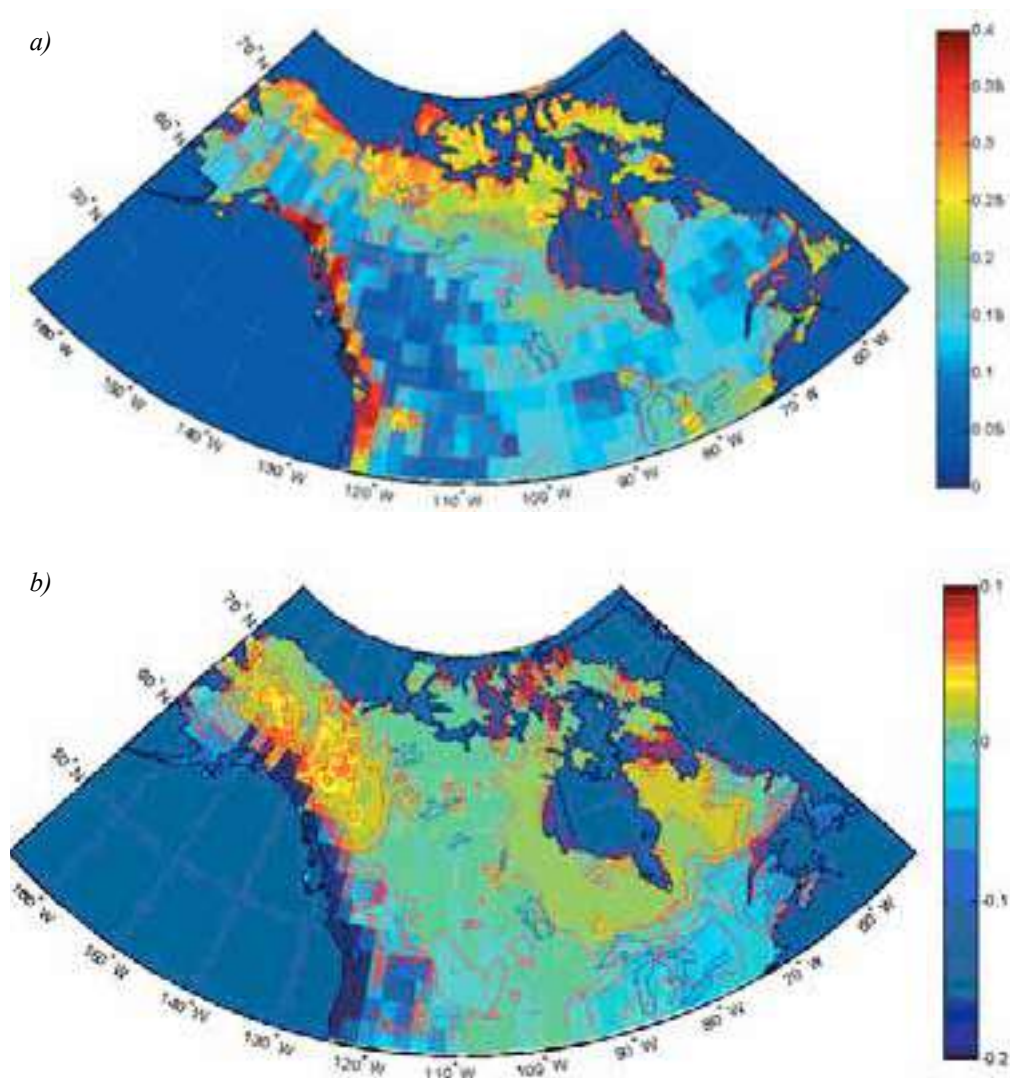


Figure A13. a) Diminutions projetées de l'épaisseur de glace maximale annuelle moyenne (en mètres) et b) changements projetés dans l'épaisseur de la glace blanche (en mètres) entre les périodes climatiques actuelles (1961-1990) et futures (2041-2070), pour un lac hypothétique de 20 m de profondeur, d'après le modèle MyLake à l'aide des données du MRCC basées sur le MCGG3 en fonction du scénario d'émission SRES A2. Source : Dibike et al. (2011a).

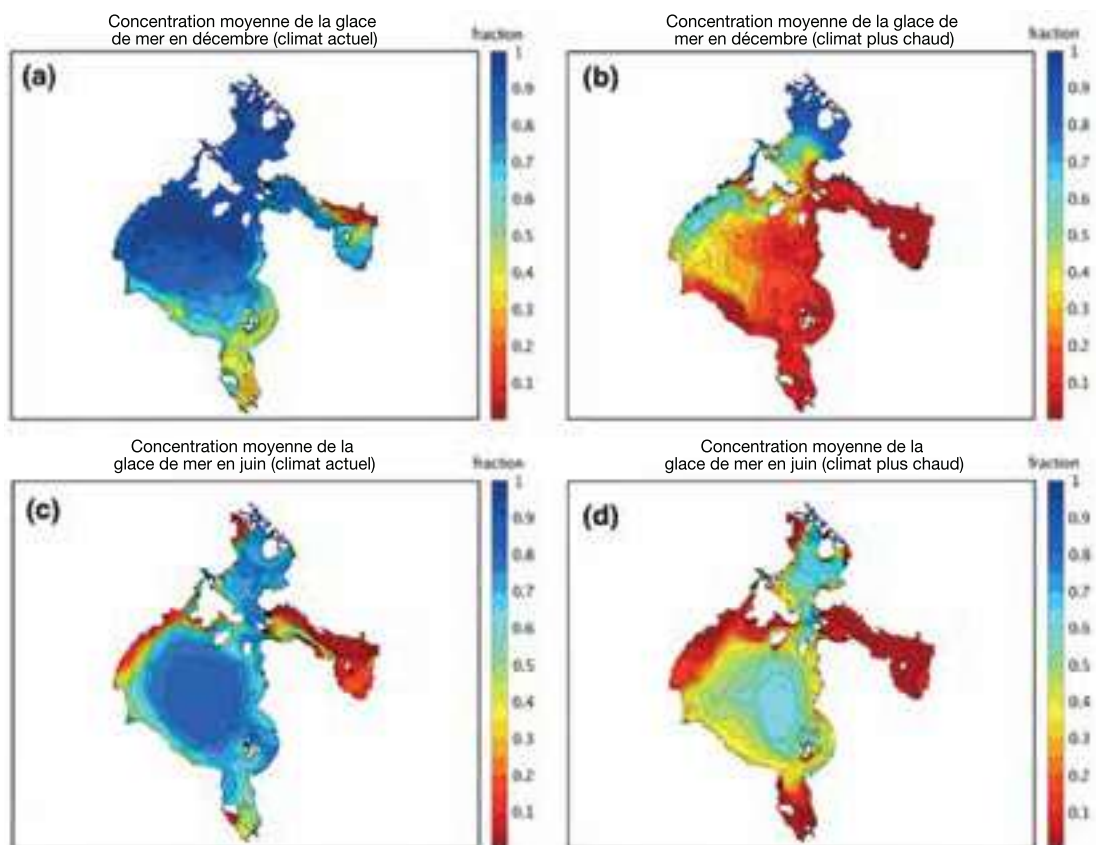
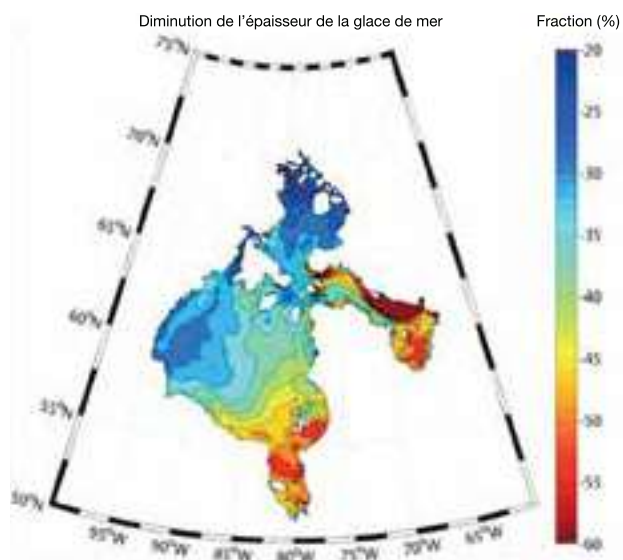


Figure A14. Simulation de la concentration moyenne actuelle de glace de mer en décembre (a) et juin (c) et simulation de la concentration moyenne de glace de mer pour 2050 (b) et (d), d'après les changements projetés de températures à échelle réduite du MCGG3 et un MCCR en fonction du scénario d'émission SRES A2. Source : Dibike et al. (2010).

la formation de la glace blanche (figure A13b) suggèrent de légères augmentations dans la majeure partie du Nunavik, les plus marquées étant dans le nord de la péninsule d'Ungava. Joly *et al.* (2010) ont examiné la réaction de la glace de mer au réchauffement climatique dans la baie d'Hudson à l'aide d'un modèle océanique régional de haute résolution conçu par Saucier *et al.* (2004) qui utilise les projections de changements de températures du MCGG3 selon le scénario SRES A2 dont la résolution a été réduite avec le MRCC. Les résultats des

Figure A15. Changements relatifs (%) de l'épaisseur de glace moyenne pour l'hiver (JFMA) pour 2050 d'après les changements de températures à échelle réduite du MCGG3; et MCCR en fonction du scénario d'émission SRES A2. Source : Joly et al. (2010).



changements projetés de concentration de la glace de mer (figure A14) et de l'épaisseur de la glace de mer (figure A15) suggèrent d'importantes réductions dans la quantité de glace hivernale hâtive dans toutes les régions côtières du Nunavik, avec les diminutions relatives les plus marquées de l'épaisseur de la glace dans l'est de la baie d'Hudson au nord de la baie James (à proximité du village de Kuujuarapik et aussi dans la baie d'Ungava, Kuujuaq).

V. Références

- Bourque, A., and Simonet, G. 2008. Quebec. In Lemmen, D. S., Warren, F. J., Lacroix, J., and Bush E. (Eds), *From impacts to adaptation: Canada in a changing climate 2007*, Government of Canada, Ottawa, ON, p. 171-226.
- Brown, L. C., and Duguay, C. R. 2010. The response and role of ice cover in lake-climate interactions. *Progress in Physical Geography*. p. 1-34:DOI: 10.1177/0309133310375653.
- Brown, R. D., and Mote, P. 2009. The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. *Journal of Climate*, 22:2124-2145.
- Caya, D., Laprise, R., Giguère, M., Bergeron, G., Blanchet, J. -P., Stocks, B. J., Boer, G. J., and McFarlane, N. A. 1995, Description of the Canadian Regional Climate Model. *Water, Air and Soil Pollution*, 82:477-482.
- Caya, D., and Laprise, R. 1999. A semi-implicit semi-Lagrangian regional climate model: The Canadian RCM. *Monthly Weather Review*, 127:341-362.
- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R. K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr A., and Whetton, P. 2007. Regional Climate Projections. In Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor M., and Miller H. L. (Eds), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- de Elia, R., Caya, D., Coté, H., Frigon, A., Biner, S., Giguère, M., Paquin, D., Harvey R., and Plummer, D. 2008. Evaluation of uncertainties in the CRCM-simulated North American climate. *Climate Dynamics*, 30:113-132.
- de Elia, R., and Côté, H. 2010. Climate and climate change sensitivity to model configuration in the Canadian RCM over North America. *Meteorologische Zeitschrift*, 4:325-339.
- Dibike, Y., Prowse, T., Bonsal, B., de Rhama L., and Saloranta, T. 2011a. Simulation of North American lake-ice cover characteristics under contemporary and future climate conditions. *International Journal of Climatology*, DOI:10.1002/joc.2300.
- Dibike, Y., Prowse, T., Saloranta T., and Ahmed, R. 2011b. Response of Northern Hemisphere lake-ice cover and lake-water thermal structure patterns to a changing climate. *Hydrol. Proc.*, 25, 2492-2953,
- Dorsaz, F. 2008. Évaluation des simulations du couvert nival sur le Québec par les modèles MRCC 4.2.3 et GEMCLIM 3.3.0. Rapport de stage, Décembre 2008, Ouranos, 41 pp.
- Drobot, S., Stroeve, J., Maslanik, J., Emery, W., Fowler, C., and Kay, J. 2008. Evolution of the 2007-2008 Arctic sea ice cover and prospects for a new record in 2008. *Geophysical Research Letters*, 35:L19501, DOI:10.1029/2008GL035316.
- Dumas, J. A., Flato, G. M., and Brown, R. D. 2006. Future projections of landfast ice thickness and duration in the Canadian Arctic. *Journal of Climate*, 19:5175-5189.
- Flato, G. M., and Boer, G. J. 2001. Warming Asymmetry in Climate Change Simulations. *Geophysical Research Letters*, 28:195-198.
- Gagnon, A. S., and Gough, W. A. 2005. Trends in the dates of ice freeze-up and breakup over Hudson Bay, Canada. *Arctic*, 58:370-382.
- Hinkel, K. M., and Hurd, J. K. 2006. Permafrost destabilization and thermokarst following snow fence installation, Barrow, Alaska, USA. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 38:530-539.

Joly, S., Senneville, S., Caya, D., Saucier, F. J. 2010. Sensitivity of Hudson Bay Sea ice and ocean climate to atmospheric temperature forcing. *Climate Dynamics*, 36, 1835-1849, DOI: 10.1007/s00382-009-0731-4.

Jones, R. N. 2000. Managing uncertainty in climate change projections: issues for impact assessment, *Climatic Change*, 45:403-419.

Jungclaus, J. H., Botzet, M., Haak, H., Keenlyside, N., Luo, J. -J., Latif, M., Marotzke, J., Mikolajewicz, U.,

and Roeckner, E. 2006. Ocean circulation and tropical variability in the AOGCM ECHAM5/MPI-OM. *Journal of Climate*, 19:3952-3972.

Laprise, R. 2008. Regional climate modelling. *Journal of Computational Physics*, 227:3641-3666.

L'Hérault, E. 2009. Contexte climatique critique favorable au déclenchement de ruptures de mollisol dans la vallée de Salluit, Nunavik. M.Sc. Thesis, Université Laval, Québec City, Québec, 140 pp.

Logan, T., Charron, I., Chaumont, D., Houle, D. 2011. Atlas de scénarios climatiques pour la forêt québécoise. Ouranos et MRNF. 55p +annexes. http://www.ouranos.ca/media/publication/162_AtlasForet2011.pdf

Mearns, L. O., Hulme, M., Carter, T. R., Leemans, R., Lal, M., and Whetton, P. 2001. Climate scenario development. In Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C.A. (Eds), *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge and New York, p. 739-768. Available on line: <http://www.ipcc.ch> (Chapter 13 of the IPCC WG1 Assessment).

Meehl G. A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J. F. B., Stouffer, R. J., and Taylor, K. E. 2007. The WCRP CMIP3 Multimodel Dataset: A New Era in Climate Change Research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88:1383-1394, DOI:10.1175/BAMS-88-9-1383.

Mitchell T. D., and Jones, P. D. 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*, 25:693-712.

Music, B., and Caya, D. 2007. Evaluation of the Hydrological Cycle over the Mississippi River Basin as Simulated by the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *Journal of Hydrometeorology*, 8:969-988.

Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T. Y., Kram, T., Lebre La Rovere, E., Michaelis, L., Mori,



- S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H. H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., and Dadi, Z. 2000. Special report on emissions scenarios, Intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, 612 pp.
- Paquin, D., 2010. Évaluation du MRCC4 en passé récent (1961-1999). Ouranos, Équipe Simulations climatiques. Rapport interne no. 15, octobre 2010, 61 pp.
- Plummer, D. A., Caya, D., Frigon, A., Cote, H., Giguere, M., Paquin, D., Biner, S., Harvey, R., and De Elia, R. 2006. Climate and climate change over North America as simulated by the Canadian RCM. *Journal of Climate*, 19:3112-3132.
- Putkonen, J., and Roe, G. 2003. Rain-on-snow events impact soil temperatures and affect ungulate survival. *Geophysical Research Letters* 30:1188, DOI:10.1029/2002GL016326.
- Rennert, K. J., Roe, G., Putkonen, J., and Bitz, C. M. 2009. Soil Thermal and Ecological Impacts of Rain on Snow Events in the Circumpolar Arctic. *Journal of Climate*, 22:2302-2315.
- Roeckner, E., Bäuml, G., Bonaventura, L., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kirchner, I., Kornbluh, L., Manzini, E., Rhodin, A., Schlese, U., Schulzweida, U., and Tompkins, A. 2003. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part 1: model description. Max Planck Institute for Meteorology Report No. 349, Hamburg, November 2003, 140 pp. Available on line: www.mpimet.mpg.de/fileadmin/models/echam/mpi_report_349.pdf
- Rowell, D. P. 2006. A demonstration of the uncertainty in projections of UK climate change resulting from regional model formation. *Climatic Change*, 79: 243-257.
- Saloranta, T.M. and T. Andersen, 2007. MyLake - A multi-year lake simulation model code suitable for uncertainty and sensitivity analysis simulations. *Ecological Modelling*, 207:45-60.
- Saucier F. J., Senneville S., Prinsenbergh S. J., Roy F., Smith G., Gachon P., Caya D., and Laprise R. 2004. Modelling the sea ice-ocean seasonal cycle in Hudson Bay, Foxe Basin and Hudson Strait, Canada. *Climate Dynamics*, 23:303-326.
- Scinocca, J. F., McFarlane, N. A., Lazare, M., Li, J., and Plummer, D. 2008. Technical Note: The CCCma third generation AGCM and its extension into the middle atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8:7055-7074.
- Sharma, S., Couturier, S., and Cote, S. D. 2009. Impacts of climate change on the seasonal distribution of migratory caribou. *Global Change Biology*, 15:2549-2562.
- Tews, J., Ferguson, M. A. D., and Fahrig, L. 2007. Potential net effects of climate change on High Arctic Peary caribou: Lessons from a spatially explicit simulation model. *Ecological Modelling* 207: 85-98.
- Tyler, N. J. C., Forchhammer, M. C., and Oritsland, N. A. 2008. Nonlinear effects of climate and density in the dynamics of a fluctuating population of reindeer. *Ecology*, 89:1675-1686.
- USACE 2002. Engineering and Design: Ice Engineering. U.S. Army Corps of Engineers Engineer Manual 1110-2-1612, <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-1612/toc.htm>
- Verseghy, D. 2000. The Canadian land surface scheme (CLASS): Its history and future. *Atmosphere-Ocean*, 38:1-13.
- Williamson, C. E., Saros, J. E., Vincent, W. F., and Smol, J. P. 2009. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54:2273-2282.



Chapitre 3. Enquête sur la santé et au-delà: Le Nunavik et le Nunatsiavut

Auteurs principaux

Éric Dewailly et Sandra Owens

Centre de recherche du Centre hospitalier universitaire de Québec, Québec, QC

Résumé

Dans le contexte d'une transition culturelle exacerbée par les changements climatiques, les Inuits des régions circumpolaires doivent s'adapter, et ce, sur de nombreux plans. Par définition, la capacité d'adaptation est influencée par l'état de santé. Le présent chapitre se fonde sur les résultats des enquêtes sur la santé effectuées en 2004 au Nunavik et en 2007-2008 au Nunatsiavut et aborde certains indicateurs précis de l'état de santé de ces deux populations. Les enquêtes sur la santé dressent non seulement le portrait de nombreux paramètres de la santé, mais elles permettent aussi de mieux comprendre certains facteurs clés sous-jacents qui contribuent aux problèmes de santé, comme les aliments et la nutrition, les facteurs de risque de maladies cardiovasculaires, les contaminants, les maladies infectieuses d'origine animale ou liées à l'eau de consommation et les blessures associées aux déplacements.

Les récentes données des indicateurs de santé présentent un piètre portrait de l'état de santé de la population du Nunavik, tandis que celle du Nunatsiavut s'en tire un peu mieux. Selon ces mesures, ces deux régions sont parmi les moins en santé du pays. Dans l'Inuit Nunangat (soit l'ensemble des quatre régions inuites), les jeunes hommes et les femmes matures risquent tout particulièrement de mourir prématurément. Les profils de mortalité diffèrent selon le sexe; les causes les plus importantes étant les blessures intentionnelles et non intentionnelles pour les hommes et les maladies chroniques pour les femmes. Les données relatives aux naissances indiquent peu de changement positif au fil du temps. Les inégalités en matière de santé observées chez ces populations constituent un problème de santé publique.

Les taux d'obésité sont élevés et en hausse (là où les données permettent la comparaison), tout comme l'incidence des maladies cardiovasculaires qui y sont associées. Cependant, pour un même niveau de facteurs de risque, les Inuits s'avèrent être en meilleure santé que les populations caucasiennes. Un ou plusieurs facteurs protecteurs semblent être en jeu, notamment la consommation d'acides gras d'origine marine dont les effets bénéfiques semblent se multiplier. Cette protection serait toutefois mise en péril par la transition alimentaire qui s'opère dans les populations inuites, par les changements environnementaux et par la disponibilité et la qualité des acides gras d'origine marine.

De 1992 à 2004, on a observé des diminutions importantes des concentrations moyennes de mercure, de plomb et de cadmium dans le sang des populations du Nunavik. Toutefois, pour une grande proportion des individus et tout particulièrement chez les femmes en âge de procréer, ces concentrations demeurent supérieures aux taux acceptables établis par Santé Canada. Des recherches de pointe visent à identifier les effets délétères de ces contaminants sur le développement des jeunes Inuits. Les résultats préliminaires indiquent que l'exposition en bas âge aux contaminants aurait des effets néfastes de longue durée sur les fonctions cognitives, mais que les acides gras auraient des effets positifs sur la fonction sensorielle et la mémoire.

Les résultats de l'enquête indiquent un taux élevé d'infection par *Toxoplasma gondii* chez les femmes du Nunavik, rendant un test nécessaire pendant la grossesse afin de protéger le fœtus. Les taux observés au Nunatsiavut étaient beaucoup plus faibles. Cependant, dans cette région on a constaté que l'exposition à la bactérie *Helicobacter pylori* était commune. Cette situation fait l'objet d'une étude dans la région désignée des Inuvialuit, étant donné les inquiétudes concernant son association avec le cancer de l'estomac.

Les interventions fondées sur la recherche – comme l'interdiction des gras trans au Nunavik ou la réduction substantielle des polluants organiques persistants qui se retrouvent dans l'environnement et dans les gens – ont bien fonctionné dans les régions où vivent les Inuits. Il est évident que la recherche et la surveillance demeurent essentielles pour mieux comprendre les éléments complexes associés aux déterminants de la santé. Il est nécessaire de poursuivre ces efforts en vue de résoudre les importantes inégalités actuelles en matière de santé.

3.1 Introduction

Le scénario de transition rapide qui s'opère dans toutes les régions inuites signifie que la capacité de s'adapter aux changements est essentielle pour le bien-être des Inuits. Toutefois, la capacité d'adaptation des gens dépend de leur état de santé, lequel selon la définition de Frankish *et al.* (1996) est [traduction] « la capacité des gens à s'adapter ou à réagir aux problèmes et changements survenant dans leur vie ou à les contrôler. » (Frankish *et al.*, 1996) L'état de santé est donc une mesure importante de la capacité d'une population à se développer de façon durable. C'est un élément central essentiel au soutien de la région, que ce soit dans le cadre des droits de la personne, des considérations écologiques ou économiques ou de questions de souveraineté.

Que savons-nous de l'état de santé des Inuits et de ceux qui résident au Nunavik ou au Nunatsiavut en particulier? Quelle orientation le développement des connaissances doit-il prendre afin de résoudre les inégalités évidentes

en matière de santé? L'état de santé est déterminé par une série de facteurs – ou déterminants, et notre compréhension de ceux-ci évolue constamment. En influençant les déterminants, on influence l'état de santé. Les changements climatiques influencent la santé de bien des façons dans les régions inuites, notamment en raison de leurs incidences sur la disponibilité, l'accessibilité et la qualité des aliments traditionnels; les risques et blessures associés aux déplacements; la présence d'agents infectieux dans l'eau ou les aliments; et les rapports avec le territoire et, par conséquent, la culture.

Le présent chapitre dresse un portrait des projets de recherche entrepris en association avec ArcticNet et qui ont déjà contribué à améliorer notre compréhension de l'état de santé et des déterminants de la santé pour ces deux populations qui n'ont pas le même accès aux services de santé et de surveillance en santé publique qu'au Sud et pour lesquelles les enquêtes sur la santé peuvent tout particulièrement être utiles. En 2004, 2007 et 2008, la composante canadienne de l'Étude internationale de la cohorte des Inuits a entrepris



son premier « volet » d'enquêtes sur la santé grâce à un brise-glace de la Garde côtière canadienne adapté aux activités de recherche d'ArcticNet. En 2004, 929 résidents des 14 villages côtiers du Nunavik ont participé à l'enquête *Qanuippitaa? Comment allons-nous?*, puis en 2007 et 2008, 1 902 résidents du Nunavut et des Territoires du Nord-Ouest et finalement 310 résidents du Nunatsiavut ont pris part à l'« Étude sur la santé des Inuits ». À l'heure actuelle, on dispose des résultats pour le Nunavik, alors que ceux pour le Nunatsiavut sont encore à l'état préliminaire. De plus, l'enquête *Qanuippitaa? Comment allons-nous?* constitue la deuxième vague de collecte de données pour la région du Nunavik, car les méthodes d'enquête étaient similaires à celles utilisées en 1992 pour l'Enquête Santé Québec auprès des Inuits du Nunavik, ce qui permet donc l'analyse des tendances dans le temps.

Ces projets et les nombreuses interactions entre scientifiques de diverses disciplines permettent encore d'acquérir des connaissances et de les approfondir. Au fur et à mesure que les données sont analysées sous différents angles, qu'elles sont mises en commun et évaluées de diverses façons, elles viennent éclairer des questions pertinentes pour les fonctionnaires, les organisations inuites et les habitants du

Nord. Le présent chapitre s'ouvre sur un aperçu de l'état de santé de ces deux populations en examinant les mesures ou indicateurs classiques. Les sections qui suivent mettent en lumière les constatations dégagées des enquêtes sur la santé.

3.2 Indicateurs de l'état de santé de la population

Les études qui calculent l'espérance de vie à la naissance pour les populations au sein des quatre régions inuites du Canada donnent un aperçu d'un des indicateurs de l'état de santé de la population les plus révélateurs. L'analyse des données de mortalité les plus récentes dont on dispose indique une tendance positive au cours de la période de 1989 à 2008 : l'espérance de vie au sein des quatre régions inuites est passée de 69,0 à 70,8 ans (figure 1, selon Peters, sous presse). Pour ce qui est de la différence qui existe entre l'espérance de vie des populations des régions inuites et celles du Canada dans son ensemble, les résultats donnent un message contradictoire. Les données indiquent une réduction de la différence dans l'espérance de vie au cours des périodes d'étude de 1996 à 2006 (ou 1994 – 2008) passant d'une différence de 13,6 ans pour

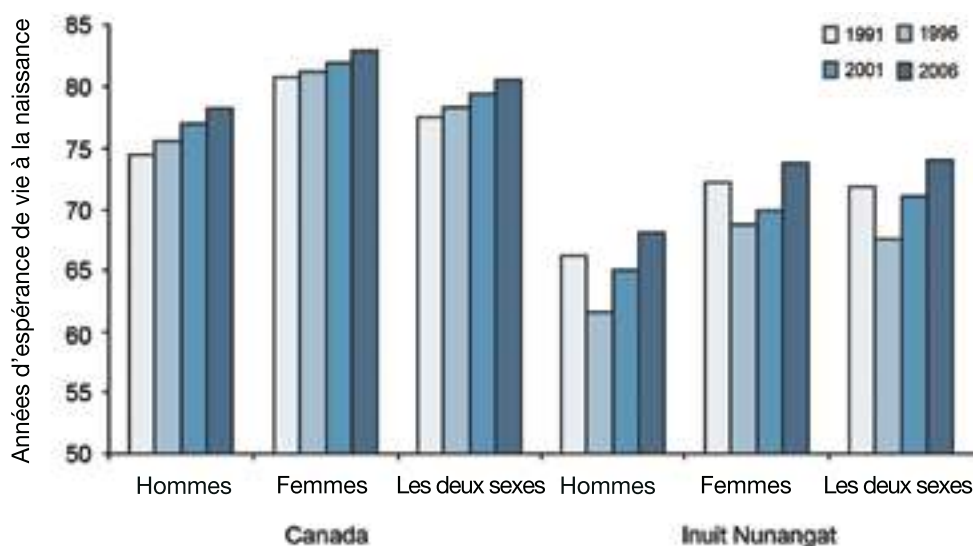


Figure 1. Espérance de vie à la naissance (1991-2006) au Canada et dans l'Inuit Nunangat.

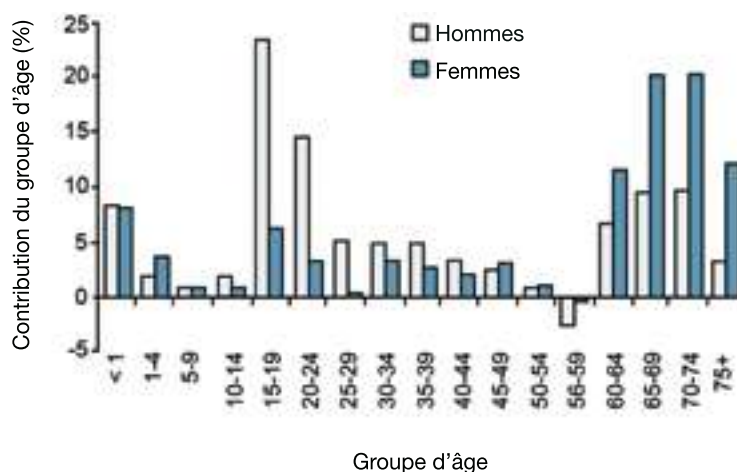


Figure 2. Contributions aux différences dans l'espérance de vie 1992-2003 selon le groupe d'âge (Canada et Inuit Nunangat). De Peters (2010).

les deux sexes à une différence de 9,8 ans. Toutefois, les trois périodes d'étude les plus récentes montrent toutes une plus grande différence dans l'espérance de vie que pour la toute première période d'étude effectuée de 1989 à 1993 qui est à 8,6 ans. Autrement dit, alors que la tendance récente montre qu'il y a eu des progrès dans la réduction des inégalités en matière de santé au sein des régions où vivent la plupart des Inuits, il n'y a pas eu de progrès net en comparaison de la fin des années 1980.

Pour ce qui est des différences entre les régions, des quatre régions inuites ce sont les populations du Nunavik et du Nunatsiavut qui ont la plus courte espérance de vie à la naissance (Wilkins *et al.*, 2008). Au Nunavik, le groupe des hommes est celui qui présente les plus grandes inégalités en matière de santé. Selon Wilkins *et al.* (2008), leur espérance de vie à la naissance est inférieure au seuil de 60 ans. À titre comparatif, au Canada en 1926 l'espérance de vie des hommes était de 60,5 ans (note : les calculs de l'espérance de vie pour ces deux populations d'hommes sont basés sur des structures d'âge et des contextes différents).

Dans une étude subséquente qui tentait d'établir les différences d'espérance de vie entre les régions où vivent les Inuits et le reste du Canada, Peters (2010) a constaté que les décès chez les hommes âgés de 15 à 24 ans représentaient

presque 40 % de la différence d'espérance de vie entre ces deux populations. Un autre pic dans l'histogramme des contributions aux différences d'espérance de vie (figure 2) est attribué au groupe des femmes de plus de 60 ans qui représentent un peu plus de 64 % de la différence d'espérance de vie des femmes; il est dû à ce que Peters (2010) appelle un « taux excessif de mortalité ». L'analyse de Peter laisse entendre que pour résoudre les inégalités en matière de santé, il faut une stratégie qui reconnaisse et comprenne comment et pourquoi les groupes des jeunes hommes et des femmes plus âgées des régions où vivent des Inuits ont un taux excessif de mortalité.

La figure 3 présente les cinq principales causes de décès des hommes et des femmes dans l'Inuit Nunangat (l'ensemble des quatre régions inuites), d'après les données statistiques vitales de 1999 à 2003. Ces taux de mortalité, corrigés en fonction des différentes distributions d'âge des populations inuites et canadiennes, indiquent que les blessures sont la principale cause de décès des hommes inuits, tout particulièrement la catégorie « suicides et blessures intentionnelles ». Pour les femmes, le profil est assez différent, car ce sont les maladies chroniques qui jouent un rôle plus important pour ce qui est des principales causes de décès identifiées. Sans surprise, pour les deux sexes et pour toutes catégories confondues, les taux de mortalité sont plus élevés dans l'Inuit Nunangat

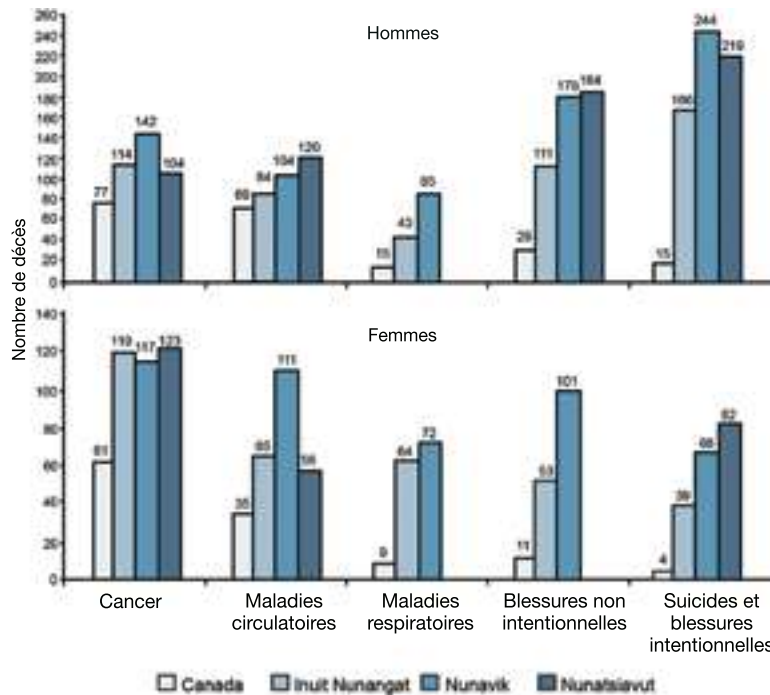


Figure 3. Principales causes de décès entre 1999 et 2003. Taux de mortalité normalisé en fonction de l'âge par 100 000 habitants. Source : Statistiques Canada.

que dans le Canada dans son ensemble. Les décès dus à des blessures, des accidents ou des suicides sont plus communs au Nunavik et au Nunatsiavut que dans l'ensemble de l'Inuit Nunangat (Statistiques Canada, n.a.). Le taux de mortalité infantile (TMI), mesuré comme étant le nombre de décès de nourrissons au cours de la première année de vie pour 1 000 naissances vivantes par année, est considéré comme étant un indicateur robuste de la santé d'une population (Reidpath et Allotey, 2003). Zhong-Cheng *et al.* (2010) ont entrepris une étude de cohorte des résultats des naissances pour les zones habitées par des Inuits sur une période de dix ans. Le TMI pour l'ensemble des régions habitées par des Inuits était substantiellement supérieur au TMI pour le reste du Canada (16,5 comparativement à 4,6). Le Nunavik présentait le TMI le plus élevé des quatre régions inuites (18,1); le Nunatsiavut et le Nunavut avaient des taux respectifs de 16,7 et 16,5 et l'Inuvialuit de 13,4 (figure 4). En ce qui concerne les tendances à long terme, les auteurs estiment que dans l'ensemble il y a eu peu de changement dans les résultats des naissances au cours de la période

d'étude. Ils croient que des changements dans les pratiques d'enregistrement des naissances, adoptés vers la fin de la période d'étude, expliqueraient la diminution apparente du TMI en faveur d'une augmentation des mortinaissances (non illustré). En matière de santé de la population, les données concernant les résultats des naissances indiquent que l'inégalité entre les Inuits et le reste du Canada est stable.

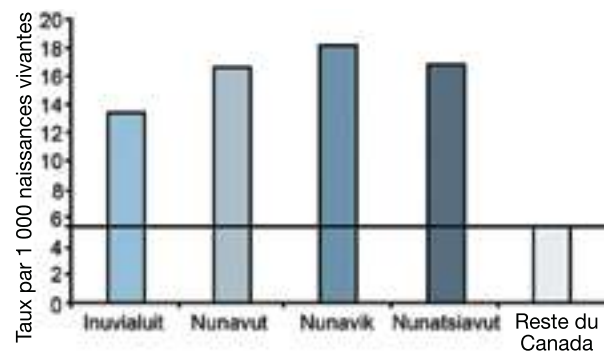


Figure 4. Mortalité infantile de 1990 à 2000. Adapté de Luo et al. (2010).



3.3 Résultats des enquêtes sur la santé des Inuits

3.3.1 Nutrition et maladies cardiovasculaires

Les résultats des enquêtes sur les cohortes inuites révèlent que les Inuits du Nunavik et du Nunatsiavut, selon certaines mesures, n'ont pas une très bonne alimentation (Blanchet et Rochette, 2008; Egeland, 2010). Leur régime alimentaire est riche en sucre et en sel, pauvre en calcium, magnésium, vitamines A, C et D et fibres, et il est carencé en fer. Les mesures cliniques traditionnelles du taux de gras corporel fournissent des renseignements inquiétants, bien que peu surprenants. Les taux d'obésité au Nunavik en 2004 étaient élevés, en particulier chez les femmes qui présentent de l'obésité abdominale (Château-Degat

et al., 2011). De plus, de 1992 à 2004 la prévalence de l'obésité et de l'obésité grave au Nunavik a augmenté de façon significative. On comptait proportionnellement plus de femmes et plus d'adultes âgés ayant un tour de taille présentant un risque pour la santé. C'est toutefois chez les hommes et les jeunes adultes que l'on a observé les augmentations les plus importantes de 1992 à 2004 (Dewailly *et al.*, 2007b). Au Nunatsiavut, 74 % des femmes et 35 % des hommes avaient un tour de taille pouvant entraîner des problèmes de santé (Egeland, 2010).

L'apport alimentaire en gras est reconnu pour son rôle important dans le développement de maladies chroniques ou dans leur prévention (Zhou *et al.*, sous presse). Le gras d'origine marine, comme celui des baleines, peut être un élixir très particulier permettant le maintien d'un profil lipidique qui offre une protection contre les maladies cardiovasculaires et qui comporte d'autres avantages pour la santé. Les chercheurs (Lucas *et al.*, 2010) ont trouvé que le gras de mammifère marin était celui qui contribuait le plus à un profil lipidique sain chez les Inuits du Nunavik, étant une riche source d'acides gras polyinsaturés n-3 à longue chaîne (oméga 3). Les effets positifs découverts jusqu'à présent incluent l'augmentation importante de



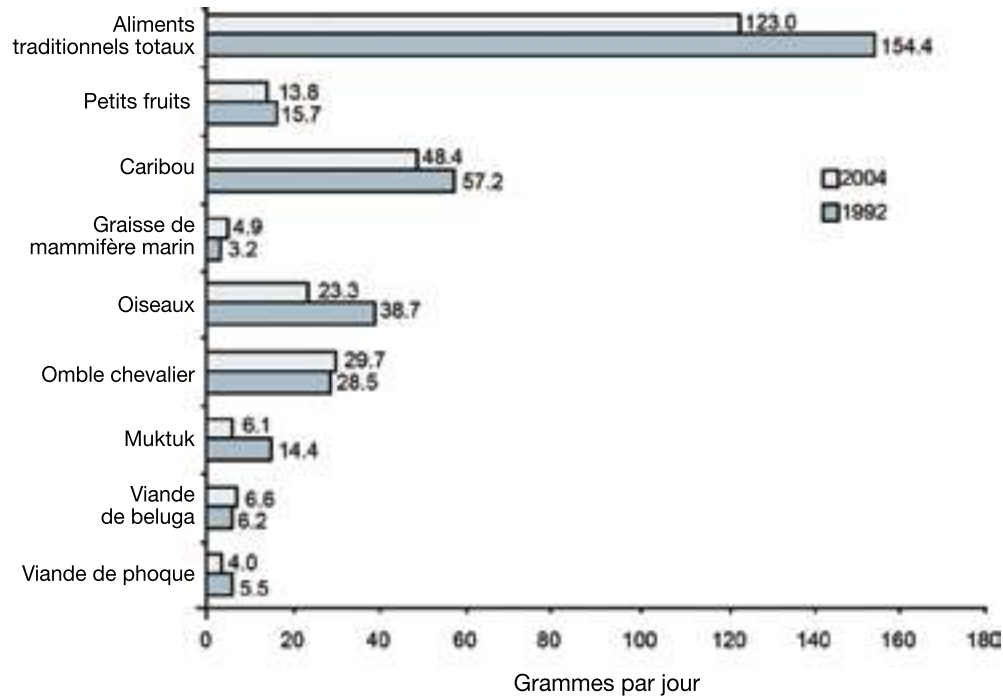


Figure 5. Comparaison de la consommation quotidienne d'aliments traditionnels chez les femmes inuites (estimée en 1992 et en 2004) au Nunavik, 2004. De Blanchette et Rochette (2008).

l'âge gestationnel à la naissance au Nunavik (Lucas *et al.*, 2004); des effets bénéfiques sur le fonctionnement du système visuel des enfants inuits d'âge scolaire (Jacques *et al.* ; 2011); une réduction possible de la détresse psychologique, surtout chez les femmes inuites (Lucas *et al.*, 2009); et on croit aussi que ce gras est un facteur important de protection contre le cancer de la prostate, tout comme l'est le sélénium (Dewailly *et al.*, 2003). Les chercheurs tentent de comprendre quel est le facteur particulier qui a ainsi protégé les Inuits, malgré le fait que cette protection semble s'atténuer avec le temps et avec l'acculturation.

Cette atténuation peut être due au fait que les Inuits consomment moins de gras d'origine marine et aussi à la possibilité que la qualité de ce gras ne soit plus la même qu'avant. En ce qui concerne la diminution de la consommation de gras d'origine marine, elle est associée à la transition vers un régime alimentaire de

type occidental, avec des aliments importés au Nord (note : le gouvernement fédéral a récemment annoncé le remplacement de son Programme Aliments-poste par Nutrition Nord Canada pour s'assurer d'offrir plus d'aliments nourrissants subventionnés dans toutes les communautés nordiques.) D'autres facteurs interfèrent aussi avec les activités traditionnelles, comme l'emploi et les considérations de nature financière. En comparant les résultats des enquêtes sur la santé effectuées en 1992 et 2004 au Nunavik, on obtient de l'information sur les tendances dans le temps. En gros, il y a eu diminution de la consommation totale des viandes traditionnelles entre les deux périodes d'étude, passant de 154 à 124 grammes par jour environ, et cette baisse est partiellement attribuée aux changements dans la consommation de mammifères marins (figure 5, Blanchet et Rochette, 2008). En effet, dans une analyse des profils lipidiques des Inuits du Nunavik, mesurés dans des échantillons sanguins récoltés en 1992 et en 2004, Proust (en préparation) a constaté que

Tableau 1. Comparaison des concentrations moyennes relatives d'acides gras (% d'acides gras totaux) dans les phospholipides plasmatiques chez les Inuits du Nunavik, en 1992 et en 2004.

ACIDES GRAS	TOUS LES ÂGES	
	1992 (N=424) MOYENNE ± ET	2004 (N=462) MOYENNE ± ET
EPA	3,34 ± 2,80	1,84 ± 2,06
DHA	5,23 ± 2,05	4,15 ± 1,94
EPA + DHA	8,57 ± 4,47	5,99 ± 3,71
DPA	1,36 ± 0,52	1,08 ± 0,45
ALA	0,16 ± 0,08	0,22 ± 0,16
LA	18,41 ± 4,42	22,08 ± 4,08
AA	6,22 ± 1,83	5,60 ± 1,67
EPA/AA	0,57 ± 0,51	0,33 ± 0,36
n-3 PUFA	10,40 ± 4,86	7,38 ± 4,02
n-6 PUFA	21,60 ± 4,80	30,83 ± 3,89
n6:n3	2,87 ± 2,06	5,78 ± 3,84
SFA	40,27 ± 2,83	43,84 ± 1,78

EPA = acide eicosapentanoïque; DHA = acide docosahexanoïque; PUFA, acides gras polyinsaturés à longue chaîne; PUFA, acides gras polyinsaturés; SFA = acides gras saturés.

la proportion des acides gras polyinsaturés n-3 (oméga-3) dans les acides gras totaux était passée d'environ 10 % en 1992 à environ 7 % en 2004 (tableau 1).

Bon nombre des aliments de « remplacement » regorgent d'acides gras saturés et de gras trans qui donnent de la stabilité et une durée de conservation prolongée aux aliments. Les gras trans ou acides gras trans proviennent principalement des huiles végétales hydrogénées commerciales et aussi du gras dans les produits laitiers et les viandes. Ils sont associés à un risque accru de maladie cardiovasculaire et de certains cancers. Vu ces risques, certains pays ont imposé des limites maximales dans les aliments produits industriellement afin de restreindre l'exposition à ces gras (Counil *et al.*, sous presse). Une étude (Counil *et al.*, 2008) visant à comparer les taux de gras trans et d'oméga-3 chez les Inuits du Nunavik et du Groenland a révélé que les Inuits du Nord du Québec ont

des taux de gras trans trois fois plus élevés que les Inuits du Groenland, comme l'illustre la figure 6. De plus, ces taux étaient associés à des profils lipidiques sanguins problématiques chez les hommes du Nunavik (Counil *et al.*, 2009). Ces constats ont suscité la mise en place d'une stratégie d'intervention qui a incité la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik (RRSSN) à adopter en janvier 2009 la résolution de soutenir une campagne dynamique contre l'importation d'aliments contenant des gras trans (Counil *et al.*, sous presse).

En ce qui concerne la qualité des gras d'origine marine, il faudra effectuer d'autres recherches pour mieux comprendre les modifications qui se produisent dans les écosystèmes arctiques et subarctiques en réaction aux changements climatiques. Les chercheurs ont émis l'hypothèse que la chaîne trophique marine de l'Arctique réagira aux changements climatiques en ajustant tout son profil d'espèces, jusqu'aux plus petits organismes trouvés à la base de la chaîne alimentaire. Plus précisément, les scientifiques prédisent le remplacement de la flore et de la faune spécifique à la région par des organismes moins spécialisés des océans Atlantique et Pacifique (p. ex., Tynan et DeMaster, 1997; Barber *et al.*, 2006). Ce remplacement aurait probablement tendance à se faire au profit d'espèces moins riches en gras, ce qui aurait un impact sur le régime alimentaire traditionnel des Inuits.

En ce qui a trait aux maladies chroniques et à la nutrition, les documents publiés caractérisent de paradoxale la santé des Inuits : d'une part les scientifiques disent qu'il risque d'y avoir une épidémie continue de maladies chroniques causées principalement par l'abandon progressif du mode de vie traditionnel et l'adoption de l'alimentation occidentale (p. ex., Blanchet et Rochette, 2008), et d'autre part, ils sont nombreux à invoquer la présence d'un facteur de protection prévenant l'apparition prévue de ces maladies (p. ex., Bjerregaard et Young, 1998). Les études sur les taux d'obésité, les marqueurs de la santé cardiovasculaire (comme la tension artérielle et les taux de lipides) et les taux de maladies pointent tous dans une même direction. Les Inuits sont aussi obèses que les

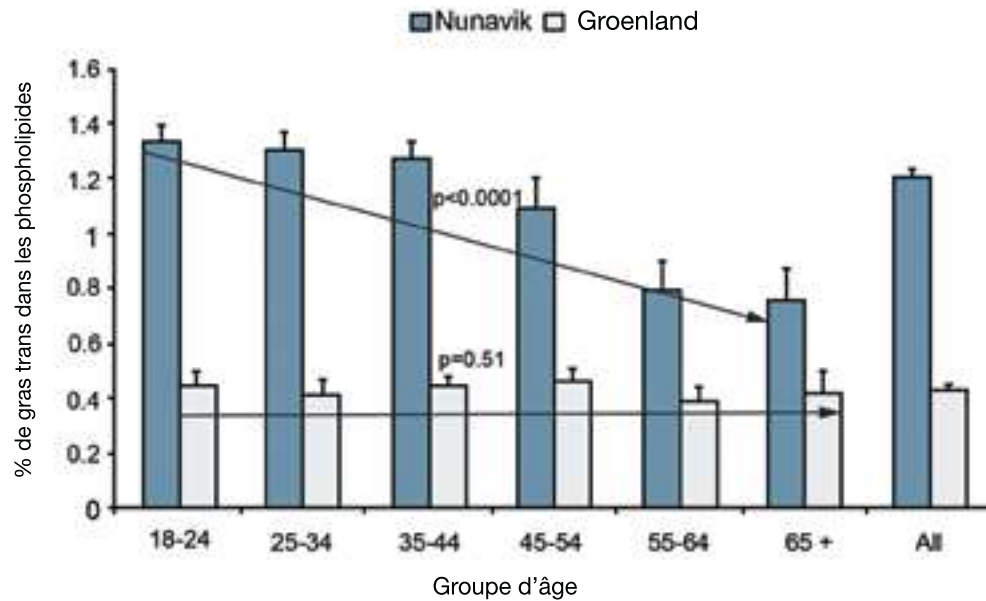


Figure 6. Proportion relative des acides gras trans dans les phospholipides des membranes des globules rouges selon le groupe d'âge, dans les populations inuites du Nunavik (Canada) et du Groenland (Danemark). Adapté de Counil et al. (2008).

Nord-Américains (Young *et al.*, 2007; Château-Degat *et al.*, 2011) et leurs corps réagissent à cette obésité par une augmentation des mesures métaboliques comme la tension artérielle (Bjerregaard *et al.*, 2003) et des taux de lipoprotéines de haute densité (LHD), mais cette réaction n'est pas aussi marquée que chez d'autres populations (Young *et al.*, 2007). Les chercheurs (Château-Degat *et al.*, 2011) ont trouvé que malgré le taux élevé d'obésité abdominale, ou de répartition centrale de la graisse, les Inuits du Nunavik participant à l'enquête ont eu de bons résultats pour ce qui est des indicateurs connus de risque de maladies cardiovasculaires, comme la tension artérielle ou les LHD (cholestérol). Les auteurs suggèrent même que cette étude indiquerait la présence d'individus obèses, mais en santé, représentant un « phénotype » qui serait résistant au développement du diabète et des maladies cardiovasculaires, et que les femmes tout particulièrement seraient moins affectées par la graisse abdominale. En outre, il a été établi que les oméga-3 sont de toute évidence associés à cet avantage (Dewailly *et al.*, 2003a).

Autrement dit, pour le même taux d'obésité, les Inuits sont en meilleure santé que les populations de race blanche. Mais ils ont tout de même des maladies cardiovasculaires et du diabète, et ces taux s'apparentent à ceux constatés dans les populations de race blanche (Château-Degat *et al.*, 2010). Château-Degat *et al.* (2010) ont constaté, par le biais d'une analyse des résultats d'enquête et d'autres renseignements provenant de dossiers médicaux, que la prévalence de certaines maladies cardiovasculaires chez les Inuits du Nunavik atteint les niveaux constatés dans la population canadienne. Les auteurs s'appuient sur le fait que lorsque l'on considère le spectre des maladies cardiovasculaires (ajusté selon l'âge), c'est au Nunavik que les taux de mortalité associés à l'ensemble des maladies cardiovasculaires sont les plus élevés, comparativement à d'autres régions de la province de Québec (INSPQ). Le taux élevé de tabagisme chez les Inuits peut aussi être un facteur de risque contribuant aux maladies cardiovasculaires.

Les études ont cerné de nombreuses différences dans les populations inuites en ce qui a trait aux profils

lipidiques (Counil *et al.*, 2008; Zhou *et al.*, 2010), aux taux d'obésité et aux marqueurs métaboliques de la santé cardiovasculaire, ce qui vient conforter le constat que la santé des Inuits est aussi vulnérable que celle de toute autre population aux changements en matière de régime alimentaire, de mode de vie et d'autres déterminants.

Le régime alimentaire en transition des Inuits a cela de particulier qu'à l'origine (le régime alimentaire historique des Inuits) il était riche en acides gras polyinsaturés et en minéraux, alors que le régime de remplacement est plutôt riche en acides gras trans. La consommation de gras aux deux extrémités du continuum de gras – soit de particulièrement bon à particulièrement mauvais – justifie la nécessité de surveiller de près la situation.

En plus de cette série de questions complexes à intégrer, il faut également tenir compte de l'impact du méthylmercure sur le système cardiovasculaire. En plus de ses effets connus sur le système nerveux central, de récentes recherches ont démontré ses effets néfastes sur la santé cardiovasculaire. Valera *et al.* (2009) ont établi que la présence de mercure dans le sang des Inuits du Nunavik est associée à une hausse de la tension artérielle et différentielle. De plus, ce que l'on signale pour la première fois dans une cohorte adulte, il semble que le

mercure pourrait réduire la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC), un important indicateur associé à de nombreux problèmes cardiaques et causes de mortalité. Les taux de mercure chez les Inuits, tels que mesurés dans le cadre de l'enquête *Qanuippitaa? Comment allons-nous?*, sont en baisse, mais pour une grande partie de la population ils demeurent encore supérieurs aux taux sécuritaires recommandés (Dewailly *et al.*, 2007). De plus, ces taux sécuritaires recommandés ne tiennent pas compte de cette nouvelle recherche. Plusieurs études signalent le fait que les jeunes Inuits mangent moins d'aliments traditionnels que leurs parents ou les aînés (p. ex, Blanchet et Rochette, 2008), ce qui ouvre la voie aux questions concernant la durabilité de la culture inuite traditionnelle et aux préoccupations relatives à la consommation de gras protecteur. Au Nunavik, deux enquêtes sur la santé, en 1992 et en 2004, ont indiqué la même tendance, mais elles permettent aussi l'observation qui suit : les jeunes gens de 1992 qui se sont retrouvés dans un groupe plus âgé en 2004 ont déclaré manger plus d'aliments traditionnels que la génération suivante d'Inuits. Selon cette observation, il y aurait un retour apparent ou une tendance vers l'adoption des coutumes culturelles des parents et des aînés avec l'âge. Zhou *et al.* (sous presse) ont analysé des échantillons de gras prélevés chez les Inuits participant à une enquête dans tout le Nord canadien et ils ont trouvé une forte association entre l'âge et les bons acides gras oméga-3 dans les régions de Baffin et de Kivalliq, au Nunavut. Les auteurs associent cette tendance de consommation avec l'âge à un état de transition alimentaire, tandis que pour d'autres communautés où les taux de bons acides gras étaient moins associés à l'âge, les auteurs suggèrent que la tendance alimentaire plus stable peut être le reflet du processus d'acculturation qui a fait son œuvre. On peut donc s'attendre à une stabilisation des taux de consommation d'aliments traditionnels chez les Inuits du Canada, mettant en lumière l'importance de s'efforcer de maintenir la qualité et la quantité de telles ressources dans des endroits où la terre arable est bien évidemment absente. De plus, il est coûteux d'envoyer des aliments par avion dans le Nord et cela contribue à l'empreinte de carbone de la région.



3.3.2 Insécurité alimentaire

On signale des niveaux importants d'insécurité alimentaire chez les populations du Nunavik comme celles du Nunatsiavut. Au Nunavik en 2004, près d'un quart des individus (24 %) ont dit avoir manqué de nourriture pendant le mois précédant l'enquête (Blanchet et Rochette, 2008). Au Nunatsiavut, selon les résultats récoltés dans les ménages, 46 % des ménages avec enfants vivaient de l'insécurité alimentaire, et près de 16 % de ces ménages déclaraient de graves pénuries d'aliments. Cela se compare au 9 % des ménages canadiens qui déclarent vivre de l'insécurité alimentaire de modérée à grave selon l'Enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes 2004 (Egeland, 2010). Le chômage, les faibles revenus, le coût élevé des aliments (Egeland, 2010), la non-disponibilité des aliments, la diminution de la consommation des aliments traditionnels et le manque d'information sur la nutrition et les choix alimentaires (Blanchet et Rochette, 2008) expliquent ces niveaux élevés d'insécurité alimentaire.

3.3.3 Contaminants environnementaux

L'exposition humaine aux contaminants environnementaux est un phénomène bien connu dans l'Arctique canadien. Les Inuits sont exposés à une pléthore de substances toxiques qui sont transportées des latitudes sud vers le nord par les courants océaniques et atmosphériques et subissent une amplification biologique dans les chaînes trophiques subarctiques et arctiques. Comme les Inuits ont un régime alimentaire constitué de grandes quantités de tissus de mammifères marins, de poissons et de gibier terrestre, ils sont plus exposés aux métaux et aux polluants organiques persistants (POP) que les populations qui vivent plus au sud. Les contaminants préoccupants sont notamment le mercure (Hg), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd). Chacun de ces métaux est associé à une foule d'effets néfastes pour la santé à des niveaux d'exposition associés à la pollution environnementale.

Les concentrations de cadmium, de mercure et de plomb mesurées dans les échantillons sanguins prélevés dans le

cadre de l'enquête *Qanuippitaa? Comment allons-nous?* indiquent une diminution importante des taux en 2004 comparativement aux données de l'enquête de 1992. Au cours de cette période, les concentrations sanguines moyennes de mercure ont diminué de 32 %, celles du plomb de 55 % et celles de cadmium de 22 % (Fontaine *et al.*, 2008). Néanmoins, chez une proportion importante des individus en général, et des femmes en âge de procréer tout particulièrement, les concentrations relevées sont encore supérieures aux niveaux acceptables établis par Santé Canada. Dans l'ensemble de la population, 36 %, 28 % et 9 % des individus avaient des concentrations sanguines qui dépassaient les recommandations établies par Santé Canada pour le cadmium, le mercure et le plomb, respectivement. Chez les femmes en âge de procréer, 35 %, 72 % et 2 % avaient des concentrations de cadmium, de mercure et de plomb qui excédaient les niveaux acceptables. Les résultats révèlent aussi que les concentrations sanguines de mercure observées augmentaient de façon significative avec la consommation de mammifères marins, tandis que les concentrations de cadmium étaient liées à l'usage du tabac (Dewailly *et al.*, 2007a).

Les polluants organiques persistants (POP), comme les polychlorodibenzoparadioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofuranes (PCDF), les biphenyles polychlorés (BPC) et les pesticides chlorés, sont des composés industriels qui s'accumulent dans les tissus adipeux, se retrouvent dans le lait maternel humain et peuvent traverser la barrière placentaire. Ils ont été associés à une foule de problèmes, dont le cancer, des effets néfastes sur des aspects du développement cognitif et sur les processus endocriniens et hormonaux, entre autres (Dewailly *et al.*, 2007).

De 1992 à 2004, on a constaté une diminution des concentrations sanguines (dans le plasma) de tous les POP classiques chez les Inuits. Comme le suggèrent certaines études sur le sujet, cette diminution est probablement attribuable à une réduction des contaminants dans l'environnement arctique, combinée à des changements

dans les habitudes alimentaires des Inuits. Néanmoins, en 2004, 11 % de la population générale et 14 % des femmes en âge de procréer avaient des concentrations de BPC qui dépassaient les niveaux acceptables établis par Santé Canada. Les concentrations de nouveaux contaminants préoccupants, mesurées pour la première fois en 2004, n'étaient pas élevées. La consommation d'aliments traditionnels ne s'est pas révélée être une source d'exposition à ces contaminants, à l'exception des perfluorooctanesulfonates (PFO), un produit chimique utilisé dans les produits d'imprégnation hydrofuges, antisalissures et imperméables aux graisses, le papier, les matériaux d'emballage, les tapis et carpettes, les tissus, etc. (Dewailly *et al.*, 2007c)

Les résultats d'une étude sur la tendance des contaminants détectés dans le sang de cordon des nourrissons inuits nés au Nunavik entre 1994 et 2001 (Dallaire *et al.*, 2003) reproduisent les tendances générales dégagées pour la population adulte et mentionnées précédemment. Les taux de mercure et de plomb avaient diminué considérablement, probablement dû à l'effet combiné de la diminution des concentrations de contaminants dans les aliments traditionnels et des changements dans les habitudes alimentaires (figure 7). Les tendances pour certains POP étaient nettement à la baisse, notamment pour les BPC, le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), le dichlorodiphényldichloroéthylène (DDE) et l'hexachlorobenzène (HCB), mais aucune tendance significative n'a été observée pour l'oxychlordan (figure 8).

Entre 1993 et 2001, deux études de cohortes de naissance ont été entreprises au Nunavik afin d'examiner les effets sur le développement de l'enfant de l'exposition aux contaminants en début de vie (Muckle *et al.*, 1998, 2001). Les évaluations effectuées pendant la première enfance et à l'âge préscolaire ont révélé des manques sur le plan de l'attention et de la fonction motrice liés à l'exposition au plomb (Després *et al.*, 2005; Plusquellec *et al.*, 2007, 2010) et de subtiles altérations sensorielles résultant de l'exposition au mercure et aux BPC (Saint-Amour *et al.*, 2006). Par

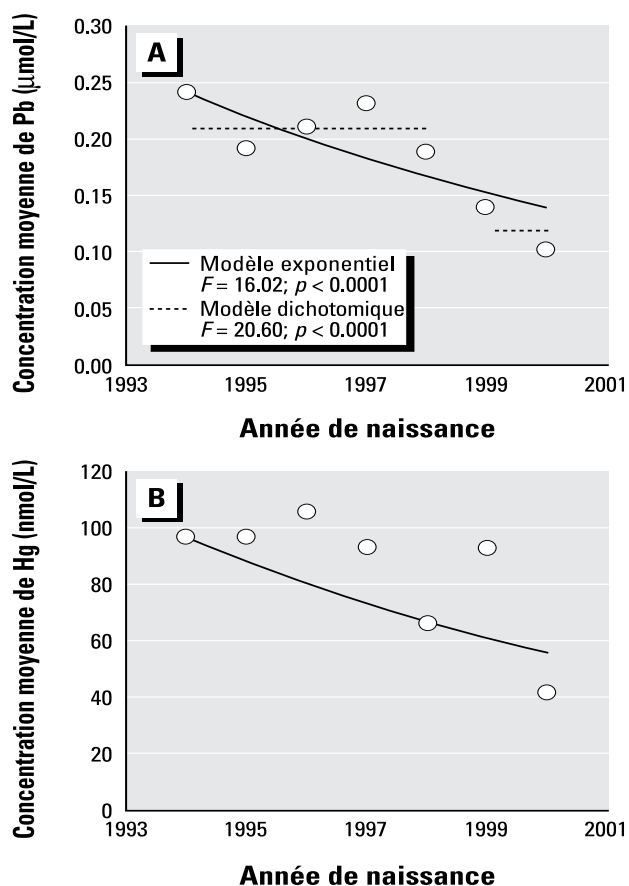


Figure 7. Concentrations moyennes ajustées de métaux lourds selon l'année de naissance pour A) le plomb et B) le mercure. Modifié de Dallaire et al. (2003).

contre, les acides gras polyinsaturés, également présents en grande quantité dans les espèces marines, étaient associés à des effets bénéfiques sur la fonction cognitive et la fonction visuelle des nourrissons (Jacobson *et al.*, 2008). Les deux cohortes ont récemment été combinées pour une évaluation à l'âge scolaire incluant près de 300 enfants. Bien que les données recueillies n'aient pas encore été entièrement analysées, les constats initiaux semblent indiquer que l'exposition aux contaminants en début de vie a des effets néfastes de longue durée sur la fonction cognitive et que les acides gras polyinsaturés ont des effets positifs sur les fonctions sensorielles et la mémoire (Boucher *et al.*, 2010, sous presse; Jacques *et al.*, 2011). Les effets de l'exposition aux contaminants sur le comportement des enfants à l'école

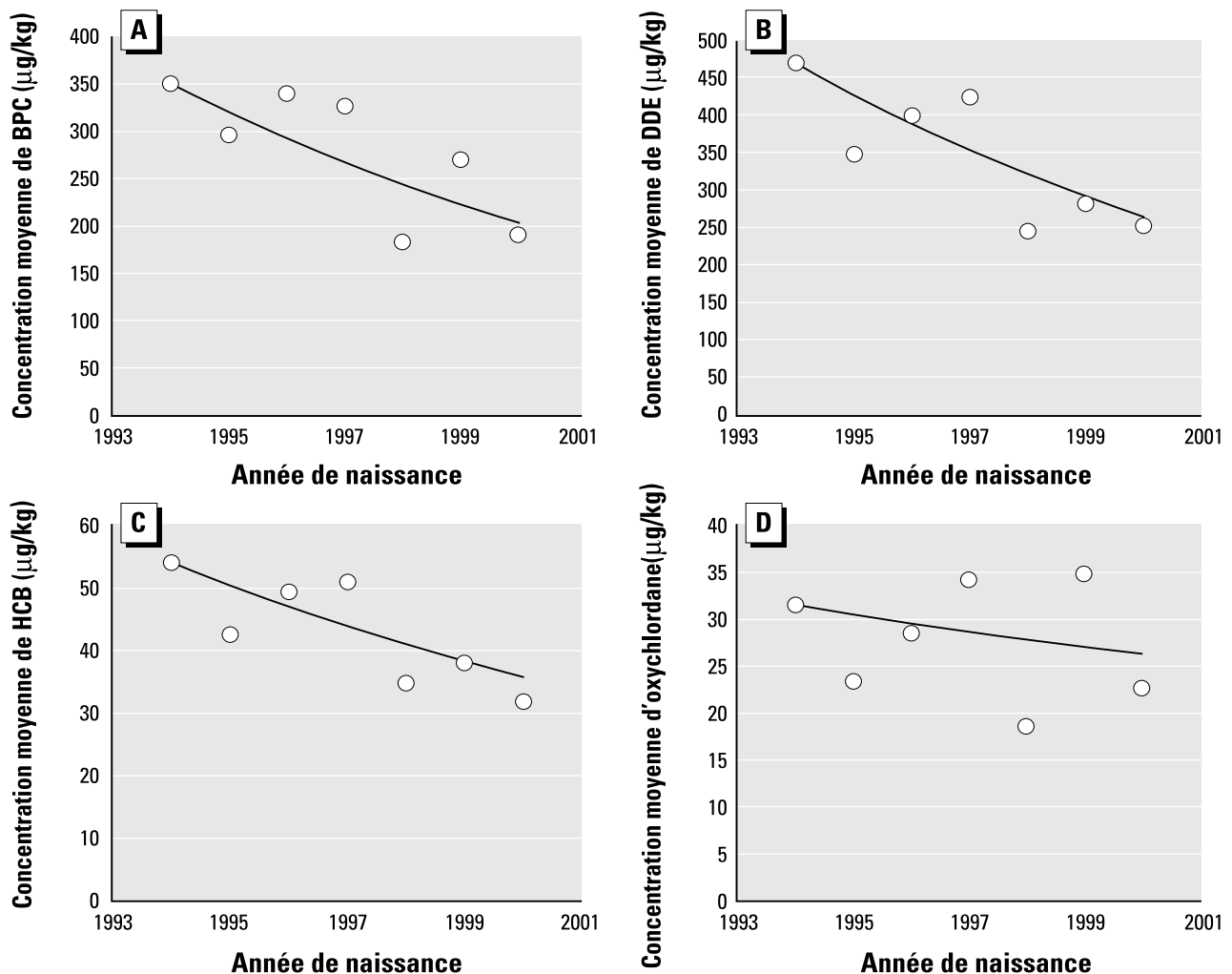


Figure 8. Concentrations moyennes ajustées d'organochlorés en fonction de l'année de naissance : A) BPC; B) DDE; C) HCB; D) oxychlordanes. De Dallaire et al. (2003).

ont également été évalués à partir de questionnaires remis aux enseignants; ils fourniront des renseignements clés sur les répercussions des déficiences cognitives attribuées aux contaminants sur le fonctionnement au quotidien.

La composante 2008 de l'Enquête sur la santé des Inuits a permis de recueillir des données de participants dans la région du Nunatsiavut. Les résultats ne sont toutefois pas encore disponibles. Ils contribueront de façon importante à décrire l'état de santé de cette population, car aucune autre activité de biosurveillance n'est en cours dans cette région (Owens *et al.*, 2009).

3.3.4 Les maladies infectieuses transmises par les animaux ou l'eau destinée à la consommation

Certaines des pratiques communes au Nunavik, comme la consommation d'eau non traitée, de poisson cru et de viande crue de mammifères marins et terrestres, peuvent favoriser l'exposition à divers microorganismes provoquant des maladies. Il existe peu de documentation concernant les zoonoses (les infections transmissibles des animaux à l'homme) chez les Inuits. Pour un certain nombre de ces maladies, on sait peu de choses sur la façon

dont elles sont transmises en milieu arctique. De plus, leur manifestation clinique ou leurs symptômes sont souvent non spécifiques et le diagnostic peut être extrêmement difficile à établir. Tous ces facteurs font en sorte qu'il est difficile de déterminer l'importance de ces infections dans les populations subarctiques (Messier *et al.*, 2007).

Dû à la présence de pergélisol et à l'absence de réseaux d'alimentation en eau, les méthodes de distribution d'eau potable et de gestion des eaux usées en cours au Nunavik sont bien différentes que dans le reste du Québec. Dans la plupart des villages inuits, l'eau potable provient de l'eau de surface non filtrée, mais chlorée, qui est distribuée quotidiennement par camions-citernes et entreposée dans des réservoirs à l'intérieur des maisons (Hodgins, 1997). Cependant, environ 30 % des Inuits utilisent encore de l'eau non traitée (Martin *et al.*, 2007). De plus, les eaux usées sont généralement rejetées à proximité des villages, dans des bassins prévus à cette fin et parfois elles sont épanchées directement sur le sol (Martin *et al.*, 2007). Ce scénario peut être propice à l'exposition aux maladies transmissibles par l'eau.

Près de 10 % des répondants de l'enquête *Qanuipiitaa? Comment allons-nous?* ont déclaré avoir souffert de gastroentérite dans le mois précédant l'enquête, et il s'agissait en majeure partie des groupes d'âge les plus jeunes et les plus vieux. Même si la façon de préparer les viandes, la promiscuité, la principale source d'eau consommée et le type de traitement d'eau utilisé dans la maison n'étaient pas associés aux épisodes de gastroentérite, le nettoyage fréquent du réservoir d'eau de la maison semble avoir un effet protecteur contre la transmission des infections gastro-intestinales (Messier *et al.*, 2007).

La séroprévalence désigne le nombre de personnes dans une population dont le résultat est positif au dépistage d'une maladie. On la mesure par la détection d'anticorps sanguins pour l'agent infectieux en question. Des échantillons sanguins prélevés chez des adultes âgés entre 18 et 74 ans ont donc permis de vérifier la présence

d'anticorps pour huit zoonoses (trichinose, toxocarose, échinococcose, brucellose, leptospirose, fièvre Q, toxoplasmose et tularémie). Bien que très peu de cas soient déclarés au Nunavik, cette vérification directe révèle que les Inuits sont en effet exposés à ces microorganismes qui provoquent des infections, tout particulièrement à *Toxoplasma gondii* (tableau 2). Messier *et al.* (2009) ont souligné que l'incidence des infections causées par *Toxoplasma gondii* au Nunavik est élevée (59,8 %) comparativement à bien des endroits dans le monde, et elle est très élevée en comparaison du reste de l'Amérique du Nord et même étonnamment élevée vu le faible niveau de risque environnemental anticipé au Nunavik d'après l'absence d'« hôtes réservoirs définitifs » dans la région, ce qui soulève des questions concernant cette dernière supposition. Les auteurs déclarent également que les données indiquent une augmentation de la séroprévalence en fonction de la latitude, c'est-à-dire plus on se déplace vers le sud (tableau 3). Une hypothèse suggère la possibilité d'un lien entre le climat et le taux de survie du parasite, alors que les températures plus chaudes et plus humides favoriseraient sa prolifération. Cependant, des facteurs indirectement liés au climat, comme les différences dans le régime d'alimentation des morses le long de l'axe nord-sud au Nunavik, pourraient également jouer un rôle dans les variations de la séroprévalence en fonction de la latitude.

Tableau 2. Séroprévalence (%) de divers agents infectieux dans la population inuite âgée de 18 à 74 ans, Nunavik, 2004. Adapté de Messier *et al.* (2007).

AGENTS INFECTIEUX	POSITIFS	NÉGATIFS
<i>Trichinella</i> sp.	F	98,9
<i>T. canis</i>	3,9	96,1
<i>E. granulosus</i>	8,3	91,7
<i>T. gondii</i> (%)	59,8	37,2
<i>Brucella</i> sp.	F	99,6
<i>C. burnetii</i>	F	99
<i>Leptospira</i> sp.	5,9	94,1
<i>F. talarensis</i>	18,9	81,1

F : estimé non fiable

Tableau 3. Séroprévalence de *Toxoplasma gondii* chez les résidents permanents au Nunavik – stratifiée par village selon un axe sud-nord; données pondérées, 2004 (n = 917). Adapté de Messier et al. (2009).

VILLAGES	MÉNAGES		INDIVIDUS (N)	SÉROPRÉVALENCE (%)	IC 95 %
	VILLAGE (N)	ÉCHANTILLON (N)			
Baie d’Hudson				65,6	61,5-69,7
Kuujuarapik	138	26	46	87,2 ^a	71,1-96,2
Umiujaq	77	19	33	82,2 ^a	66,5-92,6
Inukjuak	281	61	116	74,6 ^b	64,9-82,8
Puvirnituq	271	75	110	69,6	60,6-78,5
Akulivik	99	28	52	69,6 ^b	52,4-83,5
Salluit	210	47	109	37,9	30,6-45,1
Ivujivik	54	15	32	46,7 ^b	26,6-67,5
Baie d’Ungava				52,3	47,9-56,8
Kuujuuaq	441	104	158	44,3	36,5-52,0
Tasiujaq	53	13	19	71,3 ^a	45,4-89,8
Kangiqsualujjuaq	153	32	62	74,9 ^b	64,7-83,5
Aupaluk	36	10	19	57,1 ^b	33,4-78,6
Kangirsuk	93	28	48	58,0	44,8-71,2
Quaqtaq	70	16	24	34,1 ^b	18,1-53,1
Kangiqsujuaq	113	32	62	44,5	35,3-53,7

^a Écart type relatif > 33,3 %; précision insuffisante, estimé non fiable.

^b Écart type relatif entre 16,6 % et 33,3 % ; à interpréter avec prudence.

En outre, la séroprévalence était plus élevée chez les femmes que chez les hommes (62,8 % comparativement à 57,9 %, valeur *p* de 0,0476), peut-être à cause de leur proximité à de la chair crue lors des activités de préparation de la viande et des peaux. Puisque le principal impact de *Toxoplasma gondii* sur la santé est d’être une importante cause de mortalité et de morbidité du fœtus, l’exposition des femmes à ce parasite demeure un problème de santé publique. En effet, le Nunavik est le seul territoire au Canada disposant d’un programme de dépistage de *Toxoplasma gondii* chez les femmes enceintes (Lavoie et al., 2008). En comparaison, le dépistage au Nunatsiavut a révélé que seulement 8 % des participants avaient déjà été infectés par le parasite et on a observé peu de différence entre hommes et femmes (Egeland, 2010).

Pour les sept autres zoonoses, Messier et al. (2011) ont déclaré des taux de séroprévalence au Nunavik qui sont plus bas, variant de 8,3 % de la population exposée au parasite *Echinococcus granulosus* à des taux inférieurs à 1 %, notamment pour le parasite *Trichinella spiralis* (voir le tableau 2). Dans le cas de ce dernier agent zoonotique, les auteurs soulignent l’importance du Programme de prévention de la trichinose qui cible la consommation de viande de morse, traditionnellement consommée crue au Nunavik. Des échantillons des animaux récoltés sont testés dans un laboratoire régional et les résultats sont rapidement diffusés dans les communautés (Proulx et al., 2002). Depuis sa mise en oeuvre en 1992, les éclosions de trichinose ont été sporadiques et mineures. En général, on a constaté que la séropositivité pour les zoonoses augmente avec l’âge.

Au Nunatsiavut, les résultats obtenus pour d'autres parasites indiquent que l'exposition au sein de la population est rare, ce qui est conforme à ce que l'on a constaté au Nunavik. Dans le cadre de l'enquête effectuée au Nunatsiavut, des échantillons sanguins ont aussi été testés pour déterminer l'exposition à la bactérie *Helicobacter pylori*. Il s'agit d'une infection commune, 71 % de tous les participants ayant des résultats positifs pour cette bactérie. Étant donné sa transmission de personne à personne, on croit qu'elle serait associée aux logements surpeuplés (Egeland, 2010).

3.3.5 Blessures et sécurité lors des transports

En se modernisant, les villages arctiques et subarctiques ont adopté des modes de transport mécaniques qui sont adaptés à leurs terrains et à leurs conditions. Alors que dans les limites des villages on utilise certains véhicules motorisés traditionnels, comme des camions, ailleurs la plupart des déplacements sur de courtes et longues distances se font en motoneige ou en véhicule tout terrain (VTT). Les embarcations à moteur sont aussi un important moyen de transport pour les résidents des villages côtiers. En général, le profil d'accident pour les régions nordiques isolées se caractérise par un faible taux d'accidents de la route, mais un taux d'accidents liés aux motoneiges et aux embarcations qui est supérieur à ce qui est relevé dans les régions du sud (Légaré et Rochette, 2007). Les changements climatiques sont reconnus pour contribuer aux risques accrus des déplacements dans les régions nordiques, à cause des changements dans les conditions de neige, de glace et de météo (voir les changements climatiques au Québec nordique www.climatechange.krg.ca/)

Des 18 régions sanitaires de la province, c'est le Nunavik qui détient le taux le plus élevé d'hospitalisation due à des blessures non intentionnelles, et ce taux est plus du double que pour l'ensemble de la population (INSPQ, MSSSQ et ISQ; 2006). L'enquête *Qanuipiitaa? Comment allons-nous?* a recueilli de l'information sur les pratiques

de déplacement et les pratiques sécuritaires qui sont communes dans les régions isolées du nord : déplacements en motoneige, en bateau ou en VTT (voir le chapitre 5 pour plus de détails). En recueillant de l'information sur les circonstances entourant les blessures déclarées comme étant liées à des mesures de sécurité ou des comportements à risque, ces résultats peuvent informer les initiatives visant à prévenir de telles blessures. Ces résultats sont essentiels pour comprendre les blessures non intentionnelles au Nunavik et élaborer des initiatives visant à les prévenir.

Près de 4 % des résidents de tous âges de la région ont déclaré avoir subi au moins une blessure qui a restreint leurs activités normales dans les 12 mois précédant l'enquête *Qanuipiitaa? Comment allons-nous?* sans différence significative entre les taux de blessures relevés dans le cadre des enquêtes de 1992 et de 2004. Les hommes étaient plus à risque de se blesser que les femmes; les jeunes gens âgés de 15 à 29 ans avaient des taux de blessures plus élevés que les autres groupes d'âge. Il y avait une différence significative dans les taux de blessures déclarés dans les deux régions côtières du Nunavik, avec une prévalence plus élevée chez les résidents de l'Ungava que ceux du littoral de la baie d'Hudson. Fait intéressant à noter, on a observé une association importante entre le taux déclaré de blessures et le niveau relatif d'éducation, le taux de blessures le plus élevé étant noté chez les résidents ayant terminé leurs études secondaires ou davantage. Le taux de blessures était également élevé chez les enfants d'âge préscolaire et les étudiants. Les blessures surviennent, en ordre décroissant de fréquence, dans le cadre d'activités sportives, en VTT, en motoneige, ou lors de chutes. Les accidents impliquant des moyens de transport représentent 40 % de toutes les blessures déclarées.

Un quart des utilisateurs de motoneige (conducteurs et passagers) âgés de 15 ans et plus sont des voyageurs solitaires. Ils ne se déplacent jamais ou rarement en compagnie d'autres motoneigistes, qu'ils soient des hommes ou des femmes. Cette pratique est plus commune

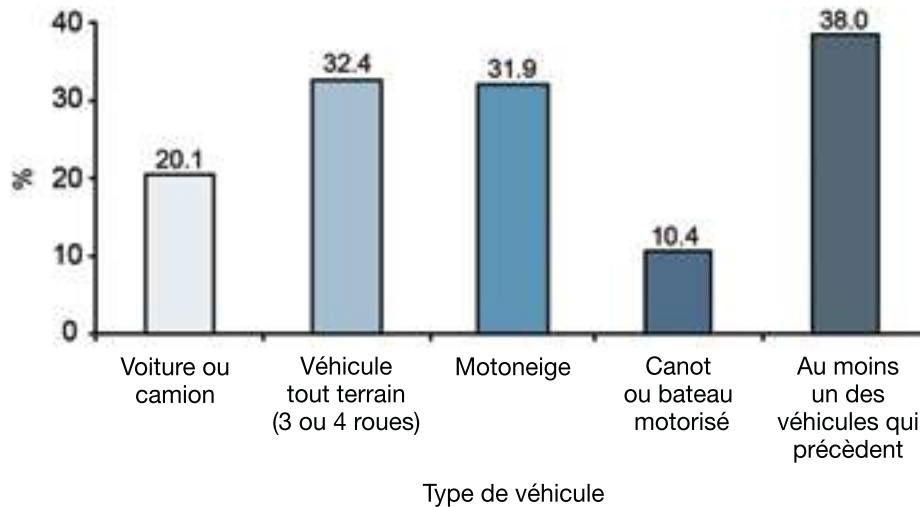


Figure 9. Proportion des conducteurs qui ont déclaré avoir conduit un véhicule motorisé au moins une fois en état d'ébriété dans les 12 mois précédant le sondage, selon le type de véhicule (%), pour la population âgée de 15 ans et plus, Nunavik, 2004. De Légaré et Rochette (2007).

chez les résidents du littoral de la baie d'Hudson que chez ceux de l'Ungava. Ceux qui ont tendance à se déplacer seuls à motoneige sont ceux qui ont le plus faible niveau d'éducation, ceux qui ont un revenu inférieur à 20 000 \$ et ceux qui n'ont pas d'emploi officiel. Il semble se dessiner un profil d'individus s'adonnant à davantage d'activités traditionnelles que d'activités économiques modernes, mais ces individus ne sont pas ceux qui sont les plus susceptibles d'avoir été blessés.

En outre, les trois quarts des Inuits âgés de 15 ans et plus ne portent jamais de vêtement de flottaison individuel (VFI), ou rarement, lorsqu'ils se déplacent en embarcation à moteur. Cette proportion est beaucoup plus élevée chez les femmes que chez les hommes, même si l'on n'a pas observé de différence significative entre les groupes d'âge. Les résidents vivant le long du littoral de la baie d'Hudson portent le VFI moins fréquemment que les résidents de la côte de l'Ungava. Ces mesures préventives ne varient pas avec le niveau d'éducation, le revenu ou l'occupation principale.

La conduite de véhicules motorisés sous l'effet de drogues ou de l'alcool multiplie les risques de traumatismes. Les

proportions qui suivent ont trait uniquement aux individus âgés de 15 ans et plus qui conduisent ces véhicules. Un conducteur d'auto ou de camion sur cinq (20 %) a déclaré avoir conduit avec les facultés affaiblies par les drogues ou l'alcool au moins une fois dans les 12 derniers mois. Cette proportion atteint 32 % dans le cas des VTT et des motoneiges et elle est moindre (10 %) dans le cas des embarcations motorisées. Parmi tous les conducteurs de véhicules motorisés, 38 % avaient conduit un véhicule avec les facultés affaiblies par une substance quelconque dans les 12 mois précédant l'enquête (figure 9, Légaré et Rochette, 2007).

3.4 Conclusion

Comme c'est le cas pour de nombreuses populations autochtones, les habitants du Nunavik et du Nunatsiavut ont une espérance de vie plus courte que la moyenne des Canadiens. De plus, leur taux de mortalité infantile est de trois à quatre fois plus élevé que celui de l'ensemble du Canada. Ces deux indicateurs clés de l'état de santé de la population en disent long et servent d'élément motivateur pour de nombreux intervenants inuits et autres qui

cherchent à améliorer la situation. Les données statistiques vitales dressent un portrait sombre mais efficace de la façon dont les problèmes se manifestent au sein de la société inuite. Bien qu'il ne fasse pas les manchettes, le taux de suicide demeure grave chez les jeunes hommes et cela soulève des inquiétudes. Il semble évident que l'on passe à côté de certains déterminants de la santé. En effet, de récentes publications mettent l'accent sur le rôle critique des déterminants sociaux dans les inégalités en matière de santé chez les populations autochtones (p. ex., Postl *et al.*, 2009). Pourtant tout n'est pas si sombre – les Inuits peuvent avoir un avantage en ce qui a trait à certaines maladies chroniques graves, comme les cardiopathies ischémiques et le diabète en particulier. Non seulement c'est extrêmement positif pour eux, mais d'un point de vue scientifique cela soulève aussi d'intéressantes questions. L'étude de ces questions pourrait aider les Inuits à continuer de bénéficier d'une certaine protection contre ces maladies dans la perspective de la modernisation, et les connaissances acquises pourraient être transférables à d'autres populations qui ne jouissent pas de la même chance à cet égard.

En rétrospective, grâce aux travaux d'enquête sur la santé, il est possible de cerner certains éléments critiques ou déterminants permettant de maintenir ou d'améliorer la santé des Inuits, que ce soit dans la région subarctique de l'Est du Canada ou ailleurs dans le Grand Nord. Il faut souhaiter que le régime alimentaire et le mode de vie en général des Inuits soient améliorés par l'accès à des aliments sains, l'exercice physique et l'abandon du tabagisme; que les Inuits adoptent des comportements sécuritaires lors de leurs déplacements; qu'ils continuent à avoir accès aux aliments traditionnels leur fournissant les excellents gras qui pourraient être le dernier bastion dans la prévention d'une épidémie de maladies cardiovasculaires et d'autres avantages très importants; que l'on poursuive les efforts mondiaux pour réduire les contaminants environnementaux qui sont transportés dans la chaîne trophique arctique et que l'on continue de surveiller les changements en lien avec le climat afin d'appuyer l'adaptation sur de nombreux plans, comme dans le cadre de la chasse et de la pêche.

Il y a maintenant plusieurs beaux exemples d'interventions qui ont du succès dans la population du Nunavik – que ce soit les efforts à grande échelle de réduction de la production de contaminants fortement délétères qui se propagent sur de longues distances ou les initiatives locales spécialisées dans la prévention des zoonoses et celles visant à réduire, voire éliminer, les acides gras trans dans les marchés d'alimentation des villages. Chacune de ces initiatives se fonde sur la science, ce qui met en évidence la nécessité de continuer à comprendre les relations complexes entre les déterminants de la santé et l'état de santé pour ces groupes éloignés et uniques. Et même si le processus de recherche peut parfois sembler ardu, quiconque a voyagé dans le Nord sait que les nouvelles vont vite; il y aurait donc une économie certaine à investir dans des interventions sur plusieurs fronts pour réduire les inégalités.

3.5 Références

- Barber, D.G., Fortier, L. et Byers, M. 2006. The Incredible Sinking Sea Ice. *Policy Options* 27(1): 66-71.
- Bjerregaard, P., Dewailly, E., Young, TK., Blanchet, C., Hegele, RA., Ebbesson, SE., Risica, PM. et Mulvad, G. 2003. Blood pressure among the Inuit (Eskimo) populations in the Arctic. *Scandinavian Journal of Public Health* 31(2):92-9.
- Bjerregaard, P. et Young, T.K. 1998. *The Circumpolar Inuit: Health of a Population in Transition*. Copenhagen: Munksgaard, 289 p. ISBN 87-16-11905-3.
- Blanchet, C. et Rochette, L. 2008. Nutrition and Food Consumption among the Inuit of Nunavik. *Nunavik Inuit Health Survey 2004, Qanuippitaa? How are we?* Quebec: Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) and Nunavik Regional Board of Health and Social Services (NRBHSS).
- Boucher, O., Bastien, C.H., Saint-Amour, D., Dewailly, E., Ayotte, P., Jacobson, J.L., Jacobson S.W. et Muckle, G. 2010. Prenatal exposure to methylmercury and PCBs affects distinct stages of information processing:

an event-related potential study with Inuit children. *NeuroToxicology*, 31, 373-384.

Boucher, O., Burden, M.J., Muckle, G., Saint-Amour, D., Ayotte, P., et al. Neurophysiologic and neurobehavioral evidence of beneficial effects of prenatal omega-3 fatty acid intake on memory function at school age. *The American Journal of Clinical Nutrition*. In press.

Château-Degat, M-L., Dewailly, É., Charbonneau, G., Laouan-Sidi, E.A., Tremblay, A., et Egeland, G. 2011. Obesity Risks: toward an emerging Inuit Pattern. *International Journal of Circumpolar Health*. 70(2):166-77

Château-Degat, M-L., Dewailly, É., Louchini, R., Counil, É., Noël, M., Ferland, A., Lucas, M., Valera, B., Ekoé, J.M., Ladouceur, R., Déry, S. et Egeland, G. 2010. Cardiovascular burden and related risk factors among Nunavik (Quebec) Inuit : Insights from baseline findings in the circumpolar Inuit Health in Transition cohort study. *The Canadian Journal of Cardiology*. 26 (6). 190-6.

Counil, É., Dewailly, É., Bjerregaard, P. et Julien, P. 2008. Trans-polar-fat: all Inuit are not equal. *British Journal of Nutrition*. Apr 1:1-4. doi:10.1017/S0007114508925447

Counil, É., Gauthier, M.J., Blouin, V., Grey, M., Angiyou, E., Kauki, T. et Dewailly, É. Translational research to reduce trans-fat intakes in Northern Québec (Nunavik) Inuit communities: a success-story? *International Journal of Circumpolar Health*. In press.

Counil, E., Julien, P., Lamarche, B., Château-Degat, M.L., Ferland, A. et Dewailly, E. 2009. Association between trans-fatty acids in erythrocytes and pro-atherogenic lipid profiles among Canadian Inuit of Nunavik: possible influences of sex and age. *British Journal of Nutrition*, 102(5):766-76.

Dallaire, F., Dewailly, É., Muckle, G. et Ayotte, P. 2003. Time Trends of Persistent Organic Pollutants and Heavy Metals in Umbilical Cord Blood of Inuit Infants in Nunavik (Québec, Canada) between 1994 and 2001. *Environmental Health Perspectives*. 111(13): 1660-4.

Després, C., Beuter, A., Richer, F., Poitras, K., Veilleux, A., Ayotte, P., Dewailly, E., Saint-Amour, D. et Muckle,

G. 2005. Neuromotor functions in Inuit preschool children exposed to Pb, PCBs and Hg. *Neurotoxicology and Teratology*, 27, 245-257.

Dewailly, É., Ayotte, P., Pereg, D., Dery, S., Dallaire, R., Fontaine, J. et Côté, S. 2007a. Exposure to Environmental Contaminants in Nunavik : Metals. Nunavik Inuit Health Survey 2004, Qanuippitaa? How are we? Quebec: Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) and Nunavik Regional Board of Health and Social Services (NRBHSS).

Dewailly, E., Blanchet, C., Gingras, S., Lemieux, S. et Holub, B.J. 2003a. Fish consumption and blood lipids in three ethnic groups of Québec (Canada). *Lipids*. 38(4):359-65.

Dewailly, É., Château-Degat, M-L., Ekoé, J.-M., Ladouceur, R. et Rochette, L. 2007b. Status of Cardiovascular Disease and Diabetes in Nunavik. Nunavik Inuit Health Survey 2004, Qanuippitaa? How are we? Quebec: Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) and Nunavik Regional Board of Health and Social Services (NRBHSS).

Dewailly, É., Dallaire, R., Pereg, D., Ayotte, P., Fontaine, J., et Dery, S., 2007c. Exposure to Environmental Contaminants in Nunavik : Persistent Organic Pollutants and New Contaminants of Concern. Nunavik Inuit Health Survey 2004, Qanuippitaa? How are we? Quebec: Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) and Nunavik Regional Board of Health and Social Services (NRBHSS).

Dewailly, E., Mulvad, G., Sloth Pedersen, H., Hansen, J.C., Behrendt, N. et Hart Hansen, J.P. 2003b. Inuit are protected against prostate cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*. 12(9):926-7.

Egeland, G.M. 2010. Inuit Health Survey 2007-2008 Nunatsiavut. *International Polar Year Inuit Health Survey Health in Transition and Resiliency*. 35 pp.

Fontaine J., Dewailly E., Benedetti J.L., Pereg D., Ayotte P. et Déry S. 2008. Re-evaluation of blood mercury, lead and cadmium concentrations in the Inuit population of Nunavik (Québec): a cross-sectional study. *Environmental Health*. 2 (7): 25.

Frankish C.J., Green, L.W., Ratner, P.A., Chomik, T. et Larsen, C. 1996. Health Impact Assessment as a Tool

- for Population Health Promotion and Public Policy. A Report Submitted to the Health Promotion Development Division of Health Canada. Institute of Health Promotion Research, University of British Columbia, Vancouver.
- Hodgins, S. 1997. Health and what affects it in Nunavik: How is the situation changing. Kuujjuaq: Department of Public Health, Nunavik Regional Board of Health and Social Services.
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) en collaboration avec le ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSSQ) et l'Institut de la statistique du Québec (ISQ). Portrait de santé du Québec et de ses régions 2006 : les statistiques – Deuxième rapport national sur l'état de la santé de la population, gouvernement du Québec, 659 pages.
- Jacobson, J., Jacobson, S.W., Muckle, G., Kaplan-Estrin, M., Ayotte, P., et Dewailly, É. 2008. Beneficial effects of a polyunsaturated fatty acid on infant development: evidence from the inuit of arctic Quebec. *Journal of Pediatrics*. 152: 356-64.
- Jacques, C., Levy, E., Muckle, G., Jacobson, S.W., Bastien, C., Dewailly, E., Ayotte, P., Jacobson, J.L. et Saint-Amour, D. 2011. Long-term effects of prenatal omega-3 fatty acid intake on visual function in school-age children. *Journal of Pediatrics*. 158(1):83-90.
- Lavoie, E., Lévesque, B., Proulx, J.F., Grant, J., Ndassebe, A.D., Gingras, S., Hubert, B. et Libman, M. 2008. Evaluation of the efficacy of the *Toxoplasma gondii* screening program among pregnant women in Nunavik, 1994-2003. *Canadian Journal of Public Health*, 99(5):397-400.
- Légaré, G. et Rochette, L. 2007. Transportation Injuries and Safety. Nunavik Inuit Health Survey 2004, Qanuippitaa? How are we? Quebec: Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) and Nunavik Regional Board of Health and Social Services (NRBHSS).
- Lucas, M., Dewailly, E., Blanchet, C., Gingras, S. et Holub, B.J. 2009. Plasma omega-3 and psychological distress among Nunavik Inuit (Canada). *Psychiatry Research*. 30; 167(3):266-78.
- Lucas M., Dewailly E., Muckle G., Ayotte P., Bruneau S., Gingras S., Rhainds M. et Holub B.J. 2004. Gestational age and birth weight in relation to n-3 fatty acids among Inuit (Canada). *Lipids*. 39(7):617-26.
- Lucas, M., Proust, F., Blanchet, C., Ferland, A., Déry, S., Abdous, B., et Dewailly, É. 2010. Is marine mammal fat or fish fat intake most strongly associated with omega-3 blood levels among the Nunavik Inuit? *Prostaglandins, Leukotrienes & Essential Fatty Acids*. doi: 10.1016/j.plefa.2010.06.006
- Martin, D., Bélanger, D., P. Gosselin, P., Brazeau, J., Furgal, C., et Déry, S. 2007. Drinking Water and Potential Threats to Human Health in Nunavik : Adaptation Strategies under Climate Change Conditions. *Arctic*. 60(2): 195-202.
- Messier, V., Lévesque, B., Proulx, J.F., Rochette, L., Libman, M.D., Ward, B.J., Serhir, B., Couillard, M., Ogden, N.H., Dewailly, E., Hubert, B., Déry, S., Barthe, C., Murphy, D. et Dixon, B. 2009. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* among Nunavik Inuit (Canada). *Zoonoses and Public Health*. 56(4): 188-97.
- Messier, V., Lévesque, B., Proulx, J.F., Rochette, L., Serhir, B., Couillard, M., Ward, B.J., Libman, M.D., Dewailly, E., et Déry, S. 2011. Seroprevalence of Seven Zoonotic Infections in Nunavik, Quebec (Canada). *Zoonoses and Public Health*. Jul 20. doi: 10.1111/j.1863-2378.2011.01424.x. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 21824376
- Messier, V., Lévesque, B., Proulx, J.F., Ward, B., Libman, M., Couillard, M., Martin, D., Hubert, B et Rochette, L. 2007. Zoonotic Diseases, Drinking Water and Gastroenteritis in Nunavik : A Brief Portrait. Nunavik Inuit Health Survey 2004, Qanuippitaa? How are we? Quebec: Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) and Nunavik Regional Board of Health and Social Services (NRBHSS).
- Muckle, G., Dewailly, E. et Ayotte, P. 1998. Prenatal exposure of Canadian children to polychlorinated biphenyls and mercury. *Canadian Journal of Public Health*, 89, S20-S25.
- Muckle, G., Ayotte, P., Dewailly, E., Jacobson, S.W. et Jacobson, J.L. 2001. Prenatal exposure of the northern Quebec Inuit infants to environmental contaminants. *Environmental Health Perspectives*, 109, 1291-1299.

- Owens, S., Gosselin, P., Furgal, C. et Martin, D. 2009. Nunatsiavut's Public Health Surveillance in Response to a Changing Climate: A Baseline Study. Centre de recherche du CHUQ, Axe santé des populations et environnementale. ISBN 978-2-9810983-0-6 (PDF).
- Peters, P.A. 2010. Causes et contributions to differences in life expectancy for Inuit Nunangat and Canada, 1994-2003. *International Journal of Circumpolar Health*. 69(1):38-49.
- Peters, P.A. Shifting transitions : health inequalities in Inuit Nunangat in perspective. *Journal of Rural and Community Development*. In press.
- Peters, P.A. 2011. Shifting transitions : health inequalities in Inuit Nunangat in perspective. Paper presented at the Health Analysis Division Speaker Series, April, Ottawa.
- Plusquellec, P., Muckle, G., Dewailly, E., Ayotte, P., Begin, G., Desrosiers, C., Després, C., Saint-Amour, D. et Poitras, K. 2010. The relation of environmental contaminants exposure to behavioral indicators in Inuit preschoolers in Arctic Quebec. *NeuroToxicology*, 31, 17-25.
- Plusquellec, P., Muckle, G., Dewailly, E., Ayotte, P., Jacobson, S. W. et Jacobson J.L. 2007. The relation of low-level prenatal lead exposure to behavioral indicators of attention in Inuit infants in Arctic Quebec. *Neurotoxicology and Teratology*, 29, 527-537.
- Postl, B.D., Cook, C.L. et Moffatt, M. 2010. Aboriginal child health and the social determinants: why are these children so disadvantaged? *Healthcare Quarterly*. 14 Spec No:42-51.
- Proulx, J.F., MacLean, J.D., Gyorkos, T.W., Leclair, D., Richter, A.K., Serhir, B., Forbes, L. et Gajadhar, A.A. 2002. Novel prevention program for trichinellosis in inuit communities. *Clinical Infectious Diseases*, 1;34(11):1508-14.
- Reidpath, D.D. et Allotey, P. 2003. Infant mortality rate as an indicator of population health. *Journal of Epidemiology & Community Health*. 57(5):344-6.
- Richmond, C. A. M. et Ross, N. A. The determinants of First Nation and Inuit health: A critical population health approach, *Health and Place*, Volume 15, Issue 2, June 2009, Pages 403-411.
- Saint-Amour, D., Roy, M.S., Bastien, C., Ayotte, P., Dewailly, E., Després, C., Gingras, S. et Muckle, G. 2006. Alterations of visual evoked potentials in preschool Inuit children exposed to methylmercury and polychlorinated biphenyls from a marine diet. *NeuroToxicology*, 27, 467-478.
- Statistics Canada. Table 102-0704 – Mortality, by selected causes of death (ICD-10) and sex, five-year average, Canada and Inuit regions, every 5 years, CANSIM (database). http://cansim2.statcan.gc.ca/cgi-win/cnsmcgi.exe?Lang=EandCNSM-Fi=CII/CII_1-eng.htm (accessed November 1, 2010).
- Tynan, C.T. et DeMaster, D.P. 1997. Observations and Predictions of Arctic Climatic Change: Potential Effects on Marine Mammals. *Arctic*. 50:308-322.
- Valera B., Dewailly E. et Poirier P. 2008. Cardiac autonomic activity and blood pressure among Nunavik Inuit adults exposed to environmental mercury: a cross-sectional study. *Environmental Health*. 7(29).
- Valera, B., Dewailly, É. et Poirier, P. 2009. Environmental Mercury Exposure and Blood Pressure Among Nunavik Inuit Adults. *Hypertension*. 54: 981-986.
- Wilkins, R., Uppal, S., Finès, P., Senécal, S., Guimond, E. et Dion, R. 2008. Life expectancy in the Inuit-inhabited areas of Canada, 1989 to 2003. *Health Reports*. 19(1):7-19.
- Young, T.K., Bjerregaard, P., Dewailly, E., Risica, P.M., Jørgensen, M.E. et Ebbesson, S.E. 2007. Prevalence of obesity and its metabolic correlates among the circumpolar inuit in 3 countries. *The American Journal of Public Health*. 97(4):691-5.
- Zhong-Cheng, L., Senécal, S., Simonet, F., Guimond, E., Penney, C. et Wilkins R. 2010. Birth outcomes in the Inuit-inhabited areas of Canada. *Canadian Medical Association Journal*, 182(3):235-42.
- Zhou, Y. E., Kubow, S. et Egeland, G. M. Highly unsaturated n-3 fatty acids status of Canadian Inuit: International Polar Year Inuit Health Survey, 2007-2008. *Journal of Nutrition*. In press.



Chapitre 4. Les ressources en eau douce dans un milieu en changement

Auteurs principaux

Warwick F. Vincent^{1,2}, Daniel Martin³, Reinhart Pienitz^{1,4}, Isabelle Laurion^{1,5}

¹Centre d'études nordiques (CEN), Université Laval, Québec, QC; ²Département de biologie, Université Laval, Québec, QC; ³Nasivvik et Unité de recherche en santé publique, Centre de recherche du CHUL-CHUQ, Québec, QC; ⁴Département de géographie, Université Laval, Québec, QC; ⁵Institut de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement (INRS-ETE), Québec, QC

Coauteurs

D.C.G. Muir, K. L. Young, Y. Bégin

Résumé

Les lacs, les rivières et les terres humides du Nord rendent de nombreux services écosystémiques, constituant des réserves en eau potable pour les résidents du Nord, des habitats pour l'omble chevalier et la faune aquatique en général et l'eau pour des industries telles que la production hydroélectrique, la pêche récréative, l'écotourisme et l'exploitation minière. Le Nunavik et le Nunatsiavut ont un riche héritage naturel d'écosystèmes d'eau douce allant d'étangs peu profonds produits par le dégel du pergélisol (dont la taille et le nombre augmentent dans certains endroits) à des rivières sauvages et d'anciens lacs profonds d'une valeur exceptionnelle sur les plans touristique, culturel et écologique. Les répercussions des changements climatiques et du développement économique sur la qualité de l'eau et l'approvisionnement en ressources aquatiques essentielles sont perçues avec une inquiétude grandissante par les communautés inuites. Dans le contexte des changements climatiques et du développement rapide, la création de parcs nordiques est une façon efficace de protéger bon nombre de ces milieux et aussi de stimuler l'écotourisme et les activités économiques connexes. On a cerné divers problèmes en lien avec l'eau de consommation dans tout le Nunavik, dont des problèmes associés à l'entreposage et à l'utilisation d'eau non traitée. On présente une série de recommandations pour les atténuer. Les effets de la pollution locale, de même que l'augmentation persistante de certains contaminants transportés sur de longues distances, comme le mercure, exigent une surveillance continue. Deux des plus grandes centrales électriques souterraines dans le monde sont situées dans le Nord du Québec et du Labrador et d'autres développements hydroélectriques sont possibles. Les projets devront être élaborés en temps opportun et en consultation étroite avec tous les intervenants et ils devront inclure une analyse des compromis à faire relativement aux valeurs des écosystèmes. Les installations actuelles et futures exigent de la recherche continue pour prévoir les réserves d'eau requises dans un climat nordique qui change rapidement. En particulier, les analyses paléoclimatiques continueront à fournir de l'information aidant à évaluer l'ampleur des fluctuations naturelles.

4.1 Introduction

Les lacs, les rivières et les terres humides sont des écosystèmes importants dans l'Arctique circumpolaire. Ces ressources vitales fournissent des services essentiels, notamment des réserves d'eau potable pour les résidents du Nord, des habitats pour l'omble chevalier (voir le chapitre 7) et la faune aquatique dans son ensemble, des voies de navigation pendant l'été et de transport par véhicule en hiver (voir le chapitre 5 et aussi Prowse *et al.*, 2011), et de l'eau à des fins industrielles, dont la production hydroélectrique, la pêche récréative, l'écotourisme et l'exploitation minière. Les écosystèmes d'eau douce en région subarctique ont une importance intrinsèque comme sites de biodiversité d'une grande richesse et leurs sédiments constituent aussi des enregistrements des changements passés (p. ex., Saulnier-Talbot *et al.*, 2003; Pienitz *et al.*, 2004; Saulnier-Talbot et Pienitz, 2009) et actuels qui aideront à orienter la surveillance et la gestion de l'environnement. Ces diverses ressources aquatiques sont vulnérables aux changements climatiques en cours. Les modifications dans la quantité et la qualité de l'eau sont observés avec une inquiétude croissante par les Inuits et les autres peuples autochtones (Moquin, 2005). Ces questions, ainsi que d'autres appréhensions liées au climat, sont préoccupantes tout particulièrement dans la région subarctique de l'Est du Canada où le réchauffement climatique se poursuit à une cadence sans précédent, après des siècles de relative stabilité environnementale (Bhiry *et al.*, 2011).

Le présent chapitre décrit la gamme des ressources aquatiques du Nunavik et du Nunatsiavut et leurs réactions écologiques potentielles aux changements climatiques. On présente ensuite un sommaire des travaux effectués à ce jour sur les contaminants dans le manteau neigeux et les eaux douces de la région et on examine certaines questions précises concernant les milieux aquatiques protégés dans les parcs, les ressources en eau potable, les besoins en matière d'exploitation minière et les ressources hydroélectriques. Le chapitre se termine par des conclusions générales et certaines recommandations pour l'avenir.

4.2 Les répercussions climatiques sur les écosystèmes d'eau douce du Nord

Les effets des changements climatiques en cours sur les lacs et les réservoirs ont été identifiés comme étant un des plus graves problèmes auxquels la société humaine est confrontée dans le monde. Les écosystèmes des lacs et des rivières du Nord pourraient être tout particulièrement vulnérables à l'altération étant donné la plus grande ampleur des changements climatiques aux latitudes supérieures (ACIA, 2005). Les changements projetés dans le régime hydrique régional vont modifier la capacité des lacs et des rivières à fournir les biens et services rendus par l'écosystème, comme la pêche intérieure et l'approvisionnement en eau potable, et donner lieu à des débits différents et à de l'érosion dans les rivières. La tendance actuelle au réchauffement affectera les propriétés physiques, chimiques et biologiques des écosystèmes d'eau douce (figure 1), ce qui aura des répercussions sur la qualité de l'eau (p. ex., par l'augmentation des cyanobactéries nocives) et sur les habitats fauniques (p. ex., par le biais de changements dans le ruissellement, la productivité, le taux d'oxygène dissous et le régime thermique de l'eau).

Au niveau physiologique le plus élémentaire, les changements dans la température de l'eau et la couverture de glace vont affecter les taux métaboliques et le cycle de vie des organismes aquatiques. Pour certaines espèces, il pourrait se produire des changements qui dépassent leur seuil critique de survie. Le réchauffement peut aussi s'accompagner d'une plus grande stratification, d'une production de biomasse algale et d'une perte d'oxygène au détriment de nombreuses populations aquatiques. D'autre part, les températures plus chaudes permettront à certaines nouvelles espèces envahissantes de survivre et de compléter leur cycle de vie; mais cela pourrait se faire au détriment des espèces d'origine menées à l'extinction par la prédation ou la compétition. Dans le Nord, cela pourrait donner lieu à une augmentation de la biodiversité à l'échelle locale, même si de nombreuses espèces indigènes

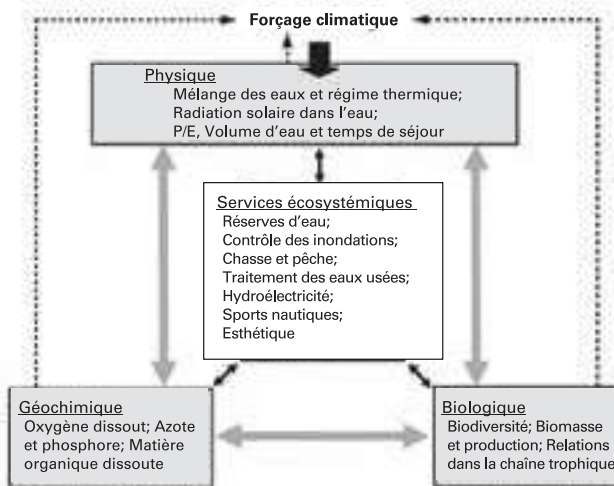


Figure 1. Les changements climatiques affectent l'environnement physique des écosystèmes de lacs et de rivières et par conséquent leurs propriétés chimiques et biologiques. Ces changements modifient la capacité des eaux douces à fournir les services écosystémiques. P/E fait référence au rapport entre les précipitations et l'évaporation. Les lignes pointillées indiquent des effets de rétroaction positive, p. ex., par le biais de la diminution de la couverture de glace ou la libération de gaz à effet de serre des lacs et des rivières dans l'atmosphère. Modifiée de Vincent, 2009.

disparaissent, causant des changements dans les interactions biotiques, un déclin de la biodiversité mondiale et de graves complications pour les pratiques traditionnelles de la chasse et la pêche (Vincent *et al.*, 2011). À un échelon écologique supérieur, les changements climatiques vont avoir de profonds effets sur la structure physique et la connectivité des écosystèmes de lacs et de rivières, sur leurs chaînes trophiques, leurs caractéristiques biogéochimiques et leurs propriétés métaboliques générales, y compris les émissions de gaz à effet de serre (GES). La présente section se penche sur les divers types d'écosystèmes aquatiques au Nunavik et au Nunatsiavut et leur sensibilité potentielle aux changements climatiques, en mettant l'accent sur les lacs thermokarstiques étant donné leur importance dans l'émission des gaz à effet de serre et leur impact sur la transformation des habitats fauniques.

4.2.1 Les lacs thermokarstiques

Les lacs provoqués par la fonte de la glace contenue dans le pergélisol (ou lacs thermokarstiques, voir la figure 2) sont un élément important de nombreux paysages nordiques. Ils se développent dans des dépressions topographiques causées par le dégel du pergélisol (Pienitz *et al.*, 2008). Ils font l'objet d'une grande attention depuis qu'on a réalisé qu'ils n'étaient pas seulement des habitats pour la flore et la faune aquatiques, mais qu'ils recelaient aussi une vie microbiologique importante. Ils agissent comme des sites de réaction microbienne pour la production de gaz à effet de serre (Walter *et al.*, 2006; Laurion *et al.*, 2010) et ils ont le potentiel d'exercer une forte rétroaction positive sur le climat mondial, comme ils semblent l'avoir fait dans le passé (Walter *et al.*, 2007).



Figure 2. Exemples de lacs thermokarstiques au Nunavik. Ces étonnantes différences de couleur sont dues à l'absorption et à la diffusion de la lumière sous l'eau par diverses combinaisons de matière organique colorée dissoute et de particules de sol issues du milieu environnant. On peut quantifier ces différences de couleur à l'aide de senseurs radiométriques qui peuvent fournir une façon d'estimer les propriétés des écosystèmes, y compris les émissions de gaz à effet de serre, par télédétection par satellite (détails dans Watanabe *et al.*, 2011).

Dans de nombreuses régions de l'Arctique, le pergélisol a commencé à se réchauffer et la couche active est plus profonde (voir le chapitre 6 pour une description des dynamiques géophysique). Cependant, l'étendue de ces changements varie énormément à l'échelle régionale, avec une augmentation de la profondeur de la couche active atteignant plusieurs mètres dans certains endroits alors qu'aucun changement n'est détecté ailleurs. Dans certaines régions du Nunavik les lacs thermokarstiques et les terres humides sont en expansion par suite du dégel et de l'érosion du pergélisol (p. ex., Payette *et al.*, 2006; Vincent *et al.*, 2011), produisant par conséquent plus d'habitats pour les oiseaux aquatiques et autres animaux ainsi que de plus vastes superficies de production intense de GES. Ailleurs dans l'Arctique circumpolaire, la dégradation du pergélisol cause un drainage rapide du paysage et une perte d'écosystèmes aquatiques et semi-aquatiques (p. ex., en Sibérie, Smith *et al.*, 2005; sur l'île Bylot dans l'Arctique canadien, Laurion *et al.*, non publié). De tels changements peuvent donner lieu à des paysages nordiques plus homogènes qu'auparavant, avec moins d'habitats et une plus faible diversité d'espèces.

Les études d'ArcticNet sur les lacs thermokarstiques au Nunavik ont montré que, malgré la faible profondeur de ces lacs (habituellement de 1 à 4 m) et leur exposition au vent, peu de brassage s'y produit. Les gradients en fonction de la profondeur en ce qui concerne les propriétés physiques, chimiques et biologiques sont très prononcés pendant la majeure partie de l'année (Breton *et al.*, 2009; Laurion *et al.*, 2010, voir la figure 3). En été, et probablement pendant une grande partie de l'hiver, leurs eaux de fond ne sont pas oxygénées à cause de l'absence de mélange et ces conditions d'anoxie (dépourvues d'oxygène) favorisent les processus microbiens qui convertissent le carbone provenant de l'érosion des sols de toundra en méthane (CH₄), un puissant GES, lequel est finalement libéré dans l'atmosphère par ébullition et par d'autres processus (Walter *et al.*, 2006). Les dynamiques du dioxyde de carbone (CO₂) sont influencées par le niveau d'activité de photosynthèse. Des observations indiquent que les lacs thermokarstiques colonisés par des

couches microbiennes et des planques aquatiques peuvent agir comme des puits de CO₂, au moins durant l'été, mais qu'ils constituent tous des sources de méthane (Laurion *et al.*, 2010).

À l'échelle mondiale, d'importantes quantités de matière organique sont entreposées dans les sols nordiques gelés (Tarnocai *et al.*, 2009). À cause du dégel et de l'érosion, une certaine quantité du carbone de la toundra est libérée dans les lacs, rivières et mers côtières où il peut être converti en CO₂ et en CH₄ par des processus microbiens aquatiques (Schuur *et al.*, 2008). Il y a d'importantes variations temporelles dans l'émission de gaz des lacs thermokarstiques, ce qui indique la nécessité de mieux comprendre les changements diurnes et saisonniers des flux du carbone, et aussi l'influence des processus physiques sur les échanges entre l'air et l'eau. Une des principales questions est celle de l'importance relative des vieux stocks de carbone organique provenant du dégel de la tourbe contenue dans le pergélisol comme source de carbone pour les processus microbiens aquatiques, comparativement au carbone nouvellement fixé dans les plantes et les algues, lequel augmentera probablement avec le réchauffement climatique. Il y a aussi une grande variabilité dans l'émission de GES d'un lac à l'autre, même voisins (Laurion *et al.*, 2010). Des méthodes prometteuses de télédétection par satellite mises sur pied au Nunavik pourraient aider à préciser les estimations locales à l'échelle du territoire (Watanabe *et al.*, 2011). Il sera essentiel de comprendre ces processus biogéochimiques et leur variabilité spatiale et temporelle pour évaluer l'ampleur de la rétroaction positive qu'ont ces lacs thermokarstiques sur le cycle du carbone et le système climatique à l'échelle mondiale.

4.2.2 Les autres lacs peu profonds

La région subarctique renferme aussi de nombreux lacs et étangs peu profonds dans des bassins rocheux qui ont été sculptés par l'activité glaciaire. Des études de ces plans d'eau ont montré qu'ils sont souvent riches en zooplancton (Swadling *et al.*, 2001; Rautio et Vincent,

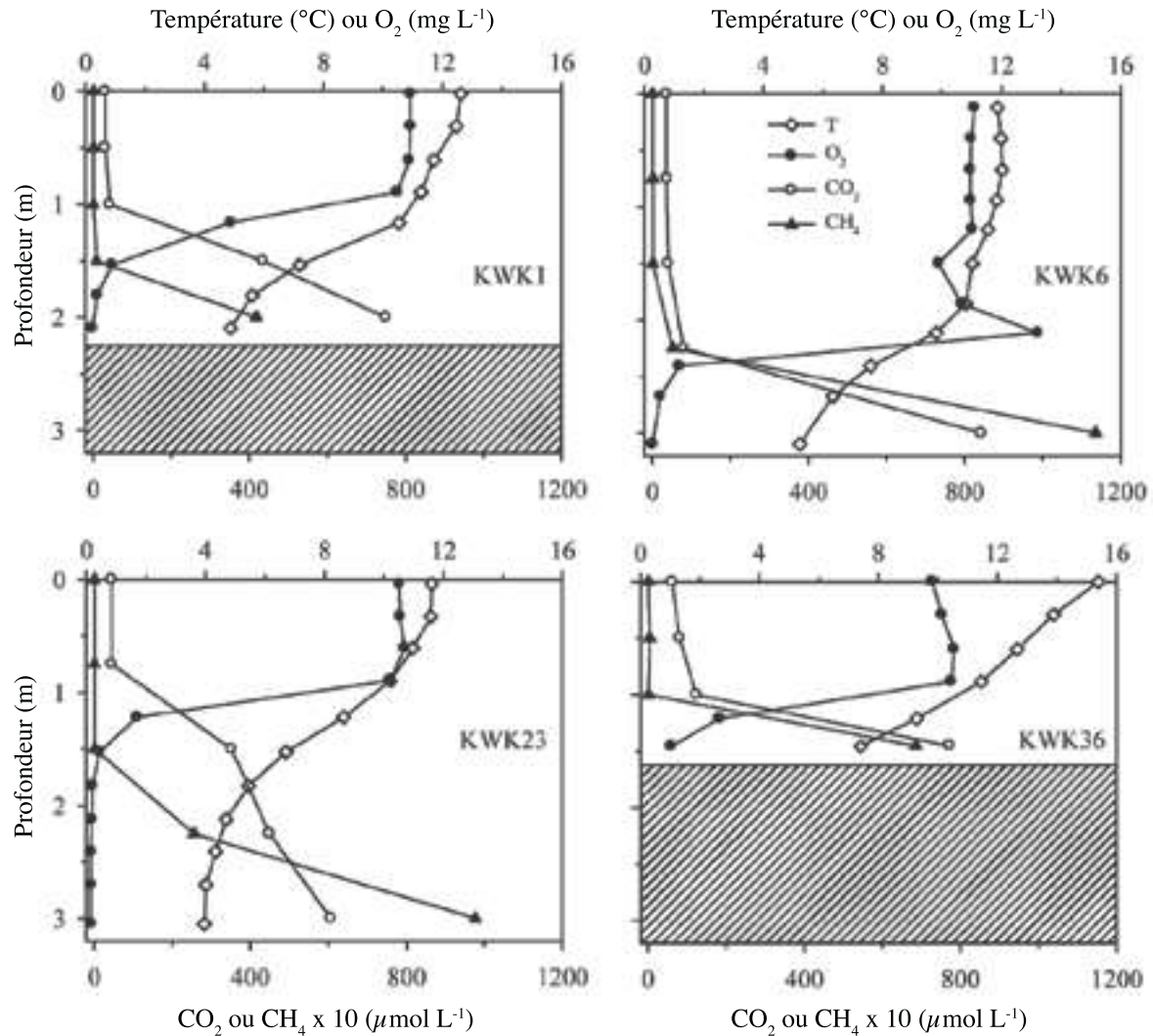


Figure 3. Profils de lacs thermokarstiques près de Kuujuarapik illustrant leur forte stratification et les grandes concentrations de gaz à effet de serre. Modifiée de Laurion et al., 2010

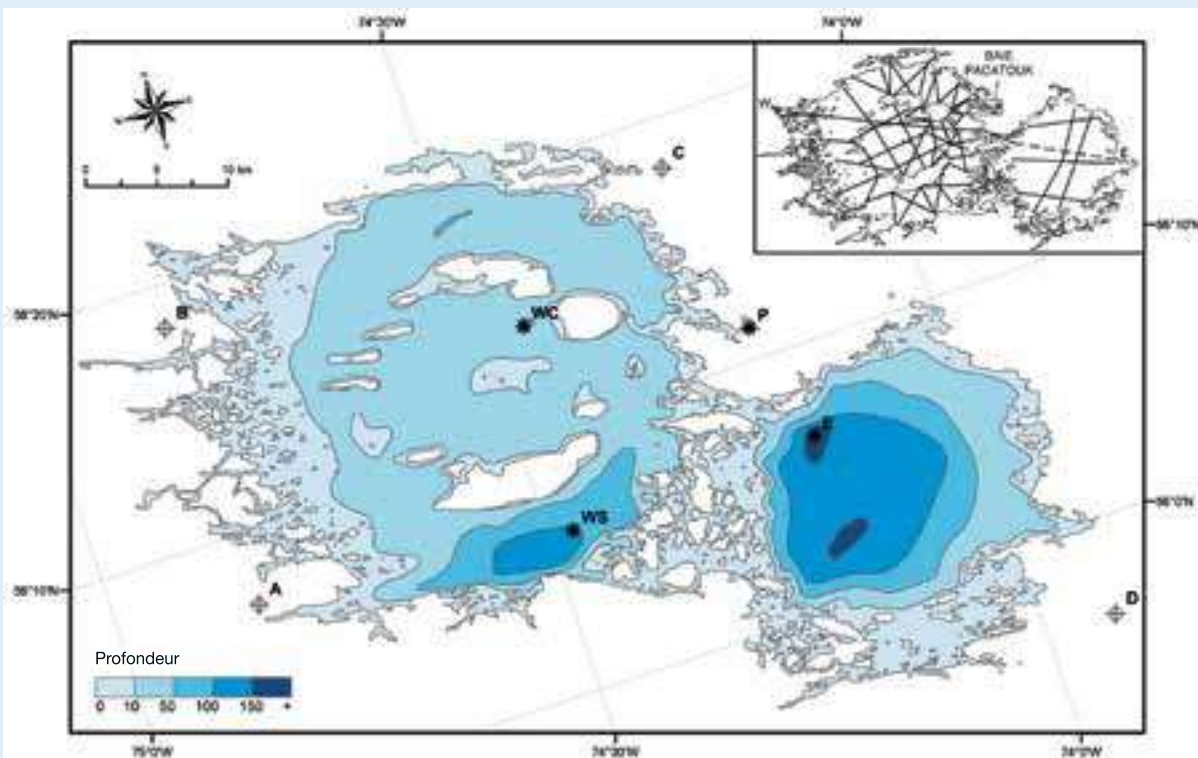
2006; Rautio *et al.*, 2011), avec des algues et des plantes benthiques qui favorisent d'autres formes de vie aquatique, notamment les insectes, les canards, les huards et les oies. Des changements dans l'équilibre précipitations-évaporation (P/E) associés aux changements climatiques pourraient donner lieu à une évaporation accrue menant à l'assèchement et à la perte de certains de ces habitats, comme cela a déjà été observé au Nunavut (Smol et Douglas, 2007; Vincent *et al.*, 2009).

4.2.3 Les lacs profonds

La région subarctique du Québec et du Labrador recèle un grand nombre de lacs profonds et vastes (> 100 km²). L'écologie de ces écosystèmes d'eau douce a été peu étudiée à ce jour, mais ce sont des sites importants pour les opérateurs de pourvoies et pour la pêche récréative dans le Nord. Certains lacs profonds d'un intérêt particulier sont ceux nés de la chute d'une météorite. Deux de ces lacs ont attiré l'attention au Nunavik : le lac de cratère Pingualuit

Encadré 1. Lac à l'Eau-Claire, Nunavik.

Le lac à l'Eau-Claire et son vaste bassin versant se situent dans la région du parc national Tursujuq. Le lac jouira donc d'une protection environnementale à long terme. Sa forme unique est le résultat d'un double impact météoritique qui s'est produit entre 285 et 300 millions d'années avant aujourd'hui (Plante, 1990). Le lac a une superficie de 1 239 km², son bassin ouest a une profondeur maximale de 136 m et son bassin est de 178 m, la profondeur moyenne est de 37 m et le temps de séjour hydraulique est estimé à 14 ans (durée de résidence d'une goutte d'eau moyenne dans un lac) (Arsenault, 1993; Milot-Roy et Vincent, 1993). Les eaux froides et transparentes du lac constituent un milieu oligotrophe (pauvre en substances nutritives et en algues) et le lac soutient des activités de pêches récréatives et traditionnelles reconnues (truite grise et omble de fontaine).



Cette carte bathymétrique a été obtenue à partir de 335 km de transects du lac (carte insérée dans le coin supérieur droit) à l'aide de l'échosondeur Furono BG-11 MARK 3 à une vitesse d'embarcation de 10 km/h, combinés à des données additionnelles des transects de Plante (1986). Les astérisques indiquent les stations d'échantillonnage de la colonne d'eau comme dans Milot-Roy et Vincent (1993) : OC (centre du bassin ouest); OS (sud du bassin ouest); P (Baie Pacatouk); E (bassin est). Les sites A, B, C et D sont des sites de géoréférences; détails dans Arsenault (1993).

et le lac à l'Eau-Claire (encadré 1). Le premier renferme une population isolée d'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) qui a suscité l'intérêt des scientifiques pour ses stratégies de survie et ses faibles taux de contaminants (Delisle et Roy, 1989; Gantner *et al.*, 2012) dans un des écosystèmes d'eau douce les plus transparents et dilués de la planète, tandis que le second a été le site d'études détaillées sur le périphyton (Maltais et Vincent, 1997), la production de phytoplancton (Milot-Roy et Vincent, 1994) et les effets du rayonnement ultraviolet dans l'écosystème lacustre (Laurion *et al.*, 1997; Laurion et Vincent, 1998). Comme dans les lacs profonds et clairs ailleurs dans le monde, le plancton est principalement constitué d'espèces extrêmement petites, avec une biomasse de phytoplancton d'une classe dimensionnelle inférieure à 2 µm. Le régime de stratification thermique dans ces lacs profonds permet un mélange des eaux fréquent, mais cela pourrait changer dans le futur avec un plus grand réchauffement et une plus courte période de couverture de glace, ce qui influencerait alors la croissance du plancton et les habitats des poissons.

4.2.4 Les rivières, ruisseaux et terres humides

Les écosystèmes d'eau vive jouent un rôle essentiel en ce qui concerne les ressources en eau douce de la région subarctique (Woo et Young, 2010 et références qui y sont citées). En plus de fournir des voies de transport pour les communautés nordiques, ces écosystèmes sont des habitats pour des espèces sauvages clés (notamment l'omble chevalier); ils déversent de l'eau, des nutriments et du carbone organique dans la mer, soutenant ainsi l'écosystème marin du littoral. Ils constituent également des ressources pour les réserves en eau potable, l'hydroélectricité, les activités minières et d'autres besoins industriels.

Le dégel accéléré du pergélisol pourrait relâcher de plus grandes quantités de matière organique, de gaz, d'éléments minéraux en solution et de microbiotes dans les rivières et les eaux côtières. Les particules organiques qui sont transférées par érosion du pergélisol dans les

rivières fournissent des substrats aux communautés microbiennes, principalement les bactéries et les archées (Garneau *et al.*, 2008). Les effets climatiques sur ces organismes, combinés aux restrictions de lumière du phytoplancton, pourraient éventuellement accroître encore davantage l'hétérotrophie et l'émission de CO₂ des rivières et des estuaires arctiques (Vallières *et al.*, 2008). Dans la région de la forêt boréale, les ruisseaux représentent seulement 1 % de l'eau douce totale, mais ils sont disproportionnellement importants en tant que sources de CO₂ (25 % des émissions totales de carbone aquatique) avec des débits qui augmentent en fonction de l'augmentation des concentrations de carbone organique dissous (COD) (Teodoru *et al.*, 2009). Plus au sud, aux États-Unis, les changements dans les précipitations ont récemment été identifiés comme un facteur de contrôle des émissions de CO₂ des rivières (Butman et Raymond, 2011); il faudra donc s'attarder davantage à cela dans le Nord.

Les terres humides des latitudes supérieures sont des sites importants de biodiversité florale et faunique et elles sont vulnérables aux changements dans les précipitations, l'évaporation et l'écoulement superficiel (Wolf *et al.*, 2011). Dans l'Arctique, la fonte tardive des congères résiduels est une source importante d'eau pour les terres humides (Woo et Young, 2003); la durée de ces bancs de neige sera donc sensible à la tendance actuelle de diminution de la durée de la couverture nivale (Vincent *et al.*, 2011). Sur le plan biogéochimique, les terres humides sont aussi des « points chauds » actifs pour le métabolisme de l'azote et du carbone et les changements climatiques vont avoir des incidences sur leurs échanges avec l'atmosphère. Les terres humides boréales sont des émetteurs importants de GES et l'on sait que les plans humides plus petits et peu profonds (tourbières ombrotrophes surélevées) ont de plus fortes émissions de CO₂ et de CH₄ (McEnroe *et al.*, 2009) et que l'hiver contribue grandement aux flux annuels de CH₄ dans ce type de système (Pelletier *et al.*, 2007). Dans la région subarctique de la Suède, on a démontré que de récents changements dans le pergélisol et à la végétation étaient responsables d'augmentations de 22 à 66 % des émissions

de CH₄ de 1970 à 2000 (Christensen *et al.*, 2004). Une étude plus vaste couvrant des terres humides au Groenland, en Islande, en Scandinavie et en Sibérie a démontré que la température et les substrats de carbone organique pour le microbiote expliquaient près de 100 % de la variation annuelle moyenne de CH₄ (Christensen *et al.*, 2003).

4.3 Les milieux protégés – Les parcs

Dans le contexte des changements climatiques, les efforts de conservation deviennent une priorité majeure pour le Nord, car on reconnaît que si les écosystèmes des latitudes supérieures jouissent d'une moins grande biodiversité – et donc d'une moins grande redondance fonctionnelle, ils sont, de par leur nature même, plus sensibles aux perturbations (Post *et al.*, 2009). Les nouveaux parcs créés au Nunavik et au Nunatsiavut avec leurs aires protégées sont donc des investissements opportuns et extrêmement précieux pour le développement durable futur et la préservation des territoires nordiques. Les lacs, rivières et terres humides sont des éléments clés de l'héritage naturel de ces deux territoires et les parcs représentent d'excellents exemples de protection. Au Nunatsiavut, le plus grand parc est le parc national canadien des Monts-Torngat, qui comprend de nombreux fjords, lacs et rivières vierges, dans le secteur des lacs Komaktorvik et Chasm notamment. Dans le nord du Québec (Nunavik), le premier d'une série de parcs, le Parc national québécois des Pingualuit, a récemment vu le jour. En vertu de l'Entente Sanarrutik et soulignant le fait que « le potentiel touristique du Nunavik est sous-exploité », le gouvernement du Québec s'est engagé à fournir des ressources pour développer une série de parcs nordiques, tout particulièrement les parcs des Monts-Torngat-et-de-la-Rivière-Koroc (Kuururjuaq), du Lac-Guillaume-Delisle-Lac-à-l'Eau-Claire (maintenant connu sous le nom de Tursujuq – voir l'encadré 1), de la rivière George (Ulittaniujalik), de Tasiujaq, des Monts Puvurnituk et du Cap Wolstenholme. Le gouvernement a notamment accordé une enveloppe de 9,6 M\$ pour la création du Parc national des Pingualuit, les dépenses d'établissement et les coûts opérationnels des cinq premières années du parc.

La recherche et le suivi des écosystèmes sont des activités principales de Parcs Canada dans l'ensemble du pays et ce ministère publie régulièrement des rapports de situation à l'intention du public. Une telle approche devrait faire partie intégrante de la gestion des parcs nordiques. Certains des lacs contiennent des ressources remarquables qui ont un grand intérêt pour le public et la communauté scientifique. Par exemple, les sédiments de fond du lac de cratère Pingualuit (figure 4) renferment des données paléoclimatiques exceptionnelles qui remonteraient potentiellement jusqu'à 1,4 million d'années, soit plus de 8 cycles glaciaires. Le lac à l'Eau-Claire (encadré 1) est également un ancien lac de cratère intrigant, d'un très grand intérêt géologique et écologique. Non loin de là, les lacs des Loups Marins comptent une population intérieure de phoques d'eau douce que l'on estime à quelque 500 individus (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2008).

4.4 La pollution chimique

Étant donné la nature éloignée et vierge de la région subarctique et l'absence de grandes villes et de grosses industries, la pollution chimique des eaux par des sources polluantes locales n'est généralement pas un problème majeur au Nunavik et au Nunatsiavut à l'heure actuelle. Cependant, les mines abandonnées, les résidus des opérations minières existantes et les sites municipaux de rejet des ordures peuvent présenter des risques pour l'environnement dans certains endroits. De plus, les impacts de la pollution chimique vont probablement s'accroître avec le développement industriel, l'augmentation de la navigation maritime et l'expansion rapide des populations dans les villages nordiques. L'analyse des sédiments du lac Dauriat par Laperrière *et al.* (2009) à Schefferville a démontré qu'il y a eu une importante détérioration de la qualité de l'eau associée à l'évacuation des déchets municipaux et miniers pendant le développement de cette ville lors du boom minier. C'est de 1930 à 1970 que les sédiments ont capté la plus grande pollution de métaux; toutefois même 20 ans après la fermeture de la mine et l'exode de la population, le lac n'a pas encore retrouvé son état écologique initial.



Figure 4. Lac de cratère Pinguait, Nunavik. Photo de Denis Sarrazin, CEN/ArcticNet.

La pollution transportée sur de grandes distances continue d'être très inquiétante dans tout le Nord, y compris dans la présente région IRIS. On a détecté du mercure dans le manteau neigeux (Steffen *et al.*, 2005, 2006) et on a aussi détecté des contaminants d'hydrocarbures perfluorés dans les lacs les plus vierges de la région, bien qu'en concentrations extrêmement faibles (Gantner *et al.*, 2012). L'analyse du

mercure dans les sédiments de lac, y compris des lacs du Nunavik et du Nunatsiavut (exemples à la figure 5) montre que l'arrivée de ce métal toxique est encore en hausse (Muir *et al.*, 2009). D'autres analyses ont montré que les flux accrus de mercure étaient principalement dus au transport de sources lointaines et au dépôt de mercure anthropique plutôt qu'à la remobilisation de sources naturelles proches.

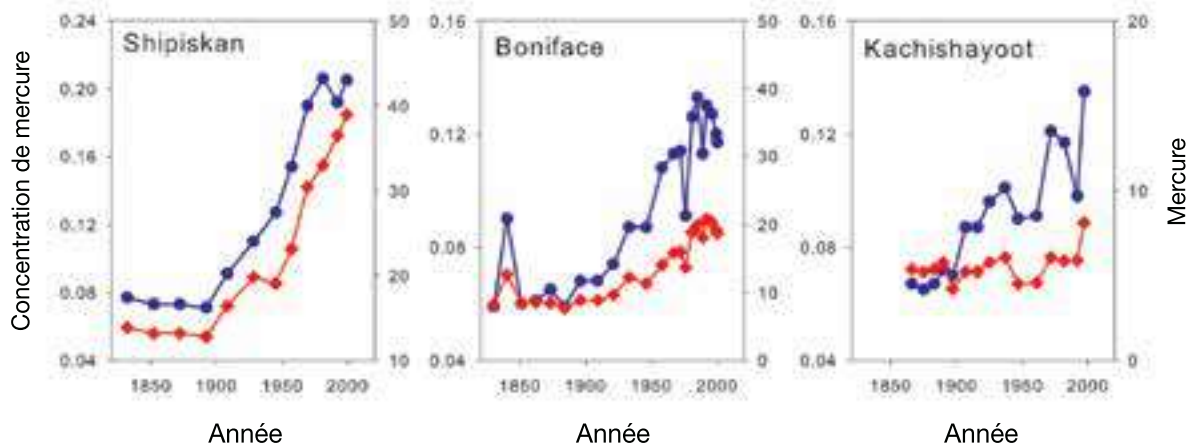


Figure 5. Tendances des concentrations de mercure dans les sédiments de lac ($\mu\text{g Hg}$ par g de poids sec de sédiment; cercles bleus; axes des Y à gauche) et flux de dépôt de mercure ($\mu\text{g Hg}$ par m^2 par an; losanges rouges; axe des y à droite) dans le lac Shipiskan, Labrador ($54^{\circ}5'N$, $62^{\circ}2'O$); lac B2 à Boniface, Nord du Québec ($57^{\circ}5'N$, $76^{\circ}1'O$); lac Kachishayoot ($55^{\circ}2'N$, $77^{\circ}4'O$), Nord du Québec. Dérivé de Muir *et al.*, 2009.

Ce contaminant et d'autres devront faire l'objet d'une surveillance continue surtout dans les réserves d'eau locales et les poissons qui sont habituellement récoltés comme aliments.

4.5 Les réserves d'eau potable

L'extrait qui suit provient d'un rapport préparé par ArcticNet et Nasivvik qui a été présenté aux maires du Nunavik (Martin *et al.*, 2005; 2009).

La plupart des villages du Nunavik ont maintenant une station d'épuration des eaux mais les maisons ne sont pas connectées à un système d'aqueduc à cause du pergélisol. Comme dans bon nombre de régions nordiques, l'eau est donc livrée quotidiennement par camion-citerne aux maisons où elle est entreposée dans des réservoirs (figure 6). Une grande partie des Nunavimmiut utilisent de l'eau non traitée. Cette eau est tirée des lacs, des ruisseaux et des rivières pendant les mois d'été ou bien elle est obtenue en faisant fondre de la glace ou de la neige en hiver et au printemps. Au Nunavik, une personne sur cinq est âgée de moins de cinq ans et comme



Figure 6. Livraison d'eau potable par camion-citerne à Kangiqsujuaq, Nunavik (Photo : R. Pienitz, CEN/ArcticNet).

ce groupe est caractérisé par un système immunitaire fragile, il représente un groupe à risque de contracter des gastroentérites. Pendant l'enquête *Qanuippitaa?* (automne 2004) à bord du brise-glace NGCC *Amundsen*, les chercheurs ont visité 232 maisons et 19 sites externes (ruisseaux, rivières et lacs utilisés comme source d'eau non traitée) dans 14 villages du Nunavik. Les échantillons d'eau ont été analysés au laboratoire à bord du navire, mais les échantillons obtenus pour analyse d'ADN ont été pré-traités sur le navire puis analysés au Centre de recherche en infectiologie (CRI) de la ville de Québec.

Le but premier de l'étude était d'évaluer les habitudes de consommation d'eau des résidents du Nunavik qui pourraient accroître leur risque de contracter des maladies, dans le contexte des changements climatiques. Le premier objectif était d'évaluer si l'eau provenant des réservoirs de maison, des sources d'eau brute et de l'eau non traitée entreposée dans des contenants de plastique individuels avaient une contamination microbiologique faible et était donc bonne à boire. Deuxièmement, l'étude cherchait à comparer la qualité de l'eau dans les réservoirs des maisons d'un village doté d'un règlement municipal sur le nettoyage des réservoirs (Puvirnituaq) à celle d'autres villages sans réglementation à cet égard, dans le but de faire des recommandations concernant le nettoyage des réservoirs (fréquence de nettoyage et procédures de nettoyage). Ce projet avait aussi un volet éducatif : quatre stagiaires inuits du Nunavik, du Nunavut, de l'Inuvialuit et de la région du Labrador ont participé à l'échantillonnage de l'eau et aux méthodes analytiques pour tester la qualité de l'eau de consommation.

Les indicateurs de la qualité de l'eau choisis étaient les coliformes totaux (CT), *Escherichia coli* (EC) et les entérocoques (EI) et ils ont été analysés d'après les techniques Colilert™ et Enterolert™. Ces techniques sont semblables à celles utilisées dans les villages du Nunavik pour vérifier la qualité de l'eau à la station d'épuration et à la station de remplissage des camions-citernes. L'eau était jugée impropre à la consommation humaine si la contamination était égale ou supérieure aux seuils suivants :

- * 10 coliformes totaux/100 mL
- * 1 *Escherichia coli*/100 mL
- * 1 entérocoque/100 mL

La présence et les quantités d'*Escherichia coli* et d'entérocoques obtenus par des méthodes de filtration sur membrane et d'ADN ont été comparées aux résultats obtenus avec les méthodes Colilert et Enterolert. De plus, des méthodes d'ADN ont aussi servi à déterminer l'absence ou la présence de *Cryptosporidium parvum/hominis* et *Giardia duodenalis*.

Dans les échantillons, 71 % de l'eau consommée provenait des réservoirs de maison et 29 % était de l'eau brute (eau tirée directement des ruisseaux, rivières et lacs). Dans cette étude, on a déterminé que l'eau provenant des réservoirs de maison (désinfectée ou partiellement désinfectée) avait une bonne qualité microbiologique et était donc potable. L'eau non traitée était souvent gardée dans des contenants de plastique (bouteilles) et la plupart du temps cette eau n'était pas réfrigérée dans la maison. Les contenants de plastique étaient plus contaminés (CT, EC, EI) que les réservoirs des maisons et, contrairement à ce qu'on aurait pu croire, le pourcentage de contamination était plus faible dans les réservoirs de maison qui avaient été nettoyés plus de six mois auparavant. Il semble que le nettoyage fréquent, mais inadéquat, pourrait contribuer à la recirculation des bactéries dans le réservoir, ce qui indique la nécessité d'améliorer les protocoles de nettoyage. Les procédures établies il y a quelques années à Puvirnituq semblent être adéquates mais d'autres recherches sur la fréquence de nettoyage sont nécessaires.

L'enquête sur la santé *Qanuippitaa?* a suscité un grand intérêt chez les stagiaires inuits qui ont participé aux opérations d'échantillonnage et d'analyse. Après avoir terminé les analyses, les résultats anormaux ont été communiqués aux centres de santé communautaires. En avril 2005, les maires des villages ont reçu un rapport des résultats des tests d'eau dans leur communauté (Martin *et al.* 2005) et un résumé global pour tous les villages du Nunavik.

Les résultats obtenus de cette enquête peuvent servir à faire des recommandations générales aux résidents du Nunavik et à mettre en place des projets en lien avec la qualité de l'eau. Si la qualité de l'eau était bonne dans les réservoirs des maisons pendant l'étude, cela ne signifie pas qu'elle est en tout temps bonne à boire. Les résidents devraient se conformer aux avis d'ébullition lorsqu'ils sont émis. L'eau non traitée provenant des rivières, des lacs et des ruisseaux pourrait être dangereuse pour la santé et devrait toujours être bouillie avant consommation (1 minute). Comme l'eau brute entreposée dans des contenants en plastique est souvent contaminée, les contenants devraient être nettoyés régulièrement et l'eau devrait toujours être bouillie avant d'être consommée (1 minute).

En février 2005, après l'enquête sur la santé *Qanuippitaa?*, des gestionnaires de l'eau potable et des gens oeuvrant en santé publique (scientifiques et médecins) ont participé à un atelier à Kuujuaq. On y a d'abord présenté les résultats microbiologiques obtenus de l'enquête. Par la suite, les participants ont été invités à déterminer les priorités et à partager leurs points de vue et leurs idées concernant les projets en lien avec la qualité de l'eau de consommation. Voici les priorités cernées : 1) encourager la consommation d'eau plutôt que de jus et de boissons gazeuses, surtout chez les enfants; 2) installer de petits systèmes de désinfection (UV) dans des endroits spécifiques pour éviter la contamination parasitaire; 3) donner de la formation sur le nettoyage des réservoirs et l'évaluation de la qualité de l'eau (microbiologique) avant et après le nettoyage dans différentes situations (type de réservoirs, type de nettoyage, fréquence); 4) diffuser de l'information sur le nettoyage des contenants de plastique utilisés pour entreposer de l'eau brute); 5) mettre en place des projets de surveillance des cas de gastroentérite (santé publique); 6) et des projets de surveillance environnementale.

Il faut également tenir compte de facteurs culturels dans la mise en œuvre des protocoles améliorés de sécurité de l'eau. Dans bon nombre de villages, il existe une longue tradition d'aller chercher son eau aux mêmes sources, lacs et rivières. La perspective de remplacer cette habitude

par des réserves hygiéniques d'eau traitée pourrait être accueillie avec méfiance. Ainsi, selon les résultats d'un sondage mené dans la communauté autochtone de Rigolet, seulement 4 % des habitants considéraient l'eau de leur territoire comme n'étant pas sécuritaire, alors que 37 % considéraient l'eau du robinet comme n'étant pas sécuritaire (Goldhar, 2011).

4.6 L'hydroélectricité

L'hydroélectricité est un service écosystémique majeur (figure 1) qui harnache les ressources hydriques du nord du Québec et du Labrador. Deux des plus grandes centrales électriques souterraines du monde sont situées dans cette région : la centrale Robert-Bourassa aux coordonnées 53°8' N; 77°4' O d'une capacité de 5 616 mégawatts (MW) et la centrale adjacente La Grande-2-A d'une capacité de 2 106 MW (ensemble, elles forment le complexe La Grande) et la centrale de Churchill Falls aux coordonnées 53°6' N; 64°3' O (5 428 MW en place, agrandissement possible jusqu'à 6 300 MW). Ces centrales sont situées à des latitudes un peu au sud des frontières septentrionales du Nunavik (55° N) et du Nunatsiavut (environ 54° N), mais il existe un intérêt considérable à étendre cette exploitation des ressources hydroélectriques vers le nord, incluant quelques projets à petite échelle (encadré 2).

Dans les années 1970, Hydro-Québec a entrepris la planification d'un projet situé le long de la Grande rivière de la Baleine, à l'est du village de Whapmagoostui-Kuujuaraapik, avec une capacité installée de 3 200 MW nécessitant la construction de 575 km de routes d'accès. Ce projet a fait l'objet de débats concernant sa durabilité économique et ses impacts environnementaux et il a été mis en veilleuse en 1982, puis réactivé en 1989 et à nouveau suspendu par le gouvernement du Québec en 1994. Toutefois, il existe un besoin croissant d'énergie et d'industries durables dans le Nord et la Commission de la qualité de l'environnement du Nunavik soulignait ceci en 2009 : « On ne peut présumer aujourd'hui que les eaux côtières, des rivières et des lacs du Nunavik ne seront jamais exploitées en tant que source d'énergie. »

En 2002, la Société Makivik, l'Administration régionale Kativik et le gouvernement du Québec ont ratifié l'Entente Sanarrutik (détails disponibles en ligne à www.autochtones.gouv.qc.ca/rerelations_autochtones/ententes/inuits/version-consolidee-2008.pdf). L'Entente évaluait le potentiel hydroélectrique total du Nunavik entre 6 300 et 7 200 MW et identifiait plusieurs rivières nordiques ayant un grand potentiel hydroélectrique (les rivières Nastapoka, à la Baleine, George, Aux Mélézes, Caniapiscou et Aux Feuilles) et d'autres rivières ayant un potentiel moindre (Kovik, Decoumte, Buet). L'Entente cite explicitement « Le Québec remettra à Makivik et aux communautés inuites concernées du Nunavik en temps opportun toute l'information concernant tous les nouveaux projets hydroélectriques proposés. » et « Makivik et les communautés inuites du Nunavik qui pourraient être touchées par les projets seront impliquées dans la description technique des projets potentiels et consultées afin de minimiser les impacts environnementaux et sociaux pour les communautés. » Comme pour toute question concernant les ressources hydriques abordées dans ce chapitre, ce processus de consultation a une importance critique puisque le développement hydroélectrique comporte une foule d'impacts écologiques et sociaux potentiels, y compris les compromis à faire en ce qui concerne la valeur des milieux sauvages. Par exemple, le développement de la rivière Nastapoka comme ressource hydroélectrique aurait des implications sur la qualité de l'habitat des phoques d'eau douce dans les lacs des Loups Marins à sa tête et la protection de cette biodiversité unique deviendrait une question d'intérêt international. De telles caractéristiques sont également une source importante de préoccupation à l'échelon local. Ainsi, suite au processus de consultation des communautés nordiques en vue de la création du parc national Tursujuq, le Comité consultatif de l'environnement Kativik a présenté ce qui suit dans un avis : « Considérant le caractère particulièrement scénique de la rivière Nastapoka et la particularité des ressources fauniques de cette rivière et de son bassin versant, en particulier la population de phoques d'eau douce qui fréquentent les lacs des Loups Marins, tout à fait unique en Amérique du Nord, de même que la population

Encadré 2. Le projet hydroélectrique Innavik

Un exemple de développement socioéconomique durable

Cette information provient du site www.innavik.com/

Le projet Innavik a vu le jour en 2007. Il s'agit du projet de construction d'une centrale hydroélectrique d'une capacité de 8 MW près du village d'Inukjuak au Nunavik. Malgré sa petite taille, la centrale pourrait réduire considérablement la dépendance et la consommation de diesel de la communauté, tout en réduisant ses émissions de gaz à effet de serre d'environ 15 000 tonnes de CO par an. Une des priorités du projet Innavik est de veiller à la protection environnementale de la rivière Inukjuak et de ses environs. La supervision faite par la corporation foncière locale Pituvik (CFP) permet de s'assurer que les intérêts de la communauté et de la région sont au cœur même de toutes les étapes du projet. Un des objectifs premiers est de fournir une source d'énergie économique et fiable en accord avec le développement socioéconomique durable de la communauté. La CFP est propriétaire majoritaire de la centrale et elle verra donc à soutenir économiquement tous les bénéficiaires et les Inukjuakmiut.



des bélugas de la Baie d'Hudson et celles des saumons ouananiches qui sont considérées elles aussi comme des espèces vulnérables, le CCEK recommande que l'ensemble de son bassin versant soit inclus dans le futur parc. » (Comité consultatif de l'environnement Kativik, 2008). Ces considérations peuvent avoir été perçues comme secondaires comparativement aux claims miniers et aux ressources hydroélectriques décrites dans l'Entente Sanarrutik, car le plan de gestion provisoire du parc excluait les lacs des Loups Marins et la rivière Nastapoka du projet de parc (Carte 4, la limite proposée; Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs,

2008). Les limites du parc sont actuellement révisées afin d'inclure ces caractéristiques uniques (Service des parcs, MDDEP, communication, 2 mai 2012). D'autres considérations concernant la gestion du territoire sont présentées au chapitre 1 de ce volume.

Les développements hydroélectriques devront aussi évaluer avec soin les implications des changements climatiques sur les variations dans les réserves d'eau, surtout l'ampleur actuelle et future de l'apport en eau par les précipitations (qui vont vraisemblablement connaître des hausses avec les changements climatiques, voir le

chapitre 2), l'importance des pertes par l'évaporation (aussi en hausse probable avec les températures plus chaudes et les périodes plus longues de conditions sans glace) et les changements dans les espèces de plantes aquatiques et leur densité, ce qui pourrait influencer le volume stocké et les protocoles opérationnels. Des changements futurs dans les conditions de glace sur les lacs et les rivières pourraient aussi affecter les opérations hydroélectriques (Prowse *et al.*, 2011). De plus, il faudra porter une attention particulière à l'ampleur de la variabilité naturelle de l'hydroclimat. Les évaluations basées sur l'analyse dendrochronologique dans le Nord du Québec semblent indiquer que dans le passé cette variabilité aurait donné lieu à des fluctuations de l'ordre de 25 % (Lemay et Bégin, 2008). Le projet de recherche ARCHIVES (Analyse Rétrospective des Conditions Hydroclimatiques à l'aide des Indicateurs et de leur Variabilité à l'Échelle Séculaire), menée en partenariat avec ArcticNet, analyse les enregistrements dans les sédiments et les cernes de croissance des arbres (dont 120 chronologies de 200 ans pour 20 à 30 arbres par site).

Les variations passées de l'hydroclimat régional sont reconstituées à l'aide d'analyses statistiques élaborées, par exemple l'analyse de réseau neural (détails à <http://archives.ete.inrs.ca>).

4.7 Conclusions et recommandations

Les stratégies les plus efficaces pour une gestion durable à long terme des écosystèmes aquatiques sont celles qui combinent les perspectives mondiales et les connaissances scientifiques à la compréhension locale des facteurs culturels, environnementaux et économiques (Kumagai et Vincent, 2003). Si cette approche intégrale de la gestion des ressources aquatiques a été appliquée avec succès dans plusieurs régions du monde, elle n'a pas été vraiment considérée aux latitudes nordiques où les changements environnementaux vont probablement avoir des répercussions majeures sur l'approvisionnement en eau potable, sur les habitats fauniques d'eau douce et sur



les réserves d'eau pour les besoins humains (Wrona *et al.*, 2007; Vincent et Laybourn- Parry, 2008). Comme il est décrit dans ce chapitre, cette approche combinée est particulièrement pertinente au Nunavik, où le succès du développement des ressources hydriques s'articule non seulement autour des meilleurs conseils et perspectives scientifiques, mais aussi sur la pleine consultation des communautés nordiques et sur le respect, la compréhension et l'inclusion des perspectives culturelles. Ce concept central de science mondiale et d'intégration des communautés locales est au coeur des grandes recommandations qui suivent :

- * Le Nunavik et le Nunatsiavut ont un riche héritage naturel de lacs, de rivières et de terres humides qui nécessite une intendance et une protection de tous les instants. Les autorités et les communautés nordiques devraient continuer à développer leur leadership et leurs rôles de gestionnaires dans le cadre de la surveillance et de la protection de ces écosystèmes vulnérables.
 - * Les lacs thermokarstiques représentent une catégorie importante d'écosystèmes nordiques d'eau douce. Ils augmentent en nombre et en superficie totale dans les régions du Nord circumpolaire, dont le Nunavik, car le pergélisol continue à se réchauffer et à se dégrader. Étant donné leur production très active de gaz à effet de serre et leur importance pour la flore et la faune aquatiques, ils devront être surveillés de près et étudiés davantage.
 - * Créer et gérer des parcs est une façon efficace d'obtenir la meilleure protection possible dans le contexte des changements climatiques et du développement en cours dans le Nord, de même qu'une façon de stimuler l'écotourisme et les activités économiques connexes. La recherche et le suivi environnemental devraient être des composantes essentielles des plans de gestion stratégique de ces parcs nordiques.
 - * Éviter et atténuer la pollution chimique des écosystèmes aquatiques du Nord requiert une vigilance continue.
- La hausse constante des concentrations de certains contaminants transportés de sources lointaines, comme le mercure, requiert une surveillance en collaboration avec les communautés nordiques et des partenaires du monde entier.
- * On a cerné toute une gamme de problèmes liés à l'eau de consommation dans tout le Nunavik et on a diffusé une série de recommandations afin de réduire ces problèmes. L'eau brute des rivières, des lacs et des ruisseaux pourrait être source de problèmes pour la santé et elle devrait toujours être bouillie avant d'être consommée. L'eau brute entreposée dans des contenants en plastique est souvent contaminée. Les contenants devraient donc être nettoyés régulièrement et l'eau devrait toujours être bouillie avant d'être consommée.
 - * Le Nord continue à offrir un potentiel pour le développement hydroélectrique à petite et à grande échelle. De tels projets exigent une consultation en temps opportun avec tous les intervenants, surtout les communautés locales, afin d'évaluer les impacts environnementaux et sociaux, y compris les effets sur les valeurs de la nature sauvage. Les complexes hydroélectriques potentiels et ceux qui sont en activité actuellement devront aussi se fonder sur de la recherche continue pour obtenir des projections sur les ressources en eau dans le futur, y compris des projections à échelle régionale des futures précipitations et couvertures de glace, des évaluations des scénarios d'évaporation dans un climat en changement ainsi que des analyses des fluctuations interannuelles et autres variations. La recherche sur les paléoclimats continuera de jouer un rôle utile dans ces évaluations.

4.8 Remerciements

Cette recherche a été rendue possible grâce au financement du Réseau des centres d'excellence ArcticNet, du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, du programme des chaires de recherche du Canada, du Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord et du Fonds de recherche du Québec – nature et technologies. Nous souhaitons remercier Mickaël Lemay pour ses précieux conseils et son aide rédactionnelle pendant la préparation du présent manuscrit, Michel Allard pour ses commentaires d'expert et ses conseils relativement à ce projet, Sylvain Arsenault pour son soutien technique et la préparation de la carte bathymétrique de l'encadré 1 (Arsenault, 1993) et Marie-Josée Martineau et Andrée-Sylvie Carbonneau pour leur assistance technique.

4.9 Références

- ACIA 2005. Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, 1042, pp.
- Arsenault, S. 1993. Lac à l'Eau-Claire – Field report. GREPAUL Report, 93-150, 65 pp.
- Bergeron, M. et Vincent, W. F. 1997. Microbial food web responses to phosphorus and solar UV radiation in a subarctic lake. *Aquatic Microbial Ecology* 12:239-249.
- Bhiry, N., Delwaide, A., Allard, M., Bégin, Y., Filion, L., Lavoie, M., Payette, S., Pienitz, R., Nozais, C., Saulnier-Talbot, É., et Vincent, W. F. 2011. Environmental change in the Great Whale River region, Hudson Bay: Five decades of multi-disciplinary research by Centre d'études nordiques (CEN). *Écoscience*, 18:182-203.
- Breton, J., Vallières, C., Laurion, I. 2009. Limnological properties of permafrost thaw ponds in northeastern Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66:1635-1648.
- Butman, D. et Raymond, P. A. 2011. Significant efflux of carbon dioxide from streams and rivers in the United States. *Nature Geoscience*, doi:10.1038/NGEO1294.
- Christensen, T. R., Johansson, T., Akerman, H. J., Mastepanov, M., Malmer, N., Friborg, T., Crill, P. M., et Svensson, B. H. 2004. Thawing sub-arctic permafrost: Effect on vegetation and methane emissions. *Geophysical Research Letters*, 31, L04501, doi:10.1029/2003GL018680.
- Christensen, T. R., Joabsson, A., Ström, L., Panikov, N., Mastepanov, M., Öquist, M., Svensson, B. H., Nykänen, H., Martikainen, P. et Oskarsson, H. 2003. Factors controlling large scale variations in methane emissions from wetlands. *Geophysical Research Letters*, 30:1414, doi:2003GL016848.
- Delisle, C. E. et Roy, L. 1989. L'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) du Lac du Cratère du Nouveau-Québec. In: Bouchard M. A. and Péloquin, S. (Eds), *L'histoire naturelle du cratère du Nouveau-Québec*; vol. 7, Collection Environnement et Géologie, p. 261-276.
- Fontaine, J., Dewailly, E., Benedetti, J.-L., Pereg, D., Ayotte, P. et Déry, S. 2008. Re-evaluation of blood mercury, lead and cadmium concentrations in the Inuit population of Nunavik (Quebec): a cross-sectional study. *Environmental Health*, 7:25, doi:10.1186/1476-069X-7-25.
- Gagné, F., Poissant, L., et Blaise, C. 2009. Ecotoxicity of snowpack collected from selected sites in Quebec, Canada. *Water Air and Soil Pollution*, 201: 121-133.
- Gantner, N., Michaud, W. K., Veillette, J., Bajno, R., Muir, D. C., Vincent, W. F., Power, M., Dixon, B., Reist, J. D., Pienitz, R. et Hausmann, S. 2012. Physical and biological factors affecting mercury and perfluorinated contaminants in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) of Pingualuit Crater Lake (Nunavik, Canada). *Arctic*, 65:195-206.
- Gibson, J. A. E., Vincent, W. F. et Pienitz, R. 2001. Hydrologic control and diurnal photobleaching of CDOM in a subarctic lake. *Archiv für Hydrobiologie*. 152:143-159.
- Goldhar, C.A. 2011. Water ways: vulnerability to freshwater changes in the Inuit settlement region of Nunatsiavut, Labrador. M.A. thesis, Dept of Geography, Memorial University, St. John's, Newfoundland and Labrador, Canada, 141 pp.

- Katavik Environmental Advisory Committee. 2008. Position Paper concerning the Lacs-Guillaume-Deslisle-et-à-l'Eau-Claire Park Project, 8pp. Available online at: www.keac-ccek.ca/documents/memoires-avis/AvisProjetParcGD-EC_24aout08_-E.pdf
- Kativik Environmental Quality Commission. 2009. Nunavik: A homeland in transition. Kativik Regional Government, Québec, 56 pp. Available online at: <http://www.keqc-cqek.ca/KEQC-AR09-e-F-lo.pdf>
- Kumagai, M. et Vincent, W. F. (Eds) 2003. Freshwater Management - Global versus Local Perspectives. Springer-Verlag, Tokyo, 233 pp.
- Laperrière, L., Pienitz, R., Fallu, M.-A., Hausmann, S. and Muir, D. 2009. Impacts de l'activité minière et des eaux usées sur la santé du lac Dauriat à Schefferville : données paléolimnologiques. *Le Naturaliste Canadien*, 133:83-95.
- Laurion, I., Vincent, W. F. et D. R. Lean. 1997. Underwater ultraviolet radiation: development of spectral models for northern high latitude lakes. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 65:107-114.
- Laurion, I. et Vincent, W. F. 1998. Cell size versus taxonomic composition as determinants of UV sensitivity in natural phytoplankton communities. *Limnology and Oceanography*, 43:1774-1779.
- Laurion, I., Vincent, W. F., Retamal, L., Dupont, C., Francus, P., MacIntyre, S. et Pienitz, R. 2010. Variability in greenhouse gas emissions from permafrost thaw ponds. *Limnology and Oceanography*, 55:115-133.
- Lemay, M., et Bégin, Y. 2008. Hydroclimatic analysis of an ice-scar tree-ring chronology of a high-boreal lake in Northern Quebec, Canada. *Hydrology Research*, 39:451-464.
- Maltais, M.-J. et Vincent, W. F. 1997. Periphyton community structure and dynamics in a subarctic lake. *Canadian Journal of Botany*, 75:1556-1569.
- Martin, D., Belanger, D., Gosselin, P., Brazeau, J., Furgal, C. et Déry, S. 2009. Drinking water and potential threats to human health in Nunavik: adaptation strategies under climate change conditions. *Arctic*, 60:195-202.
- Martin, D., Levesque, B., Maguire, J.-S., Maheux, A., Furgal, C., Bernier, J.-L., et Dewailly, E. 2005. Drinking water quality in Nunavik: Health impacts in a climate change context. Final Report, ArcticNet and Nasivvik, Québec.
- McEnroe, N. A., Roulet, N. T., Moore, T. R., et Garneau, M. 2009. Do pool surface area and depth control CO₂ and CH₄ fluxes from an ombrotrophic raised bog, James Bay, Canada? *Journal of Geophysical Research in Biogeosciences*, 114: G01001, doi:10.1029/2007JG000639.
- Milot-Roy, V. et W. F. Vincent. 1994. Ultraviolet radiation effects on photosynthesis: the importance of near-surface thermoclines in a subarctic lake. *Archiv für Hydrobiologie. (Special issue on UV radiation in freshwater ecosystems)*, 43: 171-184.
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs. 2008. Plan directeur provisoire - Parc national des Lacs-Guillaume-Deslisle-et-à-l'Eau-Claire. Gouvernement du Québec, Québec, 51 pp. Available online at: <http://www.mddep.gouv.qc.ca/parcs/projets/Guil-Delisle-Eauclaire/pdp.pdf>
- Moquin, H. (2005) Freshwater in Inuit Communities, *ITK Environment Bulletin*, 3:4-8.
- Muir, D. C. G., Wang, X., Yang, F., Nguyen, N., Jackson, T. A., Evans, M. S., Douglas, M., Kock, G., Lamoureux, S., Pienitz, R., Smol, J. P., Vincent, W. F. et Dastoor, A. 2009. Spatial trends and historical deposition of mercury in eastern and northern Canada inferred from lake sediment cores. *Environmental Science and Technology*, 43: 4802-4809.
- Payette, S., Delwaide, A., Caccianiga, M et Beauchemin, M. 2004. Accelerated thawing of subarctic peatland permafrost over the last 50 years. *Geophysical Research Letters*, 31, doi:10.1029/2004GL020358.
- Pelletier, L., Moore, T. R., Roulet, N. T., Garneau, M., et Beaulieu-Audy, V. 2007. Methane fluxes from three peatlands in the La Grande Rivière watershed, James Bay lowland, Canada. *Journal of Geophysical Research - Biogeosciences*, 112: G01018, doi:10.1029/2006JG000216.

- Pienitz, R., Douglas, M. S. V. et Smol, J. P. 2004. Long-Term Environmental Change in Arctic and Antarctic Lakes. *Developments in Paleoenvironmental Research*, vol. 8, Springer, Dordrecht, 562 pp.
- Pienitz R., Doran P. T. et Lamoureux S. F. 2008. Origin and geomorphology of lakes in the polar regions. In: Vincent W.F. et Laybourn-Parry J. (Eds), *Polar Lakes and Rivers –Limnology of Arctic and Antarctic Aquatic Ecosystems*, Oxford University Press, p. 25-41.
- Plante, L. 1986. Modélisation géophysique des cratères météoritiques du lac à l'Eau-Claire, Nouveau-Québec. Mémoire de maîtrise, Département de géologie, Université Laval, Québec, 172 pp.
- Plante, L., Seguin, M.-K., et Rondot, J. 1990. Étude gravimétrique des astroblèmes du lac à l'Eau-Claire, Nouveau-Québec. *Géoeexploration*, 26:303-323.
- Post, E., Forchhammer, M. C., Bret-Harte, M. S., Callaghan, T. V., Christensen, T. R., Elberling, B., Fox, A. D., Gilg, O., Hik, D. S., Høye, T. T., Ims, R. A., Jeppesen, E., Klein, D. R., Madsen, J., McGuire, A. D., Rysgaard, S., Schindler, D. E., Stirling, I., Tamstorf, M.P., Tyler, N. J. C., van der Wal, R., Welker, J., Wookey, P. A., Schmidt, N. M. et Aastrup, P. 2009. Ecological dynamics across the Arctic associated with recent climate change. *Science*, 325, 1355-1358.
- Prowse, T., Alfredsen, K., Beltaos, S., Bonsal, B., Duguay, C., Korhola, A., McNamara, J., Pienitz, R., Vincent, W. F., Vuglinsky, V. et Weyhenmeyer, G. 2011. Changing lake and river ice regimes: Trends, effects and implications. In: *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2011. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*, Oslo, 53 pp.
- Rae, R. et Vincent W. F. 1998. Effects of temperature and UV radiation on microbial food web structure: potential responses to global change. *Freshwater Biology*, 40:1-12.
- Rae, R. et Vincent, W. F. 1998. Phytoplankton production in subarctic lake and river ecosystems: Development of a photosynthesis-temperature-light model. *Journal of Plankton Research*, 20:1293-1312.
- Rautio, M. et Vincent, W. F. 2006. Benthic and pelagic food resources for zooplankton in shallow high-latitude lakes and ponds. *Freshwater Biology*, 51:1038-52.
- Rautio, M., Dufresne, F., Laurion, I., Bonilla, S., Vincent, W. F. et Christoffersen, K. 2011. Shallow freshwater ecosystems of the circumpolar Arctic. *Écoscience*, 18:294-222
- Saulnier-Talbot, E., Pienitz, R. et Vincent, W. F. 2003. Holocene lake succession and palaeo-optics of a subarctic lake, northern Québec (Canada). *The Holocene*, 13:517-526.
- Saulnier-Talbot, É. et Pienitz, R. 2009. Postglacial chironomid assemblage succession in northernmost Ungava Peninsula, Canada. *Journal of Quaternary Science* 25:203-213.
- Schuur, E. A. G., Bockheim, J., Canadell, J. G., Euskirchen, E., Field, C. B., Goryachkin, S. V., Hagemann, S., Kuhry, P., Laflour, P. M., Lee, H., Mazhitova, G., Nelson, F. E., Rinke, A., Romanovsky, V. E., Shiklomanov, N., Tarnocai, C., Venevsky, S. Vogel, J. G. et Zimov, S. A. 2008. Vulnerability of permafrost carbon to climate change: Implications for the global carbon cycle. *BioScience*, 58:701-714.
- Smith, L. C., Sheng, Y., MacDonald, G. M., et Hinzman, L. D. 2005. Disappearing Arctic lakes. *Science*, 308:1429.
- Smol, J. P. et Douglas, M. S. V. 2007. Crossing the final ecological threshold in high Arctic ponds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104:12395-12397.
- Steffen, A., Schroeder, W., Macdonald, R., Poissant, L. et Konoplev, A. 2005. Mercury in the Arctic atmosphere: An analysis of eight years of measurements of GEM at Alert (Canada) and a comparison with observations at Amderma (Russia) and Kuujjuarapik (Canada). *Science of the Total Environment*, 342:185-198.
- Steffen, A., Schroeder, W., Macdonald, R., Poissant, L., Konoplev, A. 2006. Scavenging of gaseous mercury by acidic snow at Kuujjuarapik, Northern Quebec. *The Science of the Total Environment*, 355:118-126.

- Swadling, K. M., Gibson, J. A. E., Pienitz, R. et Vincent, W. F. 2001. Biogeography of copepods in subarctic Québec Canada. *Hydrobiologia*, 453/454: 341-350.
- Rautio, M. et Vincent, W. F. 2006. Benthic and pelagic food resources for zooplankton in shallow high-latitude lakes and ponds. *Freshwater Biology*, 51:1038-52.
- Tarnocai, C., Canadell, J. G., Schuur, E. A. G., Kuhry, P., Mazhitova, G. et Zimov, S. 2009. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Global Biogeochemical Cycles*, 23,GB2023, doi:10.1029/2008GB003327.
- Teodoru, C., Prairie, Y. T., et del Giorgio, P.A. 2009. Stream pCO₂ dynamics in boreal Québec, and role of streams and rivers in regional CO₂ budgets. *Global Biogeochemical Cycles* 23, GB2012, doi:10.1029/2008GB003404.
- Vincent, W. F. 2009. Effects of climate change on lakes. In: Likens, G. E. (Ed), *Encyclopedia of Inland Waters* vol. 3, Elsevier, Oxford U.K., p. 55-60.
- Vincent, W. F. et Pienitz, R. 1996. Sensitivity of high latitude freshwater ecosystems to global change: temperature and solar ultraviolet radiation. *Geoscience Canada*, 23:231-236.
- Vincent, W. F. et Laybourn-Parry, J. (Eds). 2008. *Polar Lakes and Rivers – Limnology of Arctic and Antarctic Aquatic Ecosystems*. Oxford University Press, U.K, 327 pp.
- Vincent, W. F. et Smol, J. P (Eds). 2009. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change. *Limnology and Oceanography* (special issue), 54:2273-2564.
- Vincent, W. F., Whyte, L. G., Lovejoy C., Greer, C. W., Laurion, I., Suttle, C. A., Corbeil, J. et Mueller, D. R. 2009. Arctic microbial ecosystems and impacts of extreme warming during the International Polar Year. *Polar Science*, 3:171-180.
- Vincent, W. F., Callaghan, T. V., Dahl-Jensen, D., Johansson, M., Kovacs, K. M., Michel, C., Prowse, T., Reist, J. D. et Sharp, M. 2011. Ecological implications of changes in the Arctic cryosphere. *Ambio*, 40:87-99.
- Sanarrutik Agreement “Partnership Agreement on Economic and Community Development in Nunavik”, April 9, 2002. Available online at: http://www.saa.gouv.qc.ca/relations_autochtones/ententes/inuits/sanarrutik-consolidee_en.pdf.
- Walter, K. M., Zimov, S. A., Chanton, J. P., Verbyla, D., Chapin, F. S. 2006. Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming. *Nature* 443:71-75.
- Walter, K. M., Edwards, M. E., Grosse, G., Zimov, S. A. et Chapin III, F. S. 2007. Thermokarst lakes as a source of atmospheric CH₄ during the last deglaciation. *Science*, 318:633-636.
- Watanabe, S., Laurion, I., Pienitz, R., Chokmani, K. et Vincent, W. F. 2011. Optical diversity of thaw lakes in discontinuous permafrost: A model system for water color analysis. *Journal of Geophysical Research – Biogeosciences*, 116, G02003, doi:10.1029/2010JG001380.
- Wolfe, B. B., Light, E. M., Macrae, M. L., Hall, R. I., Eichel, K., Jasechko, S., White, J., Fishback, L. et Edwards, T. W. D. 2011. Divergent hydrological responses to 20th century climate change in shallow tundra ponds, western Hudson Bay Lowlands. *Geophysical Research Letters*, 38, L23402, doi:10.1029/2011GL049766.
- Woo, M. K. et Young, K. L. 2003. Hydrogeomorphology of patchy wetlands in the High Arctic polar desert environment. *Wetlands*, 23:291-309.
- Woo, M. K. et Young, K. L. 2010. Hydrologic processes. In: *Shell Wetland International Study of Oil and Gas Industry Impact Mitigation on Arctic Wetlands, Wetland Recovery and Restoration*. Unpublished ms, February 27, 2010.
- Wrona, F. J., Prowse, T. D., Reist, J. D., Hobbie, J. E., Lévesque, L. M. J., et Vincent, W. F. 2006. Climate impacts on Arctic freshwater ecosystems and fisheries: Background, rationale and approach of the Arctic Climate Impact Assessment (ACIA). *Ambio*, 35:326-329.



Chapitre 5. Les impacts des changements climatiques sur la sécurité alimentaire au Nunavik et au Nunatsiavut

Auteurs principaux

Christopher Furgal¹, Laurie Chan², Martin Tremblay³, V Rajdev¹, Michael Barrett⁴, Tom Sheldon⁵

¹Indigenous Environmental Studies Program, Université Trent, Peterborough (Ontario); ²Université d'Ottawa, Ottawa (Ontario); ³Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, Ottawa (Ontario);

⁴Service des ressources renouvelables, Administration régionale Kativik, Kuujuuaq (Nunavik); ⁵Division de l'Environnement, gouvernement du Nunatsiavut, Nain (Nunatsiavut)

Résumé

L'état de la sécurité alimentaire dans toutes les régions inuites, y compris le Nunavik et le Nunatsiavut, est beaucoup moins bon que la moyenne nationale. Les individus signalent qu'il leur est difficile d'obtenir des aliments en quantité suffisante et d'accéder à leurs aliments préférés. Puisque le régime des Inuits est constitué d'aliments qui proviennent du commerce comme de l'environnement local, la sécurité alimentaire est influencée par plusieurs facteurs, dont des forces environnementales, politiques, sociales et économiques. Il est difficile de prédire quelles seront les répercussions précises des changements et de la variabilité du climat sur le transport, l'entreposage et la distribution des aliments du commerce ou sur la disponibilité, l'accessibilité et la qualité des aliments traditionnels ou sauvages. Toutefois, le rapport entre la variabilité climatique et d'autres changements dans les conditions environnementales et leurs influences sur l'accessibilité des aliments traditionnels ou sauvages dans ces deux régions ont fait l'objet d'études dans le cadre de plusieurs projets d'ArcticNet au cours des dernières années. Malgré l'importance reconnue des aliments traditionnels ou sauvages sur la santé et le bien-être, on remarque une diminution de leur consommation avec le temps. Néanmoins, de nombreux résidants gardent encore des liens très étroits avec le territoire en participant à des activités de chasse, de pêche et de collecte. Alors que les résidants sont nombreux à signaler que les changements météorologiques locaux et les normes climatiques influencent la distribution des espèces clés ou leur accessibilité, les chasseurs d'expérience eux font état de certains mécanismes d'adaptation conférant une certaine protection, jusqu'à maintenant, contre les impacts de ces changements sur leur capacité à localiser et à acquérir les ressources adéquates d'aliments traditionnels. Toutefois, les limites de ces stratégies d'adaptation ne sont pas bien comprises. Les programmes locaux d'aide alimentaire peuvent être essentiels pour aider les communautés à s'adapter aux maintes pressions auxquelles sont soumis leurs systèmes alimentaires en changement avec le temps.

5.1 Présentation des systèmes alimentaires du Nunavik et du Nunatsiavut

Dans de nombreuses communautés nordiques, le régime alimentaire des résidants est composé d'un mélange d'aliments importés de l'extérieur de la région et vendus dans les marchés locaux et d'aliments locaux récoltés dans l'environnement. Les articles qui proviennent d'ailleurs sont transportés dans les villages du Nunavik et du Nunatsiavut par avion et par bateau. Les aliments issus de la terre, de la mer et des eaux douces de la région comprennent une variété d'espèces propres à la communauté ou à la région.

La consommation actuelle d'aliments du commerce et d'aliments traditionnels (comme on les appelle habituellement au Nunavik) ou aliments sauvages (comme on les appelle habituellement au Nunatsiavut) – c.-à-d. les



aliments provenant de l'environnement local –, varie d'une région à l'autre et au sein d'une même région, d'une même communauté ou d'un même ménage. Au Nunavik par exemple, on observe que ce sont chez les résidants inuits, les résidants plus âgés et les résidants qui vivent loin d'un centre régional, comme Kuujjuaq, que le régime alimentaire total comporte une proportion plus importante d'aliments traditionnels (Kuhnlein *et al.*, 2000; Blanchet *et al.*, 2000; Blanchet et Rochette, 2008; PSEA, 2009). Selon les enquêtes menées dans les villages du Nunatsiavut, les résidants consomment la plus grande variété d'aliments sauvages en comparaison d'autres régions (Kuhnlein *et al.*, 2000). La consommation d'aliments du commerce recommandés, comme les fruits et les légumes, est considérablement plus faible chez les habitants du nord que la moyenne nationale au Canada et au sein des régions inuites c'est chez les résidants du Nunavut qu'elle est la plus faible (Statistique Canada, 2005). Selon l'enquête effectuée à Kuujjuaq, au Nunavik (Bernier *et al.*, 2003) et à Nain, au Nunatsiavut (Furgal *et al.*, 2001), l'accès aux aliments (physique et économique), la préférence personnelle et la facilité de préparation des aliments sont des déterminants clés qui influencent les choix alimentaires des gens dans ces deux régions, autant pour les aliments du commerce que les aliments traditionnels.

5.2 La récolte fait encore partie importante de la vie au Nunavik et au Nunatsiavut

La chasse, la pêche, la récolte d'aliments sauvages et le partage subséquent de ces aliments avec d'autres personnes de la communauté sont des activités sociales qui rassemblent les gens, les familles et les générations et sont souvent l'occasion de célébrer et de fêter (Searles, 2002). Elles constituent et maintiennent entre les individus un tissu social important qui contribue à la santé et au bien-être de la communauté. Ainsi, le *muktuk* n'a pas seulement des bienfaits sur les plans nutritionnel et psychologique, mais son partage à grande échelle entre les proches et les villages crée et nourrit des liens qui demeurent la base des relations sociales, culturelles et économiques des Inuits d'aujourd'hui (Freeman *et al.*, 1996).

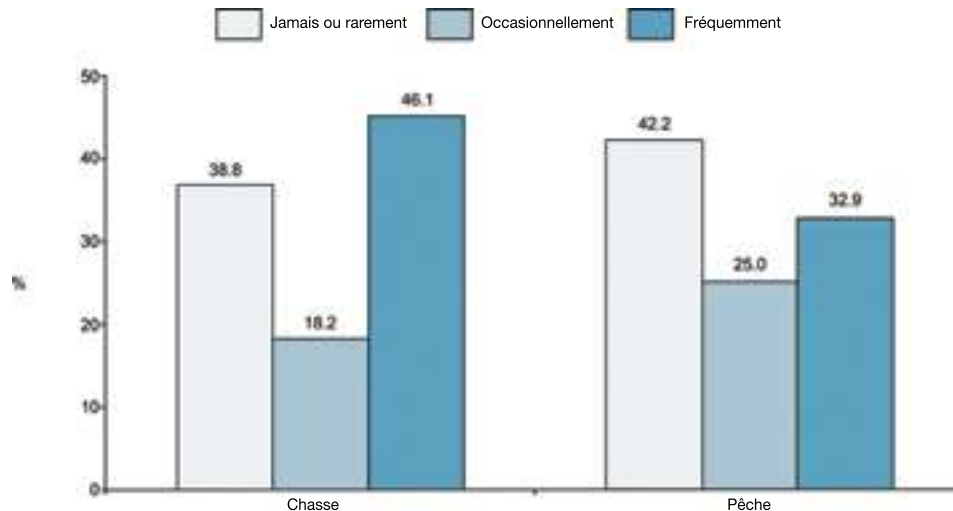


Figure 1. Pourcentage des participants déclarant la fréquence de leurs activités de chasse et de pêche (%), population âgée de 15 ans et plus, Nunavik, 2004. Modifié de Furgal et Rochette (2007).

De plus, de telles activités sont des occasions de transférer des connaissances entre les générations et de garder vivante la langue, car ils ont besoin des connaissances traditionnelles inuites et des composantes du langage local et cela en favorise l'usage. Ces activités de partage soutiennent donc l'échange d'information sur les techniques de chasse, les endroits et les histoires locales du territoire. Malgré tous les changements sociaux, culturels, économiques et politiques en cours au Nunavik et au Nunatsiavut au cours des dernières décennies, la chasse, la pêche et la récolte des ressources provenant de la terre et de la mer demeurent des activités importantes pour de nombreux résidents (Furgal et Rochette, 2007; ITK, 2008).

Comme l'ont indiqué les résultats de l'enquête sur la santé des Inuits *Qanuippitaa?* effectuée dans le cadre des recherches d'ArcticNet au Nunavik, près de la moitié (45 %) des habitants du Nunavik se définissent comme des chasseurs « fréquents » pendant l'année, chassant régulièrement une fois par semaine ou davantage pendant deux saisons au moins (figure 1). Près de la moitié des habitants sortent chasser plus d'une fois par semaine au printemps et en été, les moments les plus actifs de l'année. Le niveau d'activité de chasse déclaré par les résidents varie avec l'âge; les hommes et les personnes âgées de 50 ans et plus sont en moyenne des chasseurs plus actifs que les autres. De la même façon, plus de personnes mariées ou vivant en

couple et les individus ayant un revenu individuel plus élevé (61 % des gens gagnant plus de 40 000 \$/an, $p = 0,001$) ont déclaré chasser de façon active pendant toute l'année (Furgal et Rochette, 2007). Des tendances similaires existent chez les résidents du Nunatsiavut (Statistique Canada, 2008; tableau 1). Duhaime *et al.* (2002) signalent que la consommation d'aliments traditionnels au Nunavik était supérieure chez ceux qui vivent dans un ménage où un homme est à la tête du foyer et où le revenu total du ménage est supérieur. Cela

Tableau 1. Inuits qui récoltaient des aliments traditionnels en 2005, selon le groupe d'âge et le sexe, dans l'Inuit Nunangat, 2006. Source : Enquête auprès des peuples autochtones 2006, Statistique Canada

GROUPES D'ÂGE	TOTAL DEUX SEXES	HOMMES	FEMMES
	POURCENTAGE (%)		
Total (15 ans et plus)	68	74	62
15 à 24	60	67	53
25 à 34	72	78	66
35 à 44	73	81	67
45 à 54	74	77	70
55 et plus	71	79	61

est représentatif de deux principaux déterminants dans la collecte d'aliments traditionnels : l'accès à un chasseur mâle expérimenté et aussi des ressources financières permettant l'achat et l'entretien de l'équipement et des fournitures de chasse et de pêche.

De plus, le partage d'aliments traditionnels ou sauvages est une pratique encore très vivante dans les communautés inuites d'aujourd'hui. Plus de la moitié de tous les Nunavimmiut (57 %) ont déclaré partager leurs prises « souvent » avec les autres membres de la communauté. Ce sont les hommes, les individus âgés de 50 ans et plus et ceux qui ont un diplôme d'études secondaires ou plus, les individus mariés ou qui vivaient avec un conjoint et avaient un emploi au moment du sondage et ceux dont le revenu personnel était élevé (40 000 \$/an) qui ont répondu en plus grand nombre qu'ils partageaient « souvent » leurs prises. Bien évidemment, ce sont aussi ceux qui chassent et pêchent plus fréquemment qui déclarent partager leurs prises.

Les Nunavimmiut sont moins nombreux à participer régulièrement aux activités de pêche qu'aux activités de chasse, mais la pêche demeure largement pratiquée dans toute la région de nos jours. Un tiers des résidents (33 %) pêchent fréquemment, ou plus d'une fois par semaine pendant au moins deux saisons au cours de l'année (figure 1). Près de la moitié (48 %) de la population du Nunavik participe à la cueillette des petits fruits au moins une fois par mois à un certain moment de l'année. Comme c'est le cas traditionnellement, cette activité est encore pratiquée majoritairement par les femmes. La participation à la cueillette de petits fruits varie aussi selon l'âge, la situation familiale, l'éducation et le revenu personnel. Les individus âgés de 50 ans et plus, ceux qui sont mariés ou qui vivent en couple et ceux qui ont terminé leurs études primaires, et ceux qui ont un revenu annuel supérieur à 40 000 \$, déclarent aller à la cueillette de petits fruits plus souvent que les autres (Furgal et Rochette, 2007). Des données similaires de partage et de participation aux activités de chasse et de pêche dans les villages du Nunatsiavut sont actuellement recueillies dans le cadre de divers projets menés dans la région.

Étant donné leur importance en matière d'activité physique et de contribution à la préservation de la tradition et de la culture et vu leur rôle dans l'apport d'aliments sains et nutritifs, les activités de chasse, de pêche et de cueillette de petits fruits continuent à jouer un rôle important de nos jours dans la santé et le bien-être des résidents du Nunavik et du Nunatsiavut (voir le chapitre 3 – santé humaine). Toutefois, malgré cette importance, les Nunavimmiut et Nunatsiavimmiut ont tous signalé des changements dans les conditions environnementales et la qualité des animaux sauvages, ce qui aurait parfois influencé la consommation de certaines espèces (Nickels *et al.*, 2006). Selon les participants à l'Enquête de santé auprès des Inuits de 2004, ce n'est pas tant l'inquiétude quant à la contamination des espèces sauvages récoltées qui suscitait le rejet d'une prise, mais plutôt la présence d'anomalies visibles, comme des parasites dans les tissus des animaux sauvages. Ces événements semblent être plus fréquents dans les villages côtiers de la baie d'Hudson qu'ailleurs dans la région (Furgal et Rochette, 2007).

5.3 Contributions des aliments traditionnels ou sauvages à l'état de santé

Alors que les activités de chasse, de pêche et de récolte d'aliments traditionnels fournissent la base de la production alimentaire locale dans le Nord, elles ont aussi une place importante dans le tissu social et l'économie des ménages et des villages. De plus, ces aliments recueillis de la terre, de la mer, des lacs et des rivières continuent à contribuer grandement à l'apport de protéines dans le régime global et à aider les individus à satisfaire ou dépasser leurs besoins quotidiens en plusieurs vitamines et éléments essentiels et à les protéger contre certaines formes de maladies cardiovasculaires et de toxicité des contaminants (voir le chapitre 3).

Malgré l'importance significative de ces aliments, comme dans de nombreuses autres populations autochtones, les résidents du Nunavik et du Nunatsiavut consomment de

plus en plus d'aliments du commerce dans leur régime total avec le temps (voir le chapitre 3). Cela est particulièrement le cas chez les jeunes gens et dans les villages qui ont un meilleur accès aux aliments du commerce. Ce changement donne lieu à une consommation accrue d'hydrates de carbone et de gras saturés et on prévoit qu'éventuellement cela changera l'incidence des maladies chroniques « de type occidental » ou liées au mode de vie, comme le diabète, les maladies cardiovasculaires et certaines formes de cancer parmi cette population. Ce changement du régime alimentaire, passant d'aliments traditionnels ou sauvages à des aliments du commerce, est influencé par une foule de facteurs notamment, sans toutefois s'y limiter, par un accès accru aux aliments du commerce, la facilité de préparation des aliments commercialisés et transformés, les changements des préférences et désirs personnels, les changements dans les normes sociales concernant les aliments traditionnels ou sauvages, l'augmentation du temps passé à des emplois salariés et la diminution du temps personnel à passer sur le territoire et à préparer la nourriture (dans certaines communautés), les coûts associés à l'achat et l'entretien de l'équipement de chasse et les défis liés aux changements environnementaux en ce qui concerne la disponibilité des aliments traditionnels ou sauvages et leur accessibilité (Furgal et Seguin, 2006; Alain, 2008).

5.4 La sécurité alimentaire au Nunavik et au Nunatsiavut

La sécurité alimentaire est un déterminant reconnu de la santé pour les populations autochtones et non autochtones (McIntyre, 2003). Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la sécurité alimentaire existe lorsque [traduction] « tous les êtres humains ont, à tout moment, accès à des aliments sains et nutritifs en quantité suffisante pour satisfaire leurs besoins et leurs préférences pour mener une vie saine et active. » (FAO, 1999) De plus, comme le fait remarquer Power (2008) [traduction] « l'insécurité alimentaire n'est pas seulement une question de manque d'aliments,

elle a aussi trait à l'accès à des aliments de qualité qui correspondent aux désirs culturels et sociaux. »

Au Canada, l'insécurité alimentaire est plus souvent signalée chez les jeunes générations, les femmes, les mères monoparentales, les habitants du Nord et les résidents autochtones (McIntyre *et al.*, 2003; Ledrou et Gervais, 2005; Willows *et al.*, 2009; 2011). Les gens qui vivent de l'insécurité alimentaire ont un risque accru de surpoids et sont susceptibles d'avoir un état nutritionnel moins satisfaisant, des problèmes chroniques de santé, des difficultés mentales et une moins bonne capacité d'apprentissage (McIntyre 2003; Willows *et al.*, 2011). Les résidents des régions nordiques du pays sont les plus susceptibles de signaler de l'insécurité alimentaire à l'échelon du ménage. La région du Nunavut, par exemple, a un taux d'insécurité alimentaire quatre fois supérieur à la moyenne nationale (Statistique Canada, 2005) et le pire statut de sécurité alimentaire de toutes les populations autochtones en dehors des pays développés (Egeland *et al.*, 2011).

Des taux importants d'insécurité alimentaire ont été notés plus récemment au Nunavik et au Nunatsiavut, dans le cadre de composantes de l'Enquête sur la santé des Inuits. La recherche financée par ArcticNet dans le cadre des enquêtes régionales sur la santé des Inuits a permis de cerner qu'au Nunavik, en 2004, près d'un quart des individus (24 %) mentionnaient avoir manqué de nourriture pendant le mois précédant l'enquête. Au Nunatsiavut, ce sont 46 % des ménages avec enfants qui disaient vivre de l'insécurité alimentaire et pour environ 16 % d'entre eux cette insécurité était grave (Egeland *et al.*, 2010). Ces taux élevés d'insécurité alimentaire s'expliquent notamment par le chômage, les faibles revenus, le coût élevé des aliments, la non-disponibilité de certains aliments, la diminution de la consommation des aliments traditionnels et le manque de choix et d'aliments nutritifs. Les sections qui suivent abordent les impacts des changements environnementaux sur l'accessibilité et la qualité des aliments traditionnels ou sauvages. Les questions de disponibilité et les tendances relatives à la

disponibilité des espèces sont abordées plus amplement aux chapitres 7, 8 et 9 du présent rapport.

5.5 Les impacts des changements climatiques sur la sécurité alimentaire

Les changements climatiques, la variabilité et les extrêmes de température ont tous des implications sur le plan de la sécurité alimentaire, qu'il s'agisse de la disponibilité ou de l'accès à des aliments sains, nutritifs et désirés pour les ménages du Nunavik et du Nunatsiavut (figures 2 et 3). Le réchauffement des températures et le réchauffement du pergélisol ont des répercussions négatives sur la sécurité des routes et des pistes d'atterrissage et sur l'accessibilité aux communautés nordiques. Des changements dans ces infrastructures de transport essentielles peuvent influencer le transport des aliments vers les commerces et par conséquent l'accès physique et économique aux denrées alimentaires dans les petites communautés éloignées où bon nombre de



Figure 2. Aperçu des impacts des changements et de la variabilité du climat sur certains aspects de la sécurité alimentaire traditionnelle dans les communautés inuites

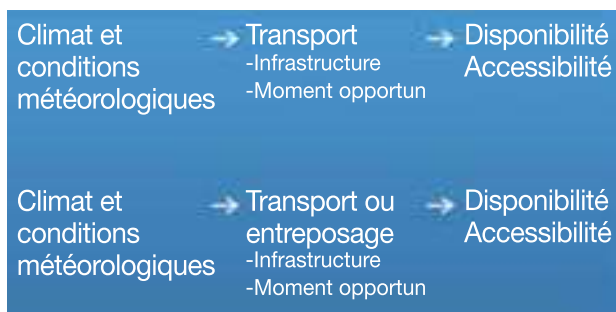


Figure 3. Aperçu des impacts des changements et de la variabilité du climat sur certains aspects de la sécurité alimentaire commerciale dans les communautés inuites.

ces articles sont déjà hors de prix pour certains résidents. Les recherches financées par ArcticNet et présentées au chapitre 6 de la présente évaluation font état de l'instabilité des pistes d'atterrissage causée par le réchauffement actuel du pergélisol au Nunavik. Par contre, grâce à une saison plus longue d'eaux libres de glace due à la diminution de la couverture et de l'étendue de la glace de mer (comme on le projette pour la baie d'Ungava et la baie James (chapitre 2) et comme il se produit déjà le long du littoral du Nunatsiavut) (Statistique Canada, 2011), il y aura un meilleur accès aux villages côtiers pendant toute l'année et le transport par navire deviendra plus durable. Toutefois, les données actuelles des deux côtés de cette équation sont insuffisantes pour évaluer les implications précises en ce qui a trait aux changements des coûts de transport par région et aux ajustements connexes des prix des denrées résultant du réchauffement ou de la variabilité du climat.

Que ce soit par le biais des modifications dans la distribution des animaux en lien avec les changements d'habitats causés par le réchauffement des températures; des changements dans l'écologie communautaire locale (chapitres 7, 8 et 9) ou des changements dans l'accès des résidents à ces espèces à cause des saisons plus longues sans glace et des augmentations du nombre d'événements météorologiques extrêmes et peu communs (chapitre 2), les répercussions des changements climatiques et de la variabilité du climat sur la sécurité alimentaire sont importantes pour les deux régions (Ford *et al.*, 2006; Ford *et al.*, 2008; Furgal *et al.*, 2002).

Lors des ateliers mentionnés dans Nickels *et al.* (2006), la majorité des communautés inuites du Nunavik et du Nunatsiavut ont déclaré vivre les répercussions des changements des conditions environnementales sur la sécurité alimentaire traditionnelle. Les habitants ont signalé des vents plus forts dans les villages du Nunavut et du Nunavik qui rendent plus dangereux les déplacements et la chasse par bateau en été, affectant conséquemment l'accès aux phoques en eau libre et aux baleines (Nickels *et al.*, 2006 ; Ford *et al.*, 2006). Dans la région désignée des Inuvialuit, au Nunavut et au Nunavik, la saison libre de glace plus longue et la diminution de l'épaisseur de la glace due au réchauffement des températures font en sorte de réduire et de rendre plus dangereux l'accès aux espèces sauvages qui dépendent de la glace et aux espèces qui étaient précisément chassées à partir de la glace (comme le phoque annelé – *Pusa hispida*, le narval – *Monodon monoceros*, dans la baie de l'Arctique) (Nickels *et al.*, 2006; Ford *et al.*, 2006). On a aussi fait état des niveaux d'eau plus bas dans les rivières et étangs du Labrador qui compliquent l'accès aux espèces de poissons et nuisent à leur état de santé (Furgal *et al.*, 2002; *Communities of Labrador et al.*, 2005).

Dans le cadre de l'Enquête sur la santé auprès des Inuits du Nunavik 2004, on a demandé aux participants ce qui avait une influence sur leur accès aux aliments traditionnels ou sauvages. La moitié des participants (51 %) ont déclaré qu'au cours des quatre dernières années, pendant la même saison, certains animaux étaient devenus plus difficiles à trouver et à chasser. Ces difficultés étaient mentionnées plus souvent chez les groupes plus âgés, les hommes et chez les individus ayant un revenu inférieur à 20 000 \$. La majorité des répondants qui ont déclaré que certaines espèces étaient plus difficiles à trouver et à attraper, ont plus particulièrement identifié le caribou (60 %) et le béluga (53%) comme étant plus difficiles à trouver et à chasser qu'autrefois. La principale raison de ces changements dans l'accessibilité du caribou était liée au fait que les animaux se trouvaient plus loin du village qu'avant (47 %) (voir le chapitre 9). Un petit nombre (14 %) de participants a fait le lien entre ces difficultés accrues et les changements des conditions météorologiques ou des conditions au sol et en

mer. Quant à la principale raison concernant la difficulté de trouver les bélugas, les répondants ont dit qu'il y en avait moins qu'avant (22 %) et qu'ils s'étaient déplacés des sites où on les trouvait habituellement (18 % des réponses) (Furgal et Rochette, 2007).

Des observations similaires ont été relevées par Alain et Frugal dans le cadre de leur recherche effectuée auprès de chasseurs des villages de Kangiqsualujjuaq, au Nunavik (Alain, 2008). Cependant, malgré les changements qui sont survenus, certains chasseurs ont dit être encore capables de localiser ces animaux sauvages qu'ils avaient toujours chassés à des fins de subsistance et d'y avoir accès, mais qu'une certaine forme d'adaptation était nécessaire. Les facteurs clés qui influencent l'aptitude des individus à localiser et à chasser les espèces malgré les changements dans les conditions environnementales susmentionnées sont notamment l'accès de ces individus à des ressources économiques, leur âge, leur expérience de chasse dans la communauté, leur accès à de l'équipement de chasse et de pêche et les stratégies dont ils ont dit se servir pour continuer à s'adapter à l'évolution des circonstances. Ceux qui adoptent une démarche d'adaptation plus proactive, soit en changeant d'espèce chassée ou en changeant les routes pour accéder aux espèces, ont connu plus de succès dans la poursuite de leurs activités de récolte d'espèces aux moments habituels de l'année (Alain, 2008). Toutefois, il n'y a pas de preuve pour soutenir l'argument que ces pressions sur les aliments traditionnels avaient des répercussions sur la sécurité alimentaire globale des ménages de ces individus (Alain, 2008).

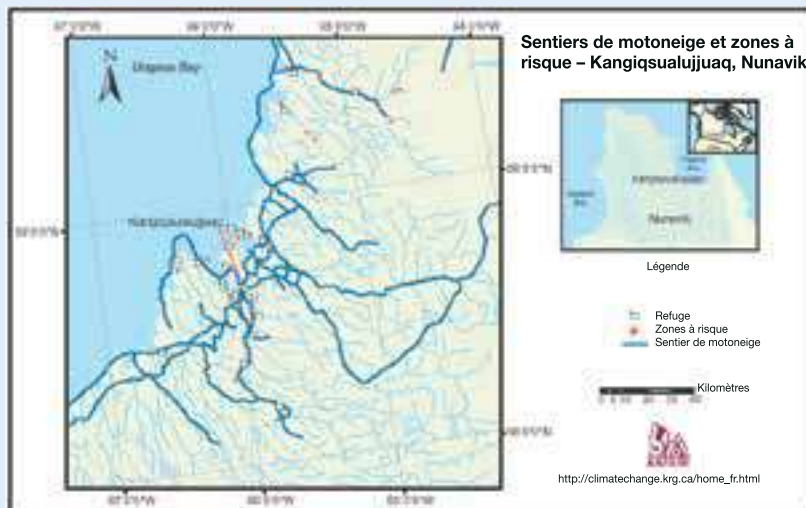
5.6 Les effets des tempêtes, des déplacements et de la sécurité sur l'accessibilité alimentaire

Les résidents de nombreuses communautés arctiques dans tout le Nord ont signalé que la météo était devenue plus « inhabituelle » ou moins prévisible et, dans certains cas, que les tempêtes progressent plus rapidement aujourd'hui que dans les souvenirs d'antan (p. ex., Nickels *et al.*, 2006; Ford *et al.*, 2006; Huntington et Fox, 2005). Les

Encadré 1. Les changements climatiques au Nunavik : accès au territoire et à ses ressources

Le projet « Accès au territoire et à ses ressources » a été mis en place par l'Administration régionale Kativik (ARK) en collaboration avec les chercheurs d'ArcticNet à l'Université Trent en réponse aux préoccupations exprimées par les communautés du Nunavik concernant les répercussions des changements climatiques sur les activités de chasse et de pêche dans la région (Nickels *et al.*, 2006). L'objectif premier était d'améliorer la capacité des résidents locaux à s'adapter aux changements climatiques en les faisant participer à des activités communautaires. Le projet a été mis en œuvre dans cinq villages : Umiujaq, Akulivik, Ivujivik, Kangiqsuaq et Kangiqsualujjuaq (Tremblay *et al.*, 2006, 2008).

Pendant la première phase du projet, on a effectué des entrevues semi-structurées avec des Aînés et des experts locaux de la récolte d'aliments traditionnels pour documenter l'usage actuel du réseau de sentiers autour de chaque village. Le processus d'entrevue et de cartographie a été établi avec l'aide de chercheurs locaux afin d'identifier les sentiers utilisés par les membres de la communauté, leur usage spécifique, le mode de transport utilisé dans le sentier, et les secteurs plus dangereux connus (dangers environnementaux) sur la terre et sur la glace de mer en lien avec les changements des conditions environnementales. La deuxième phase de collecte de données incluait la réalisation d'entrevues semi-structurées en profondeur avec les Aînés et des chasseurs expérimentés dans chaque village pour documenter les connaissances des processus de formation, de fonte et de rupture de la glace et établir les renseignements ou les observations qualitatives dont se servent les experts locaux pour déterminer quand il est sécuritaire de se déplacer sur la glace (Tremblay et Furgal, 2008). Au cours de la même période, on a mis en place un projet pilote de surveillance de la glace dans chacune des communautés participantes afin de recueillir des données qualitatives et quantitatives sur les changements des conditions de glace à certains endroits le long des principaux sentiers. Cette information a été utilisée conjointement aux données météorologiques pour cerner les indicateurs clés (qualitatifs et quantitatifs) des conditions de glace sécuritaire à l'échelon de la communauté.



Réseaux de sentiers hivernaux, des zones à risque et des refuges dans le secteur de Kangiqsualujjuaq (de Tremblay et al., 2008).

Les résultats ont été diffusés sous plusieurs formes aux membres des communautés sur le site Web de l'ARK (http://climatechange.krg.ca/home_fr.html). Cette information comprend notamment les cartes des sentiers hivernaux traditionnels et nouveaux, les endroits habituels où les conditions de glace sont dangereuses, l'emplacement des refuges, les connaissances traditionnelles des dynamiques de la glace, les indicateurs clés (environnementaux et climatiques) de la sécurité de la glace et les connaissances inuites sur les observations des changements climatiques dans la région.

résidants ayant participé à ces études déclarent que cette imprévisibilité restreint actuellement la participation aux activités de récolte et aux déplacements et augmente les risques de se retrouver pris ou impliqués dans des accidents loin du village (Nickels *et al.*, 2006; Ford *et al.*, 2006; Furgal *et al.*, 2002; Ford et Smit, 2004). Les résidants du Nunavik et du Nunatsiavut ont mentionné la même observation dans le cadre d'ateliers qui ont eu lieu précédemment dans les deux régions (Furgal *et al.* 2002; Nickles *et al.*, 2006). De plus, certains éléments probants de nature qualitative semblent indiquer que l'incidence des blessures associées aux déplacements et à d'autres activités terrestres serait à la hausse dans les villages côtiers, mais aucune étude à ce jour ne s'est penchée précisément sur cette question.

Comme l'indiquent le rapport de l'Enquête sur la santé des Inuits au Nunavik et le chapitre 3 de la présente étude, le profil des blessures et traumatismes pour les régions nordiques isolées se caractérise par un faible nombre d'accidents dus au trafic, mais un taux d'incidents liés à l'utilisation de motoneige, d'embarcations et de VTT qui est beaucoup plus élevé que dans les régions du sud (Légaré et Rochette, 2007). Les taux d'hospitalisation pour des blessures non intentionnelles montrent que le Nunavik a le taux le plus élevé des 18 régions sanitaires de la province de Québec et plus du double du taux correspondant à la population entière (INSPQ, MSSSQ et ISQ, 2006). Malgré des rapports qualitatifs d'augmentation des blessures et incidents survenant en association aux conditions météorologiques changeantes, l'étude *Qanuippitaa* ne fait état d'aucune augmentation du nombre de blessures et traumatismes de 1992 à 2004 au Nunavik. Parmi les individus blessés au cours de 12 mois précédant l'enquête, on retrouvait des hommes, des résidants de villages de la baie d'Ungava et des individus plus scolarisés. Les blessures étaient associées, par ordre décroissant d'importance, à des activités sportives, des déplacements en VTT, des déplacements en motoneige ou des chutes. Par conséquent, alors que les incidents impliquant des transports représentent 40 % de toutes les blessures déclarées, il ne se dégage aucune tendance claire

selon laquelle les variables environnementales auraient une influence majeure sur les blessures ou que ceux qui participent à des activités plus traditionnelles (chasse et pêche) et qui passent plus de temps sur le territoire ou en mer sont ceux qui ont le plus de blessures dans la région (Légaré et Rochette 2007). Cette question mérite que l'on étudie davantage les rapports communautaires d'augmentation des blessures résultant des tempêtes ou de la variabilité météorologique. Aucune donnée comparable sur ce sujet n'est encore disponible pour la région du Nunatsiavut.

5.7 Les changements climatiques et la qualité des aliments traditionnels ou sauvages

En plus d'offrir des avantages importants pour la santé, les espèces traditionnelles ou sauvages sont les plus importantes sources d'exposition des habitants du Nord aux contaminants environnementaux comme les BPC, le mercure et le plomb (PSEA 2009; Donaldson *et al.*, 2010; chapitre 3). Le comportement de ces contaminants dans l'environnement est influencé par la température. Le réchauffement climatique peut donc indirectement influencer l'exposition des gens à ces produits chimiques qui sont connus comme ayant des effets néfastes sur le système immunitaire et sur le développement et le fonctionnement neuromoteur chez les enfants (PSEA, 2009; Muckle *et al.*, 2006). Certaines études de modélisation ont montré que le réchauffement climatique projeté dans l'Atlantique nord (0,4 à 1,0 °C) au cours du siècle actuel aura pour effet d'augmenter les taux de transformation du mercure (méthylation) et donc des concentrations de mercure dans les espèces marines de l'ordre de 1,7 à 4,4 % et qu'il y aurait donc probablement des incidences sur les taux d'exposition des humains par le biais de la consommation de certaines espèces de poissons et de mammifères marins dans ces régions. De plus, des éléments probants semblent indiquer que le pergélisol qui se dégrade et la glace marine pluriannuelle qui fond sont aussi des sources de contaminants dans les



systèmes marins arctiques. À l'heure actuelle, les régions inuites, dont le Nunavik et le Nunatsiavut, participent à la surveillance des concentrations de plusieurs contaminants dans des espèces marines et terrestres. Au Nunatsiavut, cela se fait dans le cadre d'études financées par ArcticNet, comme le projet Nunatsiavut Nuluak (chapitre 10). Au Nunavik plusieurs projets sont aussi financés par ArcticNet et les Programmes de lutte contre les contaminants dans le Nord (voir les chapitres 3,4 et 7 pour plus d'information sur la question des contaminants). En plus des impacts sur les taux de contaminants dans les espèces sauvages qui peuvent être importantes dans l'alimentation des résidents de ces deux régions, des rapports plus fréquents de températures estivales extrêmes, combinés à des techniques inadéquates de préparation des aliments, mettent en péril la sécurité des processus traditionnels de fermentation dans la préparation de l'*igunaq* (Furgal *et al.*, 2002; Furgal et Seguin, 2006). À l'heure actuelle, l'influence du climat dans cet aspect de la sécurité alimentaire et d'autres aspects (p. ex, introduction, croissance et transmission de parasites) demeure incertaine et requiert plus de recherche dans ces régions.

5.8 Conclusions

Les effets combinés des changements climatiques et de la variabilité environnementale sur la sécurité alimentaire et la santé au Nunavik et au Nunatsiavut sont difficiles à prédire. Ils sont influencés par des facteurs de disponibilité locale et d'accès, dont des forces économiques, technologiques et politiques, et présupposent une excellente compréhension de ce que l'environnement local peut fournir et soutenir en ressources alimentaires naturelles. De plus, les implications potentielles sur les approvisionnements en denrées commerciales et sur les réseaux d'entreposage tout au long de l'année n'ont pas encore été bien étudiées dans le détail. Ce qui a été documenté, c'est le lien entre la variabilité météorologique et les autres changements dans les conditions environnementales et leur influence sur l'accès aux aliments traditionnels ou sauvages pour les Inuits de ces deux régions et des autres régions également. En outre, si l'on a une connaissance de base des façons dont les individus ont commencé à s'adapter aux pressions liées aux changements environnementaux en ce qui a trait à l'accès aux aliments traditionnels ou sauvages et à leur



disponibilité, il faudra par contre étudier davantage le sujet.

État de l'adaptation aux menaces concernant la sécurité alimentaire

Parmi les comportements d'adaptation des individus, citons le changement des périodes de chasse en fonction des moments où l'accès est plus sécuritaire ou en fonction des nouvelles périodes et routes de migration des animaux; l'achat et l'utilisation de nouveaux moyens de transport (p. ex. des véhicules plus rapides et plus puissants, des véhicules différents) pour se rendre dans les endroits éloignés ou difficiles d'accès pour la chasse et la récolte à cause des niveaux d'eau plus bas ou de tempêtes plus fortes ou encore de changements dans les conditions des routes (p. ex, utiliser plus souvent les VTT que les motoneiges puisque la saison sans neige est plus longue) (Ford *et al.*, 2008; Furgal 2008; Furgal et Seguin, 2006). Dans de nombreuses régions, on a signalé des changements dans la disponibilité des animaux et leur accessibilité (voir les chapitres 7 et 9) et certains membres

des communautés (comme les Aînés, ceux qui n'ont pas de moyens technologiques ou financiers) n'ont pas été en mesure de s'adapter aux conditions. Ils continuent donc à chasser comme ils le faisaient dans le passé. Certains villages (p. ex., Ivujivik au Nunavik, dans Nickels *et al.*, 2006) ont signalé un besoin accru de mécanismes de soutien comme des programmes de congélateurs communautaires pour assurer un accès aux ressources traditionnelles à tous les membres de la communauté pendant toute l'année ainsi que la nécessité de mettre en place et en application des programmes d'échange entre villages pour assurer un accès aux aliments à l'échelle régionale (Les communautés du Nunavik *et al.*, 2005). Rajdev et Furgal (en révision) ont examiné les mécanismes communautaires et régionaux de soutien alimentaire au Nunavik et ils ont cerné un certain nombre de programmes importants qui soutiennent l'accès à des aliments sains pour les habitants des villages, notamment l'Administration régionale Kativik qui a donné son appui au programme de soutien aux chasseurs (qui comprend l'utilisation d'un congélateur communautaire pour la distribution des aliments traditionnels) et le programme

de congélateurs communautaires du village de Nain. Ce sont d'excellents exemples de mécanismes de soutien pour s'adapter aux pressions exercées sur l'accès aux aliments traditionnels ou sauvages pendant toute l'année à cause des changements climatiques et de la variabilité environnementale. Toutefois, il importe de souligner que certaines initiatives individuelles en réponse aux changements climatiques et environnementaux peuvent aussi avoir un impact indirect (comme des coûts indirects associés à des moyens de transport plus performants). En réponse aux changements dans l'accessibilité, certains chasseurs d'expérience dans des villages du Nunavik ont pu s'adapter, déclarant qu'ils n'ont pas encore ressenti les impacts en ce qui concerne la quantité d'animaux sauvages récoltés, mais plus simplement en ce qui concerne l'endroit, le moment et l'investissement consenti pour accéder, récolter et entreposer les mêmes espèces (Alain 2008; Tremblay *et al.*, 2008; Lafortune *et al.*, 2004).

Recommandations

L'information présentée dans ce chapitre est le fruit du travail effectué dans plusieurs régions, mais elle met en évidence celui qui a été effectué au Nunavik et au Nunatsiavut. De ce fait, certaines extrapolations peuvent être faites à partir des résultats des travaux menés au Nunavut et dans la région désignée des Inuvialuit et que l'on estime applicables ou pertinentes pour le Nunavik et le Nunatsiavut. Étant donné l'état actuel d'insécurité alimentaire dans ces deux régions, les résultats concernant la santé qui sont associés à l'insécurité alimentaire, à la mauvaise nutrition et à la transition qui se produit de nos jours dans bon nombre de villages inuits en faveur d'une consommation accrue d'aliments du commerce de moindre valeur nutritive, il est essentiel de mieux comprendre l'état de sécurité alimentaire et de nutrition et les facteurs qui les influencent, y compris les changements et la variabilité du climat, dans ces deux régions comme ailleurs. De plus, il serait bon d'investir de façon importante dans la surveillance et le contrôle de la santé publique et environnementale pour ces composantes clés, y compris celles qui sont influencées par les changements

environnementaux (Owens *et al.*, 2009). La sécurité alimentaire est menacée par la perspective de la moindre disponibilité d'aliments sains et nutritifs, notamment les denrées ayant une grande valeur ou importance sur le plan culturel. Elle est menacée aussi par l'accès moins sécuritaire pendant toute l'année à des espèces sauvages et par la qualité changeante des aliments. Pour chacune de ces composantes de la sécurité alimentaire, on peut faire des liens avec les changements climatiques et environnementaux survenant dans les deux régions (figures 2 et 3). Il faudra donc porter une plus grande attention à ce sujet et aux adaptations qui ont lieu et qui sont requises pour soutenir la sécurité alimentaire et un comportement alimentaire sain à l'avenir.

5.9 Références

- Alain, J. 2008. Changements climatiques, sécurité alimentaire à Kangiqsualujjuaq au Nunavik. M.Sc. Thesis, Département de médecine sociale et préventive, Faculté de Médecine, Université Laval, Québec City, Québec, 169 pp.
- Arctic Monitoring et Assessment Programme (AMAP). 2009. AMAP Assessment 2009: Human Health in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 254 pp.
- Bernier, S. 2003. Determinants of food choices in Arctic populations. M.Sc. Thesis, Département de médecine sociale et préventive, Faculté de Médecine, Université Laval, Québec City, Québec, 155 pp.
- Blanchet, C., et Rochette, L. 2008. Nutrition and Food Consumption among the Inuit of Nunavik. Nunavik Inuit Health Survey 2004, *Qanuippitaa? How are we?* Québec: Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) and Nunavik Regional Board of Health and Social Services (NRBHSS).
- Blanchet, C., Dewailly, E., Ayotte, P., Bruneau, S., Receveur, O. et Holub, B. J. 2000. Contribution of selected traditional and market foods to the diet of Nunavik Inuit women. *Canadian Journal of Dietetic Practice and Research*, 61:50-59.

Communities of Nunavik, Furgal, C., Nickels, S., et Kativik Regional Government, Environment Department. 2005. Unikkaaqatigiit: Putting the human face on climate change: Perspectives from Nunavik. Ottawa: Joint publication of Inuit Tapiriit Kanatimi, Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments at Université Laval and the Ajunnginiq Centre at the National Aboriginal Health Organization.

Communities of Labrador, Furgal, C., Denniston, M., Murphy, F., Martin, D., Owens, S., Nickels, S., et Moss-Davies, P. 2005. Unikkaaqatigiit: Putting the human face on climate change: Perspectives from Labrador. Ottawa: Joint publication of Inuit Tapiriit Kanatimi, Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments at Université Laval and the Ajunnginiq Centre at the National Aboriginal Health Organization.

Communities of the Inuvialuit Settlement region (ISR), Nickels, S., Furgal, C., Buell, M., et Moquin, H. 2005. Unikkaaqatigiit: Putting the human face on climate change: Perspectives from the Inuvialuit Settlement Region. Ottawa: Joint publication of Inuit Tapiriit Kanatimi, Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments at Université Laval and the Ajunnginiq Centre at the National Aboriginal Health Organization.

Community of Arctic Bay, Nickels, S., Furgal, C., Akumilik, J., et Barnes, B. J. 2006. Unikkaaqatigiit: Putting the human face on climate change: Perspectives from Arctic Bay, Nunavut. Ottawa: Joint publication of Inuit Tapiriit Kanatimi, Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments at Université Laval and the Ajunnginiq Centre at the National Aboriginal Health Organization.

Donaldson, S. G., Van Oostdam, J., Tikhonov, C., Feeley, M., Armstrong, B., Ayotte, P., Boucher, O., Bowers, W., Chan, L., Dallaire, F., Dallaire, R., Dewailly, E., Edwards, J., Egeland, G. M., Fontaine, J., Furgal, C., Leech, T., Loring, E., Muckle, G., Nancarrow, T., Pereg, D., Plusquellec, P., Potyrala, M., Receveur, O., et Shearer, R. G. (2010). Environmental contaminants and human health in the Canadian Arctic. *Science of the Total Environment*, 408:5165-5234.

Duhaime, G., Chabot, M., et Gaudreault, M. 2002. Food consumption patterns and socio-economic factors among

the Inuit of Nunavik. *Ecology of Food and Nutrition*, 41:91-118.

Egeland, G. M. 2010. Inuit Health Survey 2007-2008 Nunatsiavut. *International Polar Year Inuit Health Survey Health in Transition and Resiliency*, 35 pp.

Egeland, G. M., Williamson-Bathory, L., Johnson-Dwon, L., et Sobol, I. 2011. Traditional food and monetary access to market-food: correlates of food insecurity among Inuit preschoolers. *International Journal of Circumpolar Health*, 70:373-383.

Food and Agriculture Organization (FAO). 1996. World Declaration on World Food Summit and World Food Security Plan of Action. United Nations FAO, accessed online: <http://www.fao.org/docrep/003/w3613e/w3613e00.HTM> (August 12, 2010)

Ford, J., Smit, B., et Wandell, J. 2006. Vulnerability to climate change in the Arctic: A case study from Arctic Bay, Nunavut. *Global Environmental Change*, 16:145-160.

Ford J. D., et Smit, B. 2004. A Framework for Assessing the Vulnerability of Communities in the Canadian Arctic to Risks Associated with Climate Change. *Arctic*, 57:389-400.

Freeman, M. M. R. 1996. Identity, health and social order. In Foler, M. L., et L. O., Hansson (Eds.), *Human ecology and health: adaptation to a changing world*. Gothenburg University, Gothenburg, Sweden, p. 57-71.

Furgal, C., Bernier, S., Godin, G., et Dewailly, E. 2001. Decision-making and diet: Balancing the physical, economic, and social components (Year 2). In Kalkok, S. (Ed.), *Synopsis of Research Conducted under the 2001-2002 Northern Contaminants Program*. Department of Indian Affairs and Northern Development, Ottawa, Ontario, ISBN: 0-662-30872-7.

Furgal C., Martin, D., et Gosselin, P. 2002. Climate change and health in Nunavik and Labrador: Lessons from Inuit knowledge. In Krupnik, I., et Jolly, D. (Eds.), *The earth is faster now: indigenous observations of Arctic environmental change*, Arctic Research Consortium of the United States in cooperation with the Arctic Studies

- Center, Smithsonian Institution, Fairbanks, Alaska, p. 266-299.
- Furgal, C., et Seguin, J. 2006. Climate change, health and community adaptive capacity lessons from the Canadian North. *Environmental Health Perspectives*, doi:10.1289/ehp.8433 (available at <http://dx.doi.org/>).
- Furgal C. 2008. Climate change health vulnerabilities in the North. In Seguin, J., (Ed), *Human health in a changing climate: A Canadian assessment of vulnerabilities and adaptive capacity*. Health Canada, Ottawa, Ontario, p. 303-366.
- Huntington, H., et Fox, S. 2005. Chapter 3: The changing Arctic: Indigenous perspectives. In *Arctic climate impact assessment*. Cambridge University Press, 1042 pp.
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) en collaboration avec le ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSSQ) et l'Institut de la statistique du Québec (ISQ). *Portrait de santé du Québec et de ses régions 2006 : les statistiques - Deuxième rapport national sur l'état de la santé de la population, gouvernement du Québec*, 659 pp.
- Légaré, G., et Rochette, L. 2007. Transportation Injuries and Safety. *Nunavik Inuit Health Survey 2004, Qanuippitaa? How are we?* Québec. Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) and Nunavik Regional Board of Health and Social Services (NRBHSS).
- Lafortune, V., Furgal, C., Drouin, J., Annanack, T., Einish, N., Etidloie, B., Qiisiq, M., Tookalook, P., et the Communities of Kangiqsujuaq, Umiujaq, Kangiqsualujjuaq, and Kawawachikamach. 2004. *Climate change in Northern Québec: Access to Land and Resource Issues*. Kativik Regional Government, Kuujjuaq, Nunavik.
- Ledrou, I et Gervais, J. 2005. Food Insecurity. *Statistics Canada, Catalogue 82-003 XIE, Health Reports Vol. 16(3)*.
- Muckle, G., Després, C., Fraser, S., Ayotte, P. et Dewailly, E. (2006). Neuromotor and Behavioural Effects of Postnatal Lead Exposure Below 10 [mu]g/dl Among Inuit Preschoolers. *Epidemiology*, 17:S431-S432.
- Kuhnlein, H. V., Receveur, O., Chan, H. M., et Loring, E. 2000. *Assessment of Dietary Benefit/Risk in Inuit Communities*. Centre for Indigenous Peoples' Nutrition and Environment (CINE), McGill University.
- McIntyre, L., Glanville, N. T., Raine, K. D., Dayle, J. B., Anderson, B., and Battaglia, B. 2003. Do low-income lone mothers compromise their nutrition to feed their children? *Canadian Medical Association Journal*, 168:686-91.
- Nickels, S., Furgal, C., Buell, M., et Moquin, H. 2006. *Unikkaaqatigiit – Putting the human face on climate change: Perspective from Inuit in Canada*. Ottawa: Joint publication of Inuit Tapiriit Kanatami, Nasivvik Center for Inuit Health and Changing Environments at Université Laval and the Ajunnginiq Center at the National Health Organization, 195 p.
- Owens, S., Gosselin, P., Furgal, C., Martin, D. 2009. *Nunatsiavut's public health surveillance in response to a changing climate: A baseline study*. Centre de recherche du CHUQ, Axe santé des populations et environnementale, ISBN 978-2-9810983-0-6 (PDF).
- Power, E. M. 2008. Conceptualizing food security for aboriginal people in Canada. *Canadian Journal of Public Health*, 99:95-97.
- Searles, E. 2002. Food and the making of modern Inuit identities. *Food and Foodways*, 10:55-78.
- Statistics Canada. 2008. *Inuit health, education and country food harvesting*. Aboriginal Peoples Survey, Statistics Canada Catalogue no. 89-637-X-2008004.
- Statistics Canada. 2005. *Food Insecurity*. Statistics Canada Catalogue 82-033 XIE, Health Reports Vol. 16(3).
- Statistics Canada. 2011. *EnviroStats Service Bulletin Winter 2011. Sea ice trends in Canada* Catalogue no. 16-002-X. Volume 5(4).
- Tremblay, M., et Furgal, C. 2008. *Les changements climatiques au Nunavik et au Nord du Québec: L'accès au territoire et aux ressources*. Rapport Final présenté aux Initiatives des écosystèmes nordiques, Environnement Canada, 167 p.

Tremblay, M., Furgal, C., Lafortune, V., Larrivée, C., Savard, J. -P., Barrett, M., Annanack, T., Einish, N., Tookalook, P., et Etidloie B. 2006. Communities and ice: Linking traditional and scientific knowledge. In Riewe, R., and Oakes, J., (Eds.), *Climate change: Linking traditional and scientific knowledge*. Winnipeg: University of Manitoba Aboriginal Issues Press, p. 123-138.

Tremblay, M., Furgal, C., Larrivée, C., Annanack, T., Tookalook, P., Qiisik, M., Angiyou, E., Swappie, N., Savard, J. -P. et Barrett, M. 2008. Climate change in Nunavik: Adaptation strategies from community-based research. *Arctic*, 61:27-34.

Willows, N. D., Veugelers, P., Raine, K., et Kuhle, S. 2009. Prevalence and sociodemographic risk factors related to household food security in Aboriginal peoples in Canada. *Public Health Nutrition*, 12:1150-6.

Willows, N., Veugelers, P., Raine, K., et Kuhle, S. 2011. Associations between household food insecurity and health outcomes in the Aboriginal population (excluding reserves). Accessed at: <http://www.statcan.gc.ca/pub/82-003-x/2011002/article/11435-eng.pdf>



Chapitre 6. Le pergélisol et les changements climatiques au Nunavik et au Nunatsiavut : importance en matière d'infrastructures municipales et de transports

Auteurs principaux

Michel Allard, Mickaël Lemay, Carl Barrette, Emmanuel L'Hérault, Denis Sarrazin
Centre d'études nordiques (CEN), ArcticNet, Université Laval, Québec, QC

Coauteurs

T. Bell et G. Doré

Résumé

La dégradation du pergélisol a de graves répercussions sur le milieu naturel. Le paysage change à cause des processus thermokarstiques, qui surviennent principalement dans la zone du pergélisol discontinu, ainsi qu'en raison de l'approfondissement de la couche active et des mouvements de versant plus fréquents dans la zone de pergélisol continu. Ces changements affectent les résidants du Nord, car la végétation, les plans d'eau et le drainage du sol sont modifiés de façon importante, affectant par conséquent les ressources auxquelles les humains avaient traditionnellement accès. L'environnement bâti moderne est également touché. Les infrastructures de transport sont à l'étude et l'on recherche, applique et met à l'essai des solutions d'adaptation. Pour protéger et optimiser les investissements majeurs requis pour la construction d'habitations, de meilleures cartes des conditions de pergélisol et des prédictions quant à son comportement sont nécessaires pour l'aménagement urbain des villages. La dégradation ultime du pergélisol autour de 0 °C semble être en grande partie influencée par la teneur en eau non gelée et la chaleur transférée à l'interface de fonte par les eaux souterraines. Ce processus accélère également le dégel localisé sous les infrastructures d'origine humaine. La collecte des données sur le pergélisol et l'organisation de ces données dans des systèmes d'information géographique (SIG) permet d'intégrer des connaissances essentielles et de fournir de très précieux outils pour établir des diagnostics de situation, pour partager de l'information avec les intervenants et les communautés et pour appuyer la prise de décisions multidisciplinaires pour l'aménagement du territoire. Les principales mesures d'adaptation pour l'aménagement du territoire résident dans l'adaptation des types de fondation aux conditions de pergélisol qui ont été cartographiées afin d'assurer la durée de vie prolongée des immeubles.

6.1 Introduction

Le pergélisol, soit le sol ou le roc qui est demeuré à des températures sous 0 °C pendant de longues périodes, constitue le facteur clé qui rend le territoire arctique particulièrement vulnérable aux changements climatiques (ACIA, 2005). C'est principalement dû au fait que le pergélisol contient de la glace alors qu'il est le support physique des écosystèmes terrestres. Sous l'influence d'un transfert accru de chaleur dans le sol provenant de l'atmosphère qui se réchauffe, le pergélisol dégelé et peut devenir instable : il y a souvent un tassement du terrain, les conditions de drainage sont modifiées (le terrain devenant soit plus sec lorsque l'eau percole plus profondément dans des sols grossiers, soit plus imbibé d'eau lorsque le substrat à grains fins riche en glace demeure imperméable) et cela déclenche divers mouvements de terrain (comme des décollements de la couche active) qui créent des dépressions et des étangs et ainsi de suite. Inévitablement, la structure de l'écosystème change et son fonctionnement change aussi, puisque les températures du sol et en surface du sol augmentent, ce qui a pour effet d'accroître l'intensité des processus biogéochimiques dans le milieu, comme la décomposition de la matière organique et l'émanation de gaz carbonique. Puisque le sol gelé servait de base solide pour soutenir les infrastructures humaines, le dégel du pergélisol menace maintenant l'intégrité des infrastructures industrielles, municipales et de transports. Les méthodes d'ingénierie conçues pour préserver le pergélisol ou pour adapter les infrastructures à la perte de soutien doivent être mises en place avec un soin accru et une planification méticuleuse. Il est nécessaire de mieux évaluer les conditions du pergélisol dans tout le territoire si l'on veut comprendre les impacts des changements climatiques sur le milieu naturel et gérer adéquatement l'entretien et le développement des infrastructures.

Dans la région subarctique de l'Est du Canada, des recherches appliquées récentes ont déjà fourni d'importants renseignements concernant les impacts directs de la dégradation du pergélisol associée au réchauffement rapide survenu au cours des dernières décennies (Allard *et al.*, 2007, 2009; ACIA 2005; Calmels *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2010). Les projections des modèles climatiques indiquent que cette tendance se poursuivra ou même s'accroîtra au cours des prochaines décennies (Sushama

et al., 2007; GIEC, 2007; voir le chapitre 2). Les changements climatiques surviennent au moment où le développement industriel intense – surtout lié à l'exploitation minière – et les populations inuites en croissance rapide nécessitent de nouvelles infrastructures, comme des routes, des pistes d'atterrissage, des voies ferrées, des centaines de nouvelles unités d'habitation dans les villages, des édifices publics et toute l'expansion urbaine afférente. Les gouvernements et le secteur privé investissent massivement pour des infrastructures à long terme. Le rythme rapide d'expansion des villages met tout particulièrement en lumière la nécessité de mettre en place des plans de développement durable pour assurer le bien-être des communautés.

La planification urbaine dans les villages nordiques doit tenir compte de l'importance et de l'influence du climat extrême et du caractère très vulnérable du paysage (Forbes *et al.*, 2007; Irvine *et al.*, 2009; Ford *et al.*, 2010). Sur le plan du développement durable, il est essentiel que les communautés nordiques adoptent des techniques et des stratégies d'adaptation précises ayant trait au réchauffement du pergélisol afin de préserver ou d'étendre les infrastructures actuelles résidentielles, commerciales, municipales et de transports. Ce chapitre résume les connaissances récemment mises à jour sur les propriétés du pergélisol et sur les conditions thermiques dans la région du Nunavik et du Nunatsiavut. On y présente un aperçu des travaux de recherche effectués en collaboration avec les gouvernements et les communautés de la région pour cartographier et caractériser les conditions du pergélisol afin de prévoir les impacts possibles des changements climatiques, en appui à l'aménagement du territoire des villages et de la région. On y présente aussi un exemple de solutions techniques actuellement mises à l'essai dans le cadre d'une stratégie d'adaptation.

6.2 Le pergélisol : contexte scientifique

Le pergélisol est un phénomène directement lié au climat. Il s'agit de sol (ou de roc) dont la température demeure sous le point normal de congélation de l'eau (< 0 °C) pendant deux années consécutives ou plus (Harris, 1988; Davis, 2001;

French, 2007). Sa présence dépend principalement de la température annuelle moyenne à la surface du sol, laquelle doit être égale ou inférieure à 0 °C (sauf de rares exceptions). Le pergélisol couvre de 23 % à 25 % de l'hémisphère nord (Zhang *et al.*, 2008) et la majeure partie date de milliers d'années (Davis, 2001).

Comme ailleurs dans le monde, la distribution géographique du pergélisol dans la péninsule Québec-Labrador est associée à des facteurs de base qui définissent les conditions climatiques locales et régionales en surface (figure 1) : la température de l'air, les précipitations, la topographie, les types de couvert végétal, les couches de sol organique et tout

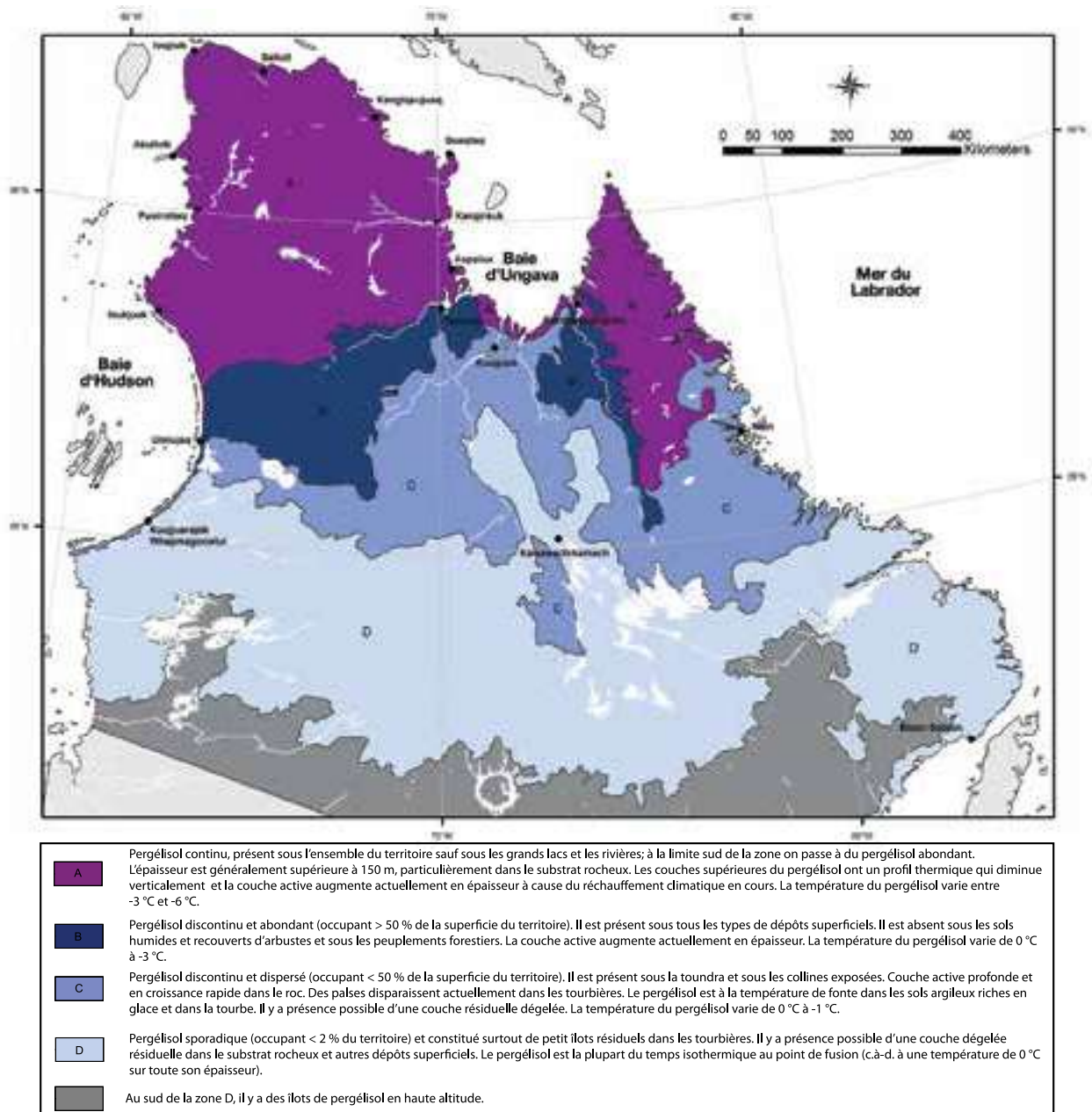


Figure 1. Distribution du pergélisol dans la péninsule du Québec-Labrador.

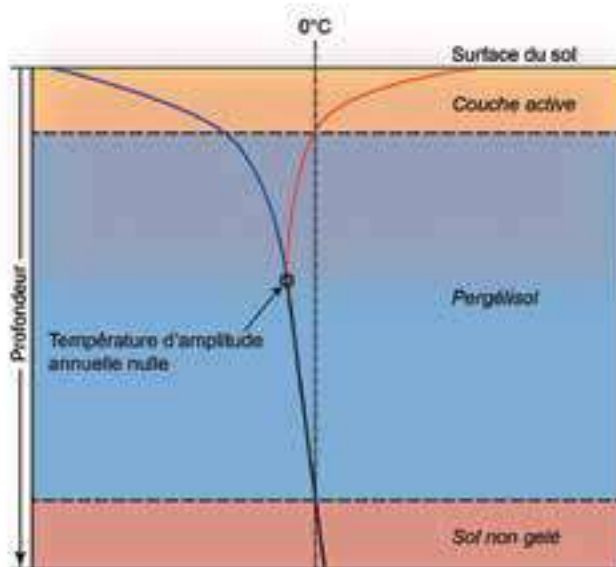


Figure 2. Profil du régime thermique du pergélisol. Adapté de Brown (1970).

particulièrement l'épaisseur et la durée de la couverture de neige. La zone de pergélisol sporadique au Nunavik et au Nunatsiavut s'étend approximativement des latitudes 51° N à 56° N, là où le pergélisol est principalement confiné dans des tourbières à cause des propriétés thermiques particulières à la tourbe (c.-à-d. que la tourbe se refroidit facilement lorsqu'elle est gelée en hiver et elle constitue un bon isolant qui prévient le réchauffement en été) (Brown, 1970; Burn, 1988). Les sommets des collines libres de neige à cause des vents sont aussi des sites dont le sous-sol est susceptible d'être du pergélisol, dans la zone de pergélisol discontinu. Cette zone s'étend approximativement des latitudes 56° N à 58° N. Pour ce qui est de la zone de pergélisol continu, elle s'étend vers le nord à partir du 58° N, là où les températures annuelles qui prévalent depuis la déglaciation ont permis la formation de pergélisol à des profondeurs de plus de 150 mètres (p. ex., Tasiujaq) et même jusqu'à 590 m de profondeur à la mine Raglan (Allard et Seguin, 1987; Chouinard *et al.*, 2007).

Dans les régions de pergélisol, le sol est constitué de deux couches principales : la couche active, en surface, qui fond et regèle chaque année et le pergélisol sous-jacent qui demeure sous 0 °C pendant toute l'année (French, 2007 ; Williams et Smith, 1989). La couche active et le pergélisol sont tous deux affectés par les variations saisonnières de température (figure 2), mais seule la couche active subit un dégel saisonnier (Washburn, 1979; Williams et Smith, 1989). On sait aussi que la discordance stratigraphique entre la couche active et le pergélisol (appelée le plafond du pergélisol) se déplace vers le haut ou vers le bas au cours de périodes de plusieurs années selon les variations climatiques. Un été exceptionnellement chaud peut donner une couche active plus épaisse. Conséquemment, la quantité de glace près du plafond du pergélisol peut varier pendant une courte période de quelques années seulement (Shur et Jorgenson, 2007). Plus profondément dans le pergélisol, la profondeur maximale affectée par les variations annuelles de température est appelée « la profondeur d'amplitude annuelle nulle » (figure 2); elle varie en fonction de la température de l'air et du type de sol (Pissart, 1987; French, 2007). Au Nunavik, cette profondeur est d'environ 22 m dans le substrat rocheux, un peu moins dans les sables, et d'environ 5 à 6 m dans les sols argileux (Lévesque *et al.*, 1990).

6.3 Impacts du réchauffement climatique sur le pergélisol

Le réchauffement climatique donne lieu avec le temps à un profil thermique vertical plus chaud dans le pergélisol et un dégel plus profond en été, c.-à-d. que la couche active devient plus épaisse. L'augmentation des températures annuelles moyennes de l'air, tout comme une couverture plus épaisse de neige, causent une absorption accrue de chaleur dans le sol. En Alaska, on a observé une augmentation de 0,3 °C à 4 °C des températures du sol depuis 1980, en fonction des conditions environnementales (Osterkamp, 2005). L'augmentation de l'épaisseur de la couche active a été observée et suivie dans de nombreux sites en Suède subarctique (Åkerman et

Tableau 1. Changements dans la température du sol et de la profondeur de la couche active à différents sites au Nunavik. Dérivé de Smith et al. (2010).

SITE (N° DE CABLE)	MATÉRIAU	AL 93 (CM)	AL 07 (CM)	Δ AL (CM)	Δ T°C 4M	ΔT°C 20M
Salluit (Sal-154)	Gneiss	279	374	95	1,8	1,0
Salluit (Sal-155)	Till	168	295	182	2,7	1,3
Akulivik (Aku-162)	Till	138	222	84	1,7	-
Akulivik (Aku-232)	Sable/argile	135	143	8	1,6	0,9
Quaqtaq (Quaq-156)	Sable/argile	151	170	19	1,5	1,5
Quaqtaq (Quaq-158)	Gneiss	416	519 ³	103	1,6	1,2
Puvurnituq (Puv-303)	Gneiss	339	469 ²	130	3,3	1,1
Aupaluk (Aupa-299)	Sable/argile	155	210	55	1,7	1,0
Tasiujaq (Tas-304)	Sable	113	207	94	1,7	-
Tasiujaq (Tas-roc)	Schiste	509	552	43	2,0	1,2
Kangiqsualujjuaq (Kan-231)	Gneiss	607 ¹	1100	493	3,4	1,2
Kangiqsualujjuaq (Coastal mound)	Argile	252 ⁴	332 ⁵	80	1,5	0,05
Umiujaq (Umi-roc)	Basalte	1008 ⁶	1556 ²	548	1,5	1,2*

¹1995, ²2005, ³2004, ⁴1994, ⁵2007, ⁶1997, *pergélisol maintenant à -0,01°C

Johansson, 2008), au Nunavut (Smith *et al.*, 2010; 2005), en Alaska (Osterkamp et Romanovsky, 1999; Osterkamp, 2003) et aussi dans la région subarctique de l'Est du Canada (Smith *et al.*, 2010). En fait, ce réchauffement a commencé en 1993 dans la région subarctique de l'Est du Canada et il y a eu une augmentation générale de 2 °C des températures du sol jusqu'en 2005 environ (Allard *et al.*, 2007). Les températures sont maintenant plus chaudes que dans le passé. Mesurées dans huit villages du Nunavik répartis dans le territoire, les données de surveillance du pergélisol dans divers matériaux superficiels indiquent des changements importants dans l'épaisseur de la couche active et la température du sol, relevée ici à des profondeurs de 4 m et de 20 m depuis le milieu des années 1990 (tableau 1).

Lorsque l'épaisseur de la couche active augmente au fil des ans à cause du réchauffement climatique, le dégel du pergélisol sous-jacent provoque de la subsidence (affaissement du terrain), car l'expulsion de l'eau de fonte de la glace des sols dégelés cause une certaine compaction. Ce processus est appelé tassement dû au dégel. Si le terrain est en pente, il peut y avoir des glissements de terrain déclenchés par la libération d'eau de fonte au front de dégel, ce qui accroît la pression d'eau interstitielle à l'interface dégelée/gelée. Le dégel du pergélisol en milieu naturel donne lieu à des dépressions et des étangs qui sont le résultat final d'un processus appelé thermokarst. Avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche active et la survenue de processus thermokarstiques, le terrain est dérangé et les écosystèmes qu'il soutient sont complètement modifiés. De la même façon, dans les

milieux bâtis, sous les édifices et les infrastructures comme les routes et pistes d'atterrissage, le dégel du pergélisol cause une importante perte de capacité portante, puisque le sol glacé qui était autrefois aussi dur que du béton devient un sol mou ou même de la boue. Des suites du réchauffement climatique, on observe une intensification de la dégradation du pergélisol à l'échelle circumpolaire et les infrastructures humaines s'en trouvent plus menacées qu'autrefois (Allard,

1996; Nelson *et al.*, 2002; Fortier *et al.*, 2007; L'Hérault, 2009; Smith et Riseborough, 2010).

Ainsi, on observe plus fréquemment des mouvements de masse destructeurs, comme la rupture de la couche active par décrochement (un type de glissement de terrain peu profond) (Lewkowicz et Harris, 2005a et b). À Salluit, au Nunavik, les décrochements de la couche active qui se sont



Figure 3. Cette rupture par décrochement de la couche active est survenue en 2005 dans le village de Salluit.



Figure 4. Champ de paises et de lacs thermokarstiques dans la région d'Umiujaq, au Nunavik.

produits en 1998 et 2005 ont été directement associés à une augmentation annuelle de l'épaisseur de la couche active de plus de 9 % au cours de l'été qui précédait, augmentation qui a été favorisée par un nombre accru de degrés-jours de dégel (c.-à-d. des étés plus chauds) (figure 3; L'Hérault, 2009).

Au Québec subarctique, on a constaté au cours des 50 dernières années une augmentation rapide du nombre d'étangs thermokarstiques et de la superficie qu'ils couvrent (Marchildon, 2007; Vallée et Payette, 2007; Thibault et Payette, 2009). Les résultats de Vallée et Payette

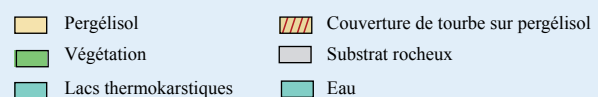
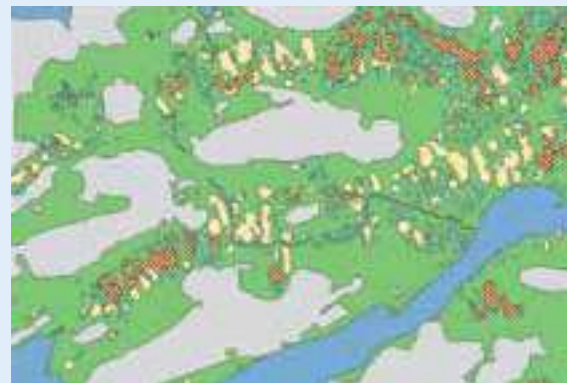
(2007) indiquent une augmentation de 76 % des aires thermokarstiques et une diminution de 23 % des monticules de pergélisol au site d'étude situé le long de la rivière Boniface. Marchildon (2007) a aussi observé la dégradation de 43 % du couvert de pergélisol et une augmentation de 65 % des aires thermokarstiques depuis 1957, près des rivières Nastapoka et Sheldrake, une région dominée par des paises, des lithalses et des plateaux de pergélisol dans la zone de pergélisol discontinu (encadré 1). Cette tendance a également été observée dans un champ de paises près d'Umiujaq (Nunavik) (figure 4) (Calmels *et al.*, 2008).

Encadré 1. Augmentation drastique des lacs thermokarstiques observée dans la région subarctique de l'Est du Canada.

Un lac thermokarstique se forme lorsque le dégel du pergélisol à grains fins riche en glace cause une subsidence qui crée une dépression qui renferme un plan d'eau. Lorsqu'une mare se forme dans une dépression, davantage de chaleur est stockée dans l'eau; cela augmente le taux de dégel du pergélisol sous et autour de la mare, ce qui induit encore plus de subsidence. Une fois ce processus de rétroaction commencé, la dégradation du pergélisol s'accélère (Larouche, 2010). Des milliers de petits lacs se forment dans les régions de basses terres, surtout là où les paises et lithalses dominent le paysage. Au Nunavik, il y a une grande zone d'activité thermokarstique qui s'étend à l'est de la baie d'Hudson, dans les sols à grains fins riches en glace, entre le 55 °N et le 58 ° N. Des lacs thermokarstiques peuvent aussi se trouver dans d'autres types de sols, à condition qu'ils contiennent beaucoup de glace.

On a aussi pu interpréter des périodes passées de réduction du pergélisol et d'augmentation de la profondeur de la couche active à partir de reconstructions stratigraphiques et de datation au carbone-14 au cours des derniers millénaires en lien avec les changements climatiques survenus au cours de l'Holocène récent. Cependant, l'activité thermokarstique depuis la fin du Petit Âge glaciaire (autour des années 1880) et le rythme de dégradation encore plus rapide des dernières années semblent se produire à une échelle sans précédent (Allard et Seguin, 1987; Kasper et Allard, 2001).

Région de la rivière Sheldrake



En dernier lieu, le dégel du pergélisol amplifie la fréquence des processus géomorphologiques qui, jusqu'à présent, étaient peu actifs dans l'environnement gelé (McKenzie *et al.*, 2007). Par exemple, les bassins versants des petites rivières et ruisseaux qui étaient peu développés dans un terrain de pergélisol imperméable commencent maintenant à se structurer et à s'étendre, permettant à l'eau de surface de s'écouler à travers un terrain dégélé; des étangs se retrouvent connectés les uns aux autres et la perméabilité du sol s'accroît en général (McNamara *et al.*, 1999). La présence de cette nouvelle eau liquide dans l'environnement induit une chaleur additionnelle dans le pergélisol qui subsiste sous les lits des lacs et autour des lacs, ce qui contribue à intensifier davantage le dégel du pergélisol, la subsidence et la modification du paysage (Mackay, 1974, Larouche, 2010).

6.4 Impacts de la dégradation du pergélisol sur les infrastructures

Le dégel du pergélisol menace l'intégrité des infrastructures résidentielles, municipales et de transports. Les infrastructures sont affectées de deux façons : 1) par le tassement dû au dégel; 2) par la déstabilisation du terrain, les glissements de terrain et l'érosion thermique. Les fondations des infrastructures s'affaissent et perdent de leur résistance lorsque le pergélisol sous-jacent commence à dégeler. Cela affecte les édifices qui s'enfoncent inégalement ce qui cause des fissures dans les murs et des courbures dans les planchers. Dans les grandes constructions, comme les garages, le plancher s'affaisse habituellement dans le centre de l'édifice et la structure générale se déforme vers l'intérieur. Des mesures correctives coûteuses sont souvent nécessaires. Jusqu'à maintenant, la plupart des cas observés de tassement des infrastructures peuvent être expliqués par des facteurs qui ne sont pas dus au réchauffement climatique, mais plutôt aux piètres conceptions initiales associées à un manque de connaissances des conditions locales du pergélisol, surtout en ce qui a trait à la teneur en

glace du sol. Lors de la construction des premières pistes d'aviation au Nunavik (de 1984 à 1992), le plafond du pergélisol s'est élevé jusque dans les remblais ou jusque dans l'ancienne couche active sous-jacente. Actuellement, avec le réchauffement climatique, la couche active sous ces remblais demeure encore dans l'ancienne couche active pauvre en glace, mais encore gelée. Le tassement est alors minime ou négligeable. Il va toutefois augmenter et deviendra de plus en plus dommageable à l'avenir lorsque le dégel se fera encore plus profondément dans le pergélisol en réaction au réchauffement du climat.

On a observé deux principaux facteurs qui génèrent de la chaleur dans le sol et causent le dégel du pergélisol dans ces sites : l'accumulation de bancs de neige et la formation de mares d'eau le long de la base des remblais. Les bancs de neige qui s'accumulent sous le vent contre les flancs des remblais isolent la surface du sol et par conséquent empêchent le refroidissement habituel du sol en hiver. Pendant les étés qui suivent, le dégel progresse plus profondément et l'épaisseur de la couche active augmente, ce qui provoque un tassement du sol et peut mener à l'effondrement des routes et des pistes d'atterrissage. La couverture de neige locale qui s'accumule contre le flanc des remblais peut être même assez épaisse pour empêcher totalement la couche active de geler à nouveau. Ainsi à Salluit, des mesures prises avec des enregistreurs de données ont révélé qu'une épaisseur maximale de neige (mesurée à la fin du mois de mars) d'environ 1,1 m était suffisante pour maintenir la température à la surface du sol au-dessus de 0 °C, causant ainsi une dégradation localisée du pergélisol. Des mesures similaires ont été prises à Tasiujaq, où le climat est plus chaud, et on a constaté qu'un seuil d'épaisseur de neige de 0,8 m était suffisant pour maintenir la température à la surface du sol au-dessus de 0 °C et empêcher la couche active de regeler. Des mesures de températures et des forages dans un sol effondré le long d'un remblai de piste ont indiqué qu'en 2008, après une période de 10 à 15 ans, le sol a dégélé à des profondeurs atteignant de 6 à 7 m (Allard *et al.*, 2010). Pour une piste d'atterrissage, cet impact est ressenti sur une distance de plusieurs mètres à l'intérieur des bordures

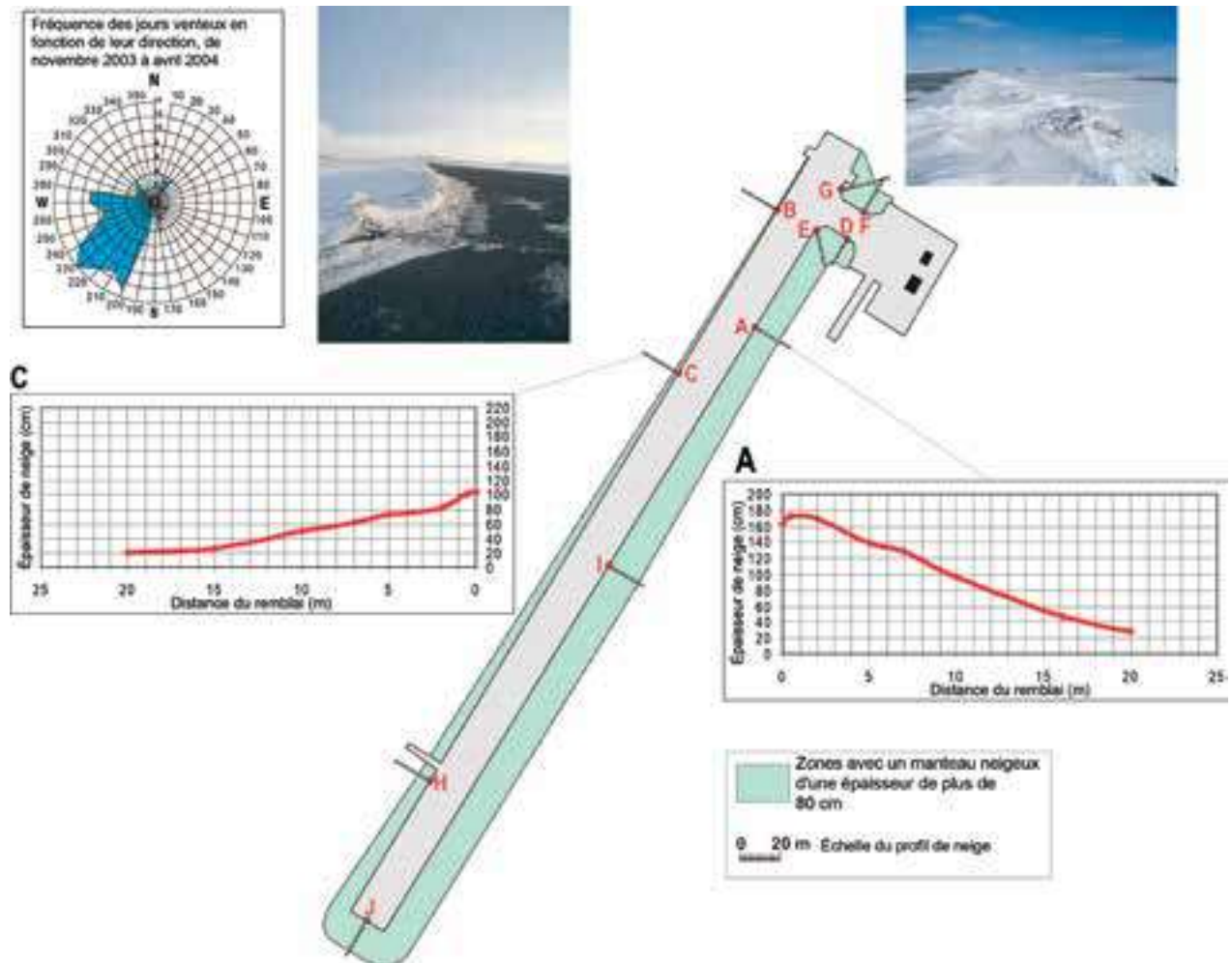


Figure 5. Piste d'atterrissage de Tasiujaq avec deux transects montrant la différence évidente des profils d'accumulation de neige (A et C) des deux côtés de la piste. L'accumulation de neige est directement affectée par les vents dominants venant du sud-ouest. Les lettres représentent d'autres transects de profils d'accumulation de neige.

de la piste. Pour une route étroite, l'effet thermique des bancs de neige des deux côtés de la voie est suffisant pour affecter la route dans toute sa largeur (Fortier *et al.*, 2011).

L'influence de l'accumulation saisonnière de neige le long des remblais des routes sur le dégel du pergélisol est accrue davantage par les mares d'eau qui se forment dans les dépressions. En été, cette eau retient la chaleur du soleil qui est ensuite transférée au sol. L'augmentation de la teneur en eau dans le sol dégelé sous le remblai retarde le regel du sol à cause de l'effet de chaleur latente

(quantité de chaleur qui doit être extraite afin que l'eau se transforme en glace). La « bulle chaude » s'étend sous le remblai et l'effondrement s'étend vers l'intérieur de l'infrastructure. Un bon exemple de ceci est la dégradation observée le long de la piste d'atterrissage de Tasiujaq (figure 5).

Les chenaux de suintement sont des dépressions peu profondes à la surface d'un terrain en pente sans ruisseau précis où l'eau s'écoule en nappes minces au-dessus de la toundra et suinte à travers la couche active (McNamara

et al., 1999). Cette eau souterraine à proximité de la surface véhicule de la chaleur par advection, ce qui s'ajoute à la chaleur qui réchauffe le sol en été par conduction à partir de la surface. Lorsque de telles chenaux de suintement traversent sous une route ou un remblai de piste d'atterrissage, il se forme par tassement des dépressions transversales localisées (de Grandpré *et al.*, 2010).

Au bout du compte, l'accumulation de neige, les mares d'eau et la chaleur d'advection des eaux d'infiltration contribuent à réchauffer le pergélisol et à générer du tassement dû au dégel qui endommage les infrastructures. Un bon exemple de ceci est fourni par les dépressions multiples, répétées et dues au tassement qui affectent la route menant à l'aéroport de Salluit (figure 6).

À l'heure actuelle, les interventions pour restaurer les pistes et les routes et accroître leur durée de vie utile consistent en premier lieu à reconfigurer les pentes latérales à des angles plus faibles afin de les rendre plus aérodynamiques et éviter l'accumulation de bancs de neige par la dérive du vent et, en deuxième lieu, de corriger le drainage en surface pour l'éloigner des infrastructures.

Lorsque cela s'avère nécessaire, on revoit la conception des ponceaux et des fossés. Dans certains cas, on peut recourir à des solutions d'ingénierie plus proactives, comme des remblais à convection, des bermes et des drains thermiques pour prévenir la dégradation ultérieure du pergélisol après restauration. Les solutions adoptées pour l'entretien de la piste de Puvirnituq sont un exemple d'intervention globale conçue pour stopper l'impact du transfert thermique par advection dû aux eaux d'infiltration sous la piste et aussi l'accumulation de neige sur les côtés (voir l'encadré 2).

Dans la région subarctique de l'Est du Canada, les ruptures par décrochement de la couche active sont un type de glissement de terrain souvent observé ayant des répercussions sur les zones urbaines (Lewkowicz et Harris, 2005a et 2005 b). De tels glissements de terrain peuvent



Figure 6. Route d'accès de l'aéroport de Salluit montrant d'importantes déformations avec une succession de tassements dus au dégel (refaite à neuf à l'été 2012).

survenir en tout temps, mais on a démontré qu'ils se produisaient particulièrement à la fin d'étés chauds (à partir de la mi-août), lorsque le dégel est plus profond que lors des années précédentes et cause ainsi la fonte de la glace dans le sol à la limite entre la couche active et le pergélisol, ce qui libère de l'eau dans un sol autrement imperméable, créant des pressions d'eau interstitielle excessives juste au-dessus d'un plan parfaitement glissant (soit le pergélisol glacé). Un tel glissement de terrain s'est produit le 5 septembre 1998 à Salluit (figure 7) près d'un nouveau secteur urbain en construction; il a mené à l'abandon du projet de développement et au déménagement de 20 nouvelles maisons (L'Hérault, 2009). Pour ce qui est de l'érosion thermique, elle a lieu quand l'eau s'adonne à couler directement sur le pergélisol glacé. Cela se produit souvent dans des endroits précis comme à la sortie des ponceaux et dans les ornières creusées par les véhicules et la machinerie dans la toundra (figure 8). L'érosion thermique peut aussi avoir lieu dans des cavités formées par les glissements de terrain, si un ruisseau y coule, ou le long des berges d'une rivière dans les moments de haut débit.



Figure 7. Cette rupture par décrochement de la couche active à Salluit est survenue en 1998 et a provoqué l'abandon du projet de développement dans ce secteur ainsi que le déplacement de 20 maisons déjà bâties.



Figure 8. Processus de thermoérosion déclenché par le passage d'un véhicule lourd à Salluit.

La construction sur le pergélisol dans le contexte des changements climatiques requiert une recherche de solutions novatrices pour prévenir la détérioration graduelle des édifices et des infrastructures. Planifier l'extension des villages ou l'établissement d'installations industrielles sur du terrain où les caractéristiques du pergélisol, sa teneur en glace et son régime thermique sont variables, tout en tenant compte des changements climatiques à venir, s'avère une entreprise technique multidisciplinaire exigeante dans le cadre d'un développement économique et durable. Sans planification appuyée par des connaissances locales suffisantes du pergélisol, les risques de se retrouver avec des coûts élevés de gestion et de réparation sont grandement accrus. Dans le contexte des changements climatiques et de la récente situation socioéconomique au Nunavik et au Nunatsiavut, les gouvernements et les chercheurs travaillent de pair pour cerner les principales lacunes en matière de connaissances, pour produire des cartes des conditions du pergélisol aux fins de la gestion du territoire, pour trouver des solutions techniques applicables et des modèles de prédiction du régime thermique du pergélisol afin d'instaurer des stratégies d'adaptation.

6.4.1 Méthode choisie pour cartographier et caractériser le pergélisol aux fins de gestion des infrastructures et d'urbanisme

Depuis 2002, on a adopté une approche intégrée, regroupant plusieurs techniques et disciplines, pour cartographier les conditions du pergélisol et les propriétés géotechniques aux fins des projets d'aéroports, de routes et de villages. Comme la quantité de glace de sol et sa disposition structurale dans le sol (p. ex, lentilles de glace, corps massifs de glace, réseaux de coins de glace, etc.) sont étroitement associées au type de matériaux géologiques superficiels (tableau 2), la première étape consiste à cartographier la géologie du Quaternaire à l'aide de photographies aériennes et d'images par satellite de haute résolution. Cette interprétation cartographiée est alors validée par des vérifications sur le terrain, comme

des observations sur place, des puits d'essai et des trous de forage avec récupération d'échantillons. La plupart des types de substrat rocheux du Bouclier canadien au Nunavik et au Nunatsiavut sont massifs et contiennent une petite quantité de glace confinée dans leurs éléments structuraux, comme les joints et les plans de litage. L'épaississement de la couche active a par conséquent des répercussions négligeables sur la stabilité des terrains rocheux (bien que des exceptions existent). Les sols argileux contiennent en abondance des lentilles de glace de ségrégation dont le contenu volumétrique en glace peut parfois s'approcher de 100 %. Le till, un mélange de blocs, de sable, de gravier et de limon, est très abondant au Nunavik et au Nunatsiavut et il contient souvent de grandes quantités de glace ce qui le rend susceptible au tassement dû au gel. Dans le gravier et le sable grossier, la teneur en glace est la plupart du temps très faible. Néanmoins, le gravier peut subir une consolidation importante au moment du dégel. Les caractéristiques géomorphologiques à la surface sont aussi des indicateurs de la teneur et de la structure de la glace de sol. Les formes les plus souvent observées sont les ostioles dans des sols à grains fins ou à matrice fine, des polygones de toundra au-dessus de réseaux de coins de glace ainsi que des coulées de gélifluxion et des sols striés sur des terrains inclinés riches en glace. D'autres indicateurs caractéristiques de la teneur en glace de sol et de la fragilité du terrain sont les cicatrices de glissement de terrain, les secteurs mal drainés avec des ostioles et des polygones, les cicatrices d'érosion des berges et les formes thermokarstiques (notamment de nombreux petits lacs et étangs).

Dans le cadre de certains projets (p. ex., huit sites d'aéroport), un entrepreneur a extrait des carottes gelées de pergélisol à l'aide d'une foreuse avec mèche au diamant et de la boue de forage réfrigérée. Les sites de forage ont été choisis en vue d'obtenir des échantillons de tous les principaux dépôts superficiels et types de terrain représentatifs des conditions du pergélisol retrouvés au site étudié. Le contenu volumétrique en glace de sol est mesuré par l'analyse d'images faites au tomodynamomètre à rayons X (comme en médecine) effectuées sur les

Tableau 2. Caractéristiques morphologiques du pergélisol; éléments géologiques et types de glace de sol des dépôts superficiels.

MORPHOLOGIE ET CRYOSOLS	TYPE DU DÉPÔT DE SURFACE	TEXTURE	ZONE DE PERGÉLISOL	TYPES DE GLACE DE SOL	PRÉSENCE POSSIBLE DE GLACE EXCESSIVE
Lithales	Limons et argiles marins Sables (monticules bas)	Argiles limoneuses Sables fins à moyens	Discontinu et largement répandu Discontinu et dispersé	Glacé de ségrégation	Oui
Palses	Tourbe Tourbe/limons et argiles Tourbe/sable ou till (rare)	Tourbe fibrique ou humique sur des dépôts à grains fins	Discontinu et largement répandu Discontinu et dispersé	Glacé de ségrégation	Oui, dans les sédiments minéraux sous la tourbe
Lacs thermokarstiques (associés aux palses et lithales)	Tous les dépôts possibles; majoritairement à grains fins et des sédiments tourbeux	Tourbe Argiles limoneuses Sables	Toutes les zones	S.O.	S.O.
Polygones à coins de glace	Tills Sables de terrasse fluviale Sables avec sols organiques	Tourbe Sables fins à grossiers	Continu	Coin de glace et glace interstitielle	Oui, dans les réseaux de polygones
Polygones à coins de sol	Tills (sur les crêtes de drumlins) Dépôts fluvioglaciaires (dépôt d'épandage et deltas), sables de plage	Sables grossiers hétérométriques et dépôts de gravier	Continu Discontinu et largement répandu	Glacé interstitielle	Non
Ostioles avec bourrelets	Tills, diamictons (estrans émergés); souvent associés avec des polygones de coins de sol et des lobes de solifluxion	Sables grossiers hétérométriques et dépôts de gravier avec des limons ou sables très fins	Continu Discontinu et largement répandu	Glacé interstitielle Petites quantités de glace de ségrégation	Non
Ostioles à centre convexe	Dépôts marins et lacustres. Abondants sur le dessus des lithales	Sables fins et argiles limoneuses	Continu Discontinu et largement répandu Discontinu et dispersé	Glacé de ségrégation	Oui
Sols striés	Tills Dépôts de pente	Diamictons à blocs dans une matrice fine	Continu	Glacé interstitielle	Non
Lobes de solifluxion	Tills Sables marins Dépôts de pente	Dépôts hétérométriques dans une matrice limoneuse ou de sable fin Dépôts hétérométriques avec une matrice limoneuse ou de sable fin	Toutes les zones	Glacé interstitielle, Petites quantités de glace de ségrégation	Non
Hummocks ou thufurs	Tills et diamictons en terrain plat mal drainé	Dépôts hétérométriques avec une matrice limoneuse ou de sable fin	Continu Discontinu et abondant	Glacé interstitielle	Non
Buttes cryogènes saisonnières avec noyaux de glace et auefs	Tous les types de dépôts	Dépôts de toute taille et sols organiques. Près des sources d'eau et des ruissellements printaniers	Continu Discontinu et abondant	Glacé intrusive (soulèvement rapide et important en hiver et affaissement en été)	Oui
Blocs et buttes rocheuses d'éjection	Roches fracturées		Continu Discontinu et abondant Discontinu et dispersé	Glacé intrusive? Glacé de ségrégation?	?

carottes gelées (Calmels et Allard, 2004); d'autres traitements en laboratoire sont aussi réalisés, comme les analyses granulométriques, la mesure de la teneur en sel et les limites d'Atterberg (liquidité et plasticité). Des essais de consolidation due au dégel sont aussi effectués sur des échantillons choisis. La connaissance de l'étendue géographique de ces dépôts, de leur stratigraphie et des conditions régionales de glace de sol est rehaussée par des sondages géophysiques peu profonds, tout particulièrement les levés par géoradar et les relevés par la résistivité électrique (p. ex., Ohm-Mapper™). Enfin, les renseignements issus de toutes ces sources sont intégrés et colligés dans l'application d'un système d'information géographique (SIG). Les couches d'information englobent l'infrastructure, la topographie, le drainage, la géologie en surface, les caractéristiques périglaciaires et les relevés sur le terrain (c.-à-d. les puits d'essai, les trous de forage, le géoradar et la résistivité électrique).

Les cartes des sols à grande précision et le modèle numérique de terrain (en fait une carte topographique numérique à haute précision) sont superposés sur les images satellite de haute résolution récemment acquises (p. ex., Quickbird, Ikonos ou GeoEye) de sorte que les villes et infrastructures actuelles sont visualisées dans leur contexte environnemental. Toute cette information organisée est alors utilisée dans le cadre de rencontres multidisciplinaires réunissant des géomorphologues, des ingénieurs, des aménagistes, des administrateurs et des intervenants (personnel des organismes gouvernementaux responsables, gestionnaires et membres des communautés, personnel des administrations régionales, consultants, etc.) pour analyser les situations, évaluer les risques et prendre des décisions en matière d'adaptation.

Les projections des changements de la couche active et du régime thermique sont par conséquent produites par modélisation numérique afin de simuler d'éventuelles répercussions sur le pergélisol et les infrastructures. Ces simulations utilisent les données du Modèle régional canadien du climat (MRCC) de haute résolution spatiale d'Ouranos (voir le chapitre 2 du présent volume). Des

câbles thermistances existants du réseau SILA, qui sont utilisés dans la plupart des villages depuis deux décennies (tableau 1), sont utilisés pour étalonner l'analyse thermique et les simulations numériques (Barrette, 2010). De nouveaux câbles sont installés dans les trous de forage, soit pour combler les lacunes du réseau soit pour obtenir des mesures spécifiques de situations particulières (comme le régime thermique sous un remblai ou sous un site restauré afin de surveiller la récupération du régime thermique).

6.4.2 Gestion et expansion urbaine

Traditionnellement, la plupart des communautés du Nunavik et du Nunatsiavut étaient situées dans des endroits choisis à l'origine par les Inuits en fonction de leur accès aux ressources alimentaires avoisinantes, à de l'eau potable, aux terrains de campement, aux sites protégés près des rivages, etc. Les organismes, comme les églises et la Compagnie de la Baie d'Hudson, se sont joints aux Inuits dans ces lieux. Plusieurs villages sont situés dans des baies maritimes ou aux embouchures des rivières qui leur fournissent un abri contre le vent et un bon accès à la mer. Leur emplacement favorisait le mode de vie traditionnel basé sur le campement, la chasse, la pêche et la cueillette. On ne s'attendait pas vraiment à la modernisation et à la croissance rapide de la population à la fin du XX^e siècle. À la fin des années 1960, il y a eu émergence d'un mode de vie sédentaire des suites de la prestation par les gouvernements de services économiques, administratifs, sociaux, d'éducation et de santé. La croissance et le développement socioéconomique des communautés ont mené à la construction de nouvelles maisons et écoles, de nouveaux arénas et centres de santé et de nouvelles infrastructures municipales et de services. Les villages ont étendu leurs infrastructures au fil des ans, parfois dans des zones géomorphologiques qui étaient moins favorables (p. ex., sur des sédiments fluviaux ou marins riches en glace) où ils sont maintenant limités par une topographie contraignante ou par des étendues de terrain mal drainé. Chaque village est situé dans un emplacement climatologique et géomorphologique particulier, certains étant plus favorables que d'autres à l'adaptation pour l'expansion moderne.

De nos jours, la croissance de la population dans les villages inuits est une des plus fortes au monde. Au Nunavik, le taux de croissance démographique varie de 2,3 % à Kuujjuarapik à 23,4 % à Inukjuak, avec un taux moyen pour les 14 villages de l'ordre de 10,46 %, de 2001 à 2006 (tableau 3A). Cependant, une tendance opposée est également observée dans la plupart des villages du Nunatsiavut ; le taux de croissance global y est négatif (-6,0 %), variant de -15,1 % à Rigolet à -5,2 % à Hopedale, de 2001 à 2006 (tableau 3B).

Malgré cette récente tendance démographique négative au Nunatsiavut, il y a encore un important besoin de maisons à cause de la détérioration rapide du parc actuel de logements et des programmes de construction domiciliaire inadéquats des dernières années. En 2010, la Division de l'environnement du gouvernement du Nunatsiavut et l'administration de la communauté inuite de Nain – en partenariat avec l'Université Memorial de Terre-Neuve, ont mis sur pied un projet dont les objectifs principaux sont de cartographier la nature et la distribution du pergélisol, d'évaluer les impacts des changements des conditions du pergélisol et de l'épaisseur de la couche active sur les infrastructures actuelles et celles que l'on planifie, et d'étudier comment des modifications à la conception et à la construction des édifices peuvent améliorer l'intégrité globale et la durabilité des infrastructures dans le contexte des changements climatiques et environnementaux. La pratique actuelle de construire certains édifices directement sur une fondation de gravier et de sable a créé une série de problèmes structuraux, dont des fissures et des déformations dans les murs et une interruption des services d'égouts et d'approvisionnement en eau, ce qui a mené à la condamnation de maisons et d'édifices commerciaux, à l'interruption des services communautaires et à une augmentation des coûts d'entretien et de chauffage (figure 9). Un des résultats importants du projet en cours est le développement d'une carte composite des risques associés au terrain à Nain. Elle sera intégrée à l'aménagement du territoire de la communauté pour aider à assurer la sécurité des gens

inhérente au développement futur et existant. Un des buts à long terme du projet est d'informer la prise de décision dans l'objectif de développement durable des villages du Nunatsiavut, incluant des pratiques de construction, des stratégies de développement, la conception des infrastructures et l'efficacité énergétique.

Tableau 3. Contexte démographique au Nunavik (A) et au Nunatsiavut (B) en 2001 et 2006.

TABLEAU A	POPULATION		
MUNICIPALITÉS *	2006	2001	VARIATION (%)
Akulivik	507	472	7,4
Aupaluk	174	159	9,4
Inukjuak	1 597	1 294	23,4
Ivujivik	349	298	17,1
Kangihsualujuaq	735	710	3,5
Kangihsujuaq	605	536	12,9
Kangirsuk	466	436	6,9
Kuujuaq	2 132	1 932	10,4
Kuujjuarapik	568	555	2,3
Puvirnituk	1 457	1 287	13,2
Quaqtaq	315	305	3,3
Salluit	1 241	1 072	15,8
Tasiujaq	248	228	8,8
Umiujaq	390	348	12,1
TOTAL	10784	9632	10,46

TABLEAU B	POPULATION		
MUNICIPALITÉS*	2006	2001	VARIATION (%)
Nain	1 034	1 159	-10,8
Cartwright	552	629	-12,2
Happy Valley-Goose Bay	7 572	7 969	-5
Makkovik	362	384	-5,7
Rigolet	269	317	-15,1
Postville	219	215	1,9
Hopedale (division 11)	530	559	-5,2
TOTAL	10 538	11 232	-7,4

Statistique Canada 2006; *Institut de la statistique du Québec 2006



Figure 9. Subsidence du sol liée au dégel du pergélisol qui cause des dommages structurels et des problèmes de maintenance des infrastructures à Nain, au Nunatsiavut.

Au Nunavik, la croissance démographique rapide a donné lieu à une grave crise du logement. En effet, l'Office municipal d'habitation Kativik (OMHK) évalue qu'avec la population actuelle du Nunavik totalisant plus de 12 000 résidents (Statistique Canada, 2012) qui vivent dans 2 100 habitations, on a besoin de 915 nouvelles unités d'habitation. D'autre part, dans un rapport publié en 2007 par la Commission des droits de la personne et de la jeunesse, le surpeuplement des logements a été identifié comme un des principaux facteurs responsables de la maltraitance des enfants et de la perte de qualité de vie. Dans le cadre du Plan Nord, le gouvernement du Québec vient de lancer un nouveau programme important de logements pour commencer à répondre à ces problèmes. Il devient maintenant plus urgent de planifier le développement sur un terrain de pergélisol afin de soutenir l'expansion des villages suscitée par ce programme de construction et protéger les grands investissements publics. Étant donné la variabilité des conditions du pergélisol au sein de chacun des villages et entre ceux-ci, et dû aux grandes variations du climat dans

toute la région subarctique de l'Est du Canada, les problèmes de gestion et d'expansion sur le pergélisol sont souvent bien spécifiques d'un cas à un autre. Certains n'ont besoin que de solutions mineures d'adaptation alors que d'autres sont confrontés à des enjeux qui exigent un engagement sérieux de la part des gestionnaires et des intervenants locaux et un renforcement de leurs capacités. Chaque village est aussi un regroupement de personnes qui partagent une histoire régionale commune et qui jouissent d'une grande autonomie dans l'élaboration de leur perspective d'avenir; par conséquent, ces personnes ont vraiment leur mot à dire dans la planification du développement. Le choix de techniques de construction appropriées et de types de fondation dépend directement des caractéristiques locales du pergélisol et du type d'édifices que les communautés décident de demander (p. ex., logements individuels ou multiples, édifices communautaires, écoles, etc.).

Certaines techniques de construction spécialement adaptées au pergélisol sont actuellement utilisées dans le Nord.

Par exemple, des vérins ajustables sur des remblais sont un des types de fondation fréquemment utilisés dans les villages nordiques. Les températures du sol mesurées sous ces maisons (qui sont ainsi soutenues au-dessus du sol) ont indiqué qu'il s'agit d'une technique de construction efficace dans le contexte du réchauffement du pergélisol (Allard *et al.*, 2004). Des pieux correctement conçus sont une autre technique qui s'est avérée efficace pour des édifices plus imposants, comme des écoles et des hôpitaux. La technique des thermosyphons, principalement utilisée pour les garages construits sur une dalle sur terre-plein, est également efficace. Une autre technique connue, bien que rarement utilisée au Nunavik et au Nunatsiavut, est celle des fondations dont le radier compacté est aéré par des tuyaux (c.-à-d. que les fondations sont ventilées par des tuyaux métalliques) (Andersland et Ladanyi, 2004). Les coûts varient en fonction du type d'édifice et de la meilleure méthode de construction utilisée. Par conséquent, pour minimiser les impacts potentiels du dégel du pergélisol sous les infrastructures actuelles et futures, et pour adopter des solutions et des stratégies de gestion abordables, il faut bien connaître les conditions du pergélisol dans les villages nordiques.

L'équipe de chercheurs du Centre d'études nordiques (Allard *et al.*, 2007) a réalisé un projet de recherche dans 11 villages du Nunavik (c.-à-d. là où le pergélisol est présent) qui a fourni des cartes préliminaires de la variabilité spatiale des conditions du pergélisol dans ces villages et leurs environs et a permis de cerner en général les zones favorables à l'expansion et les zones problématiques où il y a tassement dû au dégel et où d'autres problèmes sont à prévoir. Dans le cadre de ce projet, on a élaboré une méthode générale de cartographie basée sur la corrélation entre les caractéristiques géomorphologiques et la géologie superficielle sur des photographies aériennes et des images par satellite de haute résolution et le type de glace de sol (résumé au tableau 2). Ces cartes (figure 10) constituent maintenant un outil de gestion que les communautés peuvent utiliser pour orienter leurs stratégies de gestion. Cependant, puisque cette méthode de cartographie était principalement basée sur des observations et sur

l'interprétation de caractéristiques géomorphologiques et puisque les teneurs en glace peuvent varier de façon importante à l'échelle locale au sein d'une même unité géomorphologique (comme l'a démontré L'Hérault en 2009), ces cartes ne représentent qu'une première étape et un programme plus poussé de caractérisation est en cours dans le cadre du programme d'Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR) de Ressources naturelles Canada, administré au Québec par Ouranos en partenariat avec l'Administration régionale Kativik (ARK) et quatre communautés. Ce programme comporte aussi une composante de formation et transfert de connaissances aux résidents du Nord sur des questions pratiques associées au pergélisol et donnée par l'ARK.

Une étude cas : le village de Salluit

De tous les villages du Nunavik et du Nunatsiavut, Salluit est le cas le plus largement documenté. Il illustre la complexité de l'expansion et de la gestion des villages sur du pergélisol sensible. Salluit héberge actuellement quelque 1 300 habitants et on prévoit que sa population atteindra de 1 700 à 2 000 habitants d'ici 2025 (Institut de la statistique du Québec). En 2008, on constatait déjà une pénurie de 131 logements (Allard *et al.*, 2009). Cependant, Salluit doit s'étendre dans un contexte géomorphologique contraignant et difficile (Pluritec, 1974). La majeure partie du village est confinée dans une vallée profonde bordée par des falaises abruptes (L'Hérault, 2009). Les étendues planes sont limitées et sont en dominance constituées de sédiments riches en glace et sensibles au dégel, notamment des tills et des argiles marines. Il y a aussi peu d'étendues de terrain rocheux à pente douce. Sur le pergélisol riche en glace, même les pentes douces sont instables. Confrontées à cette situation complexe, les autorités ont décidé en 2007 de réunir des spécialistes du climat et du pergélisol, des économistes, des ingénieurs, des architectes et des gestionnaires des paliers de gouvernements participants afin d'explorer les possibilités et d'élaborer les meilleures stratégies d'expansion et de gestion, en prenant soin d'intégrer les effets prévus du réchauffement climatique sur la stabilité du pergélisol et le risque posé par les dangers géomorphologiques associés à l'instabilité du sol.

Ce projet a permis d'obtenir une foule de renseignements utiles sur le climat et le pergélisol dans le village et ses environs. Les données climatiques et du régime thermique du sol récoltées depuis 2002 ont permis de comprendre les conditions climatiques qui déclenchent les processus dans le pergélisol, comme le tassement dû au dégel, les ruptures par décrochement de la couche active et l'érosion thermique. Cette information a permis d'orienter le développement de projections modélisées du comportement du pergélisol et de les valider en fonction de divers scénarios climatiques. Ce projet a aussi généré des solutions techniques et d'ingénierie pour maintenir ou restaurer des conditions de pergélisol adéquates pour la construction. Par exemple, un radier expérimental a été conçu et installé dans un terrain qui s'était déjà dégradé, dans une tentative de restaurer le pergélisol. Les données de suivi montrent que le pergélisol retourne à un état quasi naturel et qu'il devrait envahir le sol sous le radier expérimental, donnant ainsi de la stabilité pour de nombreuses années à venir.

Pour les besoins d'expansion, il est nécessaire d'avoir une carte détaillée des conditions du pergélisol. En tout, plus de 100 trous de forage ont été percés de 2002 à 2008. On a produit des cartes de la géologie superficielle et de la profondeur du substrat rocheux et des cartes des conditions du pergélisol (c.-à-d. la teneur en glace de sol, la cryostructure, la texture des sols et leur comportement prévu lors du dégel). La teneur en glace varie énormément à l'échelle locale et il est donc nécessaire de produire des cartes qui sont les plus précises possibles et qui seront des outils de gestion essentiels lorsque viendra le temps d'investir dans de nouveaux développements. Un des produits importants de ce projet a été le développement de cartes de gestion des risques à partir de l'intégration de toute l'information géographique générée (figure 11). Ces cartes sont basées sur un indice de risque qui intègre trois niveaux d'information : les pentes, les conditions du pergélisol et les zones identifiées comme comportant de sévères contraintes pour la construction (comme les terrains humides, les réseaux de polygones de coins de glace, les concentrations d'ostioles et les zones montrant des séquelles de rupture par décrochement de la couche active). Par la suite, l'indice de risque a permis de

produire des cartes de zones potentielles de construction où, pour toute catégorie de terrain donné, on propose des types de fondations qui sont adéquates, conformément aux directives actuelles en matière de solutions d'ingénierie (voir la légende de la carte de la figure 11).

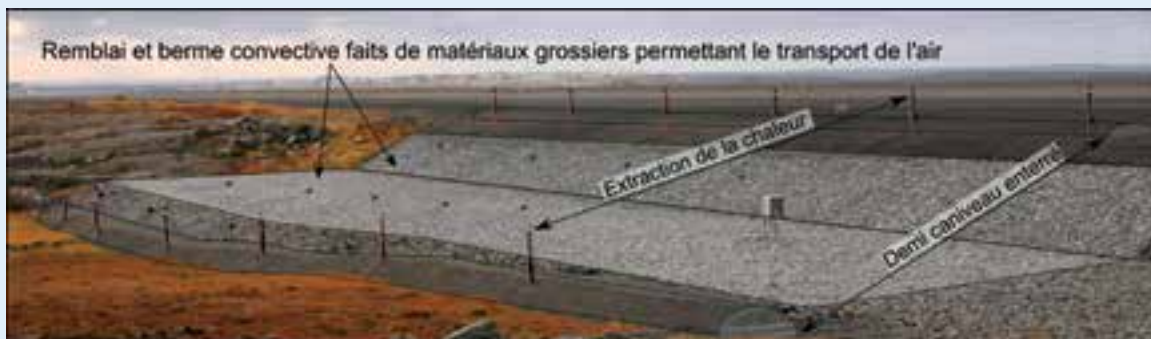
Les cartes des zones constructibles représentent un outil puissant et utile pour les décideurs et gestionnaires qui souhaitent produire des plans d'aménagement urbain réglementés qui vont garantir la qualité et la durabilité des infrastructures nordiques.

6.4.3 Les aéroports et les routes : la gestion des coûts de construction sur un sol instable

Les villages nordiques sont dispersés sur un vaste territoire et le transport des personnes et des biens se fait par mer et par air. Les biens les plus lourds sont transportés dans le Nord par bateaux, mais le transport aérien permet des services à longueur d'année, rapides et selon un horaire souple qui sont essentiels pour les communautés nordiques. Le transport aérien est le principal moyen de déplacement entre les villages nordiques et c'est le lien principal avec les régions du sud. La plupart des aéroports et des routes d'accès ont été construits dans les années 1980 et au début des années 1990, à une époque où le climat était considéré comme étant stable; de fait, il se refroidissait même dans la région subarctique de l'Est du Canada (Wang et Allard, 1995; Allard *et al.*, 1995). Avec le réchauffement des températures de l'air pendant les années 1990 et 2000, les problèmes de dégradation du pergélisol, comme l'instabilité du sol et le tassement dû au dégel, ont commencé à affecter les pistes d'atterrissage et les routes d'accès. Dans les cas graves, des dépressions dans les pistes causées par le tassement dû au dégel ont suscité des problèmes de sécurité. Il a fallu accroître les fréquences d'entretien des pistes, ce qui a augmenté de façon importante les coûts d'exploitation. Des scientifiques et les gouvernements se sont penchés sur la question afin de fournir de l'information géotechnique et des renseignements précis sur les processus affectant les pistes et les routes afin de mettre en place des pratiques d'entretien.

Encadré 2. Étude de cas de la piste de Puvirnituk : un concept technique adapté

Puvirnituk se situe sur le littoral de la baie d'Hudson au Nunavik. La construction de la piste d'atterrissage a été achevée en 1992. En 2008, on a décidé de rallonger la piste afin d'accueillir de plus gros aéronefs, comme le Boeing 737 d'Air Inuit et l'avion-ambulance Challenger du gouvernement du Québec. Sur presque toute sa longueur, le remblai de la bande d'atterrissage repose sur un substrat rocheux, sauf pour une section d'une longueur de 200 m qui traverse un vallon dont le sol est composé d'argile marine riche en glace. Dès 2005, une dépression d'environ 20 cm avait fait son apparition dans la piste, non loin de son côté sud, justement là où la piste croise le vallon (Beaulac et Doré, 2005). Le remblai dans cette section de la piste a une épaisseur de 8 m. Transportée par les vents dominants, la neige s'accumulait dans un gros banc de neige contre le flanc du remblai, ce qui causait le dégel local du pergélisol jusqu'à une profondeur de 8 à 10 m sous le pied du talus, ce qui a provoqué le tassement observé. Une source de chaleur additionnelle provenait de l'eau qui s'écoulait d'un bord à l'autre de la piste d'un petit ruisseau qui percolait dans le talus du côté nord et resurgissait au pied du talus du côté sud, ce qui augmentait donc le dégel local du pergélisol. On a prélevé des échantillons d'argile en creusant et forant jusqu'à une profondeur de 15 m. Des mesures de la température et des levés de sismique-réfraction (MASW: Modal Analyses of Surface Waves) ont servi à déterminer les dimensions de la zone dégelée au pied du remblai. Puisque les travaux de rallonge de la piste donnaient l'occasion de mobiliser un entrepreneur et que des mesures correctives étaient nécessaires pour la sécurité future de la piste, on a mis en place une berme faite sur mesure et un système de refroidissement du sol spécialement conçu pour l'endroit afin de stabiliser les côtés de la piste. La lourde berme agit comme un contrepoids qui renforce l'argile dégelée sous-jacente et l'empêche de se liquéfier et de glisser. Elle est aussi constituée de fragments de roches tamisés d'environ dix centimètres de diamètre et permettant à l'air de circuler dans la berme afin de refroidir le sol sous-jacent en hiver et, espérons-le, favoriser le rétablissement du pergélisol vers la surface. Cette installation est appelée une berme à convection. Les prises d'air au pied et au sommet de la berme de convection facilitent l'effet convectif de la circulation d'air froid à travers les roches pour améliorer le rendement du refroidissement. L'écoulement d'eau qui arrivait par le côté nord de la piste a été dévié plus loin en creusant un nouveau fossé et en installant une nouvelle berme, plus petite, sur ce côté afin d'aider au regel du sol et à sceller le remblai. L'installation finale a été munie de senseurs détectant le mouvement et la température et son efficacité est actuellement à l'étude (Boucher et Grondin, 2010).



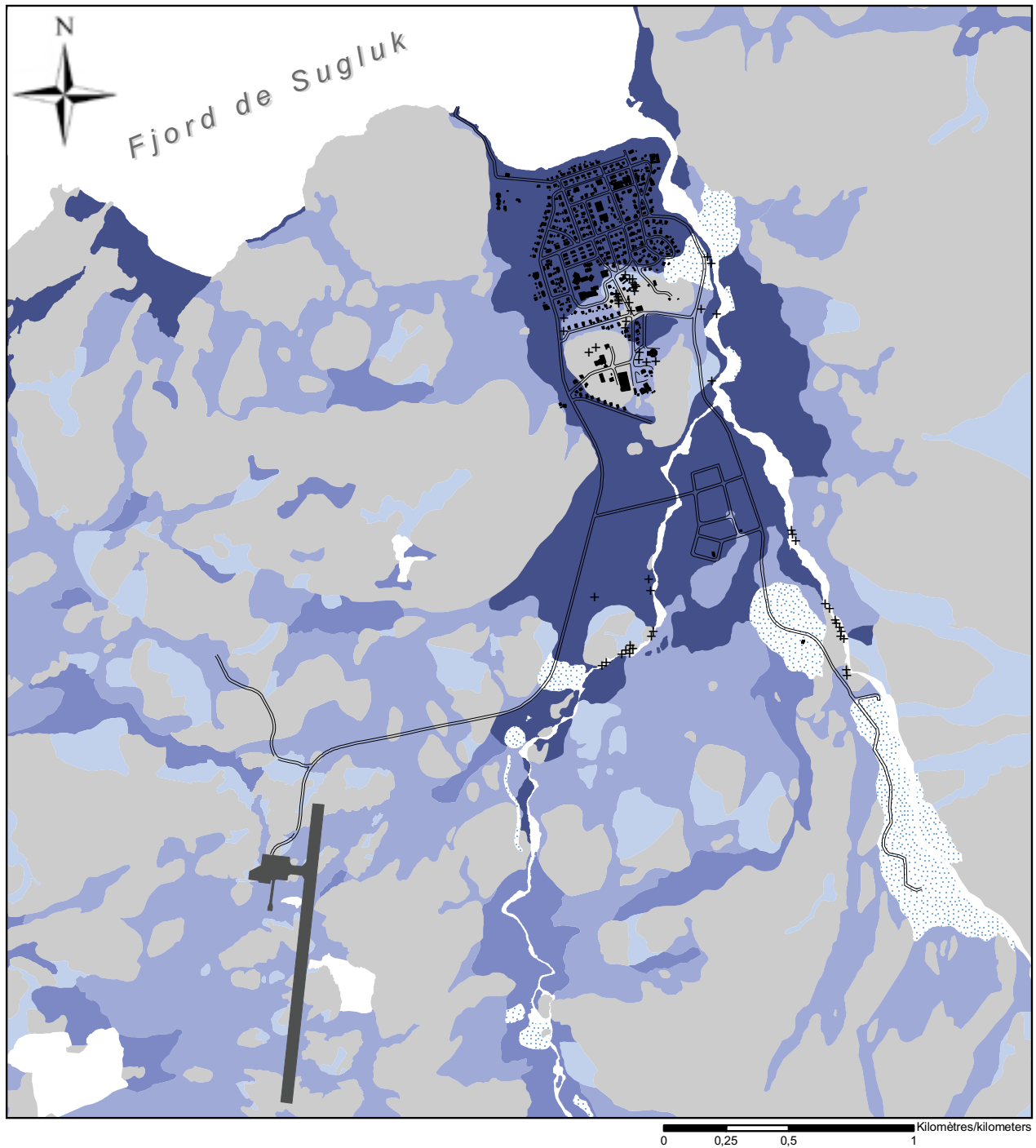


Figure 10. Carte des conditions du pergélisol (teneur en glace) à Salluit selon les caractéristiques géomorphologiques et la variabilité spatiale de la géologie superficielle. Modifié de Allard et L'Hérault, 2010.

Conditions de pergélisol

Substrat rocheux et dépôts superficiels contenant peu ou pas de glace

+ Affleurements rocheux isolés

1a

Substrat rocheux massif d'âge précambrien avec un couvert très mince et clairsemé et discontinu de sable, de gravier et de blocs rocheux (till). La profondeur de la couche active dans ce terrain varie de 2,5 à 3,5 m.

1b

Dépôts de gravier et de sable stratifiés. Présence de glace interstitielle et occasionnellement de pellicules de glace dans les couches de limon et de sable fin.

Pergélisol riche en glace dans des dépôts superficiels

2a

Mince couvert de sable de gravier et de blocs rocheux sur un substrat rocheux. L'épaisseur des dépôts est généralement inférieure à 2 m. La topographie est contrôlée par le substrat rocheux. Affleurements rocheux dispersés. La profondeur de la couche active dans ce terrain varie de 1,5 à 2,5 m. Le tassement dû au dégel du pergélisol se limite à la couverture superficielle. La teneur volumétrique de glace dans les sédiments de surface varie de 15 à 70 %.

2b

Couvert épais de sable, de gravier et de blocs rocheux (till) sur un substrat rocheux. L'épaisseur des dépôts est généralement supérieure à 2 m avec des affleurements rocheux occasionnels. La profondeur maximale estimée du substrat rocheux est d'environ 8 m. Les ventres de bœuf sont présents et il y a présence de lobes de gélifluxion sur les pentes. Pergélisol sujet au tassement dû au dégel. La profondeur de la couche active dans ce terrain varie de 1,5 à 2,5 m. La teneur volumétrique de glace varie de 15 à 70 %.

2c

Couvert épais de sédiments du Quaternaire, peu drainé et recouvert de tourbe. L'épaisseur des dépôts est supérieure à 2 m et peut atteindre 6 m. Les dépôts sont riches en glace et il y a présence d'un réseau polygonal de coins de glace. La profondeur de la couche active varie de 50 cm à 2,5 cm.

2d

Sédiments à grains fins d'origine marine. Occasionnellement couverts par une mince couche de sable ou de gravier. Pergélisol sujet au tassement dû au dégel et aux ruptures par détachement de la couche active sur les pentes. La surface est souvent criblée de ventres de bœuf. L'épaisseur de la couche active dans ce terrain varie de 50 cm à 1,2 m. La teneur volumétrique de glace dans le pergélisol est constamment supérieure à 30 % et peut être aussi élevée que près de 100 %.

Infrastructures

— Courbes de niveau aux 5 m

— Routes

■ Bâtiments

■ Piste d'atterrissage

□ Plans d'eau

Projection: MTM NAD 83 zone 9
Mise à jour/Updates: Allard M. et L'Hérault E. (Avril/April 2010)

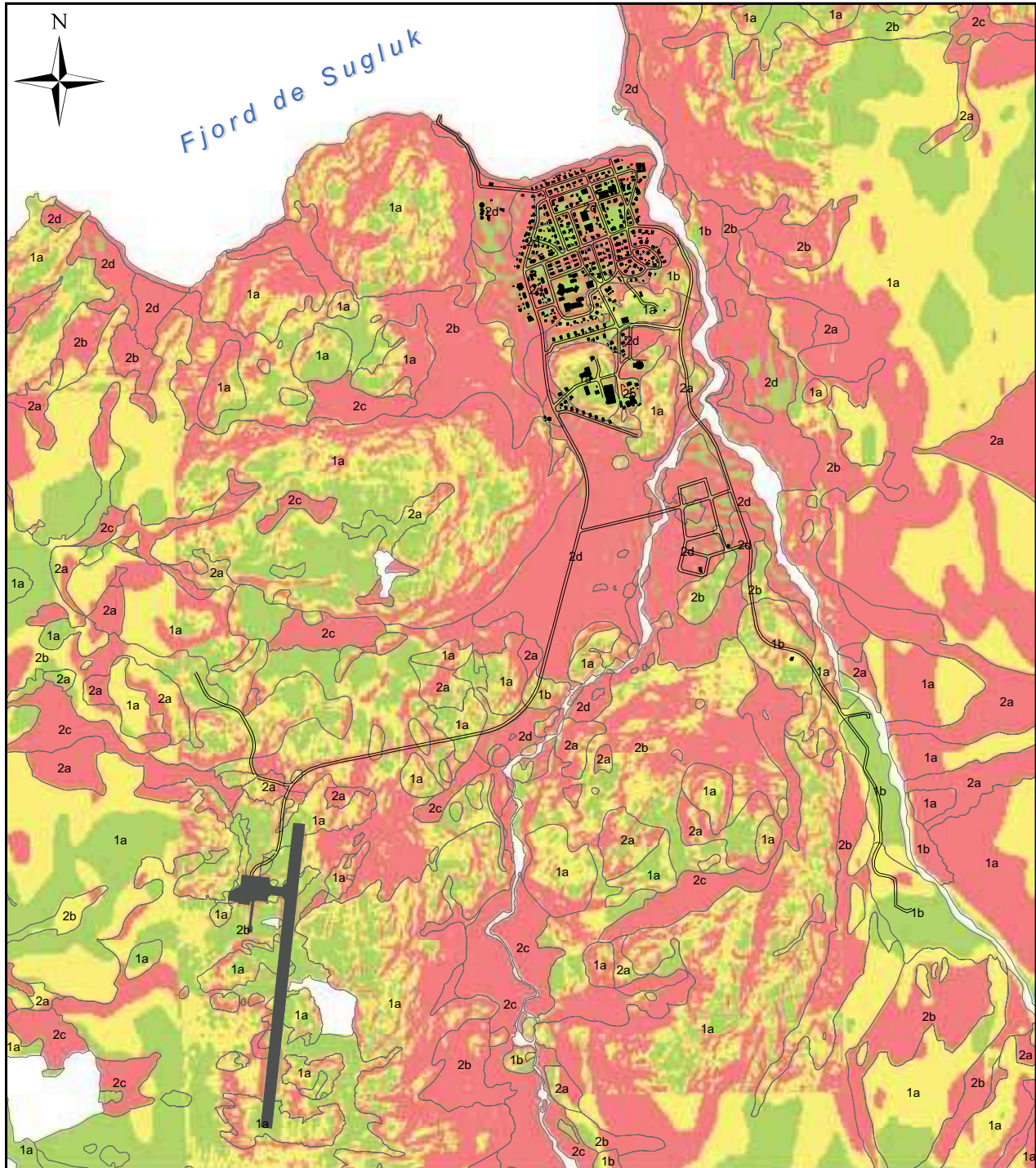


















Figure 11. Carte de gestion des risques aux fins de développement de constructions futures à Salluit. Dérivé de Allard et L'Hérault, 2010.

Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes

Substrat rocheux et dépôts superficiels contenant peu ou pas de glace

- 1a** - Substrat rocheux massif d'âge précambrien avec un couvert très mince et clairsemé et discontinu de sable, de gravier et de blocs rocheux (till). La profondeur de la couche active dans ce terrain varie de 2,5 à 3,5 m
- Fondations nordiques de tous types. Des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.
-  Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).
 -  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).
 -  Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
-
- 1b** - Dépôts de sable et gravier stratifiés. Présence de glace interstitielle et occasionnellement de pellicules de glace dans les couches de limon et de sable fin.
- Fondations nordiques sur radier et chevalets ajustables ou pieux. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier pourraient requérir des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons).
-  Terrains aménageables pour la construction (pente < 5°).
 -  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 5 et 10°).
 -  Terrains défavorables à la construction (pente > 10°).

Pergélisol riche en glace dans des dépôts superficiels

- 2a** - Mince couvert de sable de gravier et de blocs rocheux sur un substrat rocheux. L'épaisseur des dépôts est généralement inférieure à 2 m. La topographie est contrôlée par le substrat rocheux. Affleurements rocheux dispersés. La profondeur de la couche active dans ce terrain varie de 1,5 à 2,5 m. Le tassement dû au dégel du pergélisol se limite à la couverture superficielle. La teneur volumétrique de glace dans les sédiments de surface varie de 15 à 70 %.
- Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés et consolidation).
-  Terrains aménageables pour la construction (pente < 4°).
 -  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4 et 8°).
 -  Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
-
- 2b** - Couvert épais de sable, de gravier et de blocs rocheux (till) sur un substrat rocheux. L'épaisseur des dépôts est généralement supérieure à 2 m avec des affleurements rocheux occasionnels. La profondeur maximale estimée du substrat rocheux est d'environ 8 m. Les ventres de bœuf sont présents et il y a présence de lobes de gélifluxion sur les pentes. Pergélisol sujet au tassement dû au dégel. La profondeur de la couche active dans ce terrain varie de 1,5 à 2,5 m. La teneur volumétrique de glace varie de 15 à 70 %.
- Fondations sur pieux possibles, mais requérant des forages plus profonds pour l'installation. Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons). Certaines sections peuvent être affectées par la gélifluxion et les fondations devront en tenir compte.
-  Terrains aménageables pour la construction (pente < 4°).
 -  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4 et 8°).
 -  Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
-
- 2c** - Couvert épais de sédiments du Quaternaire, peu drainé et recouvert de tourbe. L'épaisseur des dépôts est supérieure à 2 m et peut atteindre 6 m. Les dépôts sont riches en glace et il y a présence d'un réseau polygonal de coins de glace. La profondeur de la couche active varie de 50 cm à 2,5 cm.
- Terrain problématique à éviter.
-  Terrains problématiques défavorables à la construction.
-
- 2d** - Sédiments à grains fins d'origine marine. Occasionnellement couverts par une mince couche de sable ou de gravier. Pergélisol sujet au tassement dû au dégel et aux ruptures par détachement de la couche active sur les pentes. La surface est souvent criblée de ventres de bœuf. L'épaisseur de la couche active dans ce terrain varie de 50 cm à 1,2 m. La teneur volumétrique de glace dans le pergélisol est constamment supérieure à 30 % et peut être aussi élevée que près de 100 %.
- Fondations sur radiers et chevalets ajustables. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol (ex. : thermosyphons).
-  Terrains aménageables pour la construction (pente < 1°).
 -  Terrains aménageables pour la construction (pente entre 1 et 2°).
 -  Terrains défavorables à la construction (pente > 2°).

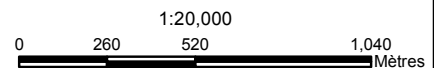
Infrastructures

 Routes

 Bâtiments

 Aéroport

 Plans d'eau



Projection: MTM NAD 1983 zone 9

Avec le trafic aérien accru et les plus gros avions que les transporteurs aériens veulent maintenant utiliser, on a besoin de pistes plus longues et de plus grandes aires de stationnement. De meilleures connaissances du pergélisol sont nécessaires pour les projets d'expansion des aéroports et ceux-ci devront inclure des prédictions des impacts du réchauffement climatique. Le ministère des Transports du Québec a dirigé un programme de recherche qui a récemment pris fin et qui appliquait une méthode similaire à celle utilisée pour les villages; il visait à fournir des stratégies d'adaptation pour huit aéroports (Inukjuak, Puvirnituq (voir encadré 2), Akulivik, Salluit, Quaqaq, Kangirsuk et Tasiujaq) jugés plus vulnérables à cause des conditions précises du pergélisol (L'Hérault *et al.*, 2012). Un projet similaire est soutenu par Transports Canada pour la piste pavée de Kuujuaq, qui est la plaque tournante de la région.

Malgré les avancées sur les plans techniques, d'ingénierie et de gestion, davantage de recherches sont requises pour mieux évaluer l'amplitude et le taux de tassement dû au dégel, de même que les effets possibles de l'humidité accrue du sol et des eaux d'infiltration au fur et à mesure que la couche active s'approfondit. Cela aidera à planifier des stratégies à plus long terme pour les aéroports construits sur des zones de pergélisol vulnérable.

6.5 Conclusions

La dégradation du pergélisol affecte de façon importante le milieu naturel. Le paysage change avec le thermokarst qui se produit principalement dans la zone de pergélisol discontinu et avec l'épaississement de la couche active et les mouvements de masse dans la zone de pergélisol continu. Les résidents du Nord en ressentent les effets, car la végétation, les plans d'eau et le drainage du sol changent, ce qui se répercute sur les ressources qui étaient traditionnellement disponibles aux humains, comme les petits fruits qui se trouvent ombragés par le couvert d'arbustes s'étendant dans les dépressions

thermokarstiques (voir le chapitre 4). Ces changements à grande échelle de l'écosystème doivent aussi affecter les populations animales, comme les habitudes alimentaires et migratoires du caribou (voir le chapitre 9). La libération de sédiments et de carbone à partir du pergélisol qui dégèle a le potentiel d'affecter la qualité de l'eau et donc d'affecter les populations de poissons et les sources d'eau pour la consommation humaine. L'environnement bâti moderne est particulièrement affecté. On étudie les infrastructures de transports et on conçoit et met à l'essai des solutions d'adaptation. Pour protéger et optimiser les investissements publics en matière de logements et d'infrastructures, la planification urbaine des villages a désormais besoin de meilleures cartes des conditions du pergélisol et de meilleures prédictions du comportement du pergélisol.

La collecte et l'organisation des données géoscientifiques et des données sur le pergélisol dans des systèmes d'information géographique (SIG) permet l'intégration des connaissances essentielles et fournit un outil très utile pour établir des diagnostics de situation, pour partager l'information avec les intervenants et les communautés et pour appuyer la prise de décision multidisciplinaire pour l'aménagement du territoire. On utilise maintenant de nouvelles technologies comme l'imagerie de haute précision qui fournissent des modèles d'élévation de terrain plus détaillés et précis. Une autre technologie à venir est celle de l'analyse interférométrique des données radar acquises par satellite qui rend possible la surveillance des changements topographiques subtils au fil des ans et par conséquent la détection des changements liés au pergélisol dans les milieux naturels et bâtis (Liu *et al.*, 2010).

Les champs d'intérêt pour la recherche appliquée incluent l'amélioration de la compréhension des processus du pergélisol et du système climatique et la production d'évaluations des risques d'après des prédictions climatiques. Des avancées spécifiques seront de plus en plus nécessaires dans la gestion du drainage de surface et de l'écoulement des eaux souterraines autour des lacs



thermokarstiques et sous les infrastructures construites par l'homme, puisque le rôle du transfert de chaleur par convection semble jouer un rôle majeur dans le dégel du pergélisol. Ce processus qui demeure mal quantifié se produit à la grandeur du territoire. En effet, la dégradation finale du pergélisol autour de 0 °C semble être en grande partie sous l'influence de la teneur en eau non gelée et de la chaleur amenée par l'écoulement des eaux souterraines. La principale mesure d'adaptation réside dans le choix de types de fondation en fonction des conditions de pergélisol répertoriées sur des cartes, afin d'assurer une durée utile prolongée des édifices. À cet égard, Salluit semble maintenant le premier cas important où de difficiles conditions topographiques et de pergélisol ont mené à la création d'un modèle duquel on tire des leçons qui sont maintenant mises en œuvre dans d'autres communautés nordiques.

6.6 Références

- ACIA (Arctic Climate Impact Assessment). 2005. Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1042 pp.
- Akerman, H. J., et Johansson, M. 2008. Thawing permafrost and thicker active layers in sub-arctic Sweden. *Permafrost and Periglacial Processes*, 19:279-292.
- Allard, M., et Seguin, M. K. 1987. Le pergélisol au Québec nordique : bilan et perspectives. *Géographie physique et quaternaire*, 41:141-152.
- Allard, M., Wang, B. L., et Pilon, J. A. 1995. Recent Cooling Along the Southern Shore of Hudson Strait, Quebec, Canada, Documented from Permafrost Temperature-Measurements. *Arctic and Alpine Research*, 27:157-166.

- Allard, M. 1996. Geomorphological changes and permafrost dynamics: key factors in changing Arctic ecosystems. An example from Bylot Island, Nunavut, Canada. *Geoscience Canada*, 23:205-212.
- Allard, M., Fortier, R., Gagnon, O., et Michaud, Y. 2004. Rapport final. Rapport final, Centre d'études nordiques, Québec, 93 pp.
- Allard, M., Fortier, R., Sarrazin, D., Calmels, F., Fortier, D., Chaumond, D., Savard, J.-P., et Tarussov, A. 2007. L'impact du réchauffement climatique sur les aéroports du Nunavik: caractéristique du pergélisol et caractérisation des processus de dégradation des pistes, Centre d'études Nordiques, Québec, 184 pp.
- Allard, M., Gibéryen, T., L'Hérault, E., et Sarrazin, D. 2009. L'impact des changements climatologiques sur la problématique de la fonte du pergélisol au village de Salluit, Nunavik, Rapport d'étape au MAMROT, 41 pp.
- Allard, M., et L'Hérault, E. 2010. L'impact des changements climatiques sur la problématique de la fonte du pergélisol au village de Salluit. Rapport d'étape : Cartographie du potentiel de construction de la vallée de Salluit selon les conditions de pergélisol et les pentes. Centre d'études Nordiques, rapport au MAMROT, 25 pp.
- Allard, M., L'Hérault, ibéryen, T. et Barrette, C. 2010. L'impact des changements climatiques sur la problématique de la fonte du pergélisol au village de Salluit, Nunavik. Rapport final: S'adapter et croître. Centre d'études nordiques, rapport au MAMROT, 53 pp.
- Andersland, O. B., et Ladanyi, B. 2004. Frozen ground engineering. Wiley ; American Society of Civil Engineers, Hoboken, N.J, 362 pp.
- Barrette, C. 2010. Simulation numérique et projections des variations de l'épaisseur de la couche active du pergélisol à Salluit jusqu'en 2025. M.Sc. Thesis, Université Laval, Québec City, Québec, 109 pp.
- Beaulac, I., et Doré, G. 2005. Bilan de la condition des pistes et des chemins d'accès menant aux aéroports du Nunavik, Université Laval, Département de génie civil, Québec City, Québec.
- Boucher, M., et Grondin, G. 2010. Auscultation et investigations du pergélisol sous les infrastructures du ministère des Transports du Québec au Nunavik : vers une stratégie d'adaptation, Proceeding 6th Canadien Permafrost Conference and 63rd Canadien Geotechnical Conference, Calgary, october, p. 500-508.
- Brown R. J. E. 1970. Permafrost in Canada: its influence on Northern development. University of Toronto Press, Toronto, 234 pp.
- Burn, C. M. 1988. Observation of the thermal offset in near-surface mean annual ground temperatures at several sites near Mayo, Yukon Territory, Canada. *Arctic*, 41:99-104.
- Calmels, F., et Allard, M. 2004. Ice Segregation and Gas Distribution in Permafrost using Tomodensitometry Analysis. *Permafrost and Periglacial Processes*, 15:367-378.
- Calmels, F., Gagnon, O. et Allard, M. 2005. A portable earth-drill system for permafrost studies. *Permafrost and Periglacial Processes*, 16:311-315.
- Calmels, F., Allard, M., et Delisle G. 2008. Development and decay of a lithalsa (Northern Québec): A geomorphological history. *Geomorphology*, 97: 287-299.
- Chouinard, C., Fortier, R., et Mareschal, J.C. 2007. Recent climate variations in the subarctic inferred from three borehole temperature profiles in northern Quebec, Canada. *Earth and Planetary Science Letters*, 263: 355-369.
- Davis, T. N. 2001. Permafrost: a guide to frozen ground in transition. University of Alaska Press, Fairbanks, Alaska, 351 pp.
- Forbes, D. L., Mate, D., Bourgeois, J., Bell, T., Budkewitsch, P., Chen, W., Gearheard, S., Illauq, N., et Smith, I. R. 2007. Integrated mapping and change detection for adaptation planning in an Arctic coastal community, Clyde River, Nunavut. *Proceedings, Arctic Coastal Zones at Risk, Tromsø, Norway. LOICZ*: 42-47.

Ford, J. D., Bell, T., et St. Hilaire-Gravel, D. 2010. Vulnerability of community infrastructure to climate change in Nunavut: A case study from Arctic Bay. In CAVIAR – Community Adaptation and Vulnerability in Arctic Regions. (Eds) Hovelsrud, G. K., and Smit B., Springer, p. 107-130.

Fortier, D., Allard, M., et Shur, Y. 2007. Observation of rapid drainage system development by thermal erosion of ice wedges on Bylot Island, Canadian Arctic Archipelago. *Permafrost and Periglacial Processes*, 18:229-243.

Fortier, R., LeBlanc, A. M., et Yu, W. B. 2011. Impacts of permafrost degradation on a road embankment at Umiujaq in Nunavik (Quebec), Canada. *Canadian Geotechnical Journal*, 48:720-740.

French, H. M. 2007. *The periglacial environment*. John Wiley and sons, Chichester, England; Hoboken, NJ, 458 pp.

de Grandpré, I., Fortier, D., et Stefani, E. 2010. Impact of groundwater flow on permafrost degradation: implication for transportation infrastructures, *Proceedings 6th Canadian Permafrost Conference and 63rd Canadian Geotechnical Conference*, Calgary, October, p. 534-540.

Harris, S. A. 1988. *La Terminologie du pergélisol et notions connexes*. Conseil national de recherches Canada, Ottawa, 154 pp.

IPCC. 2007. *Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policy makers*. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), available online: <http://www.ipcc.ch/SPM6avr07.pdf>

Irvine, M. L., Bell, T., Smith, I. R., et Forbes, D. L. 2009. Building on unstable ground: Identifying physical landscape constraints on infrastructure sustainability and planning in Nunavut communities. *Annual Science Meeting, ArcticNet NCE*, Victoria, 08-11 December.

Kasper, J. N., et Allard, M. 2001. Late-Holocene climatic changes as detected by the growth and decay of ice wedges on the southern shore of Hudson Strait, northern Québec, Canada. *The Holocene*, 11:563-577.



Larouche, M.-E. 2010. Interaction entre la dégradation accélérée du pergélisol discontinu et l'organisation du réseau de drainage, Québec Subarctique. M.Sc. Thesis, Université Laval, Québec, 110 p.

Lévesque, R., Allard, M., Seguin, M. K., et Pilon, J. 1990. Données préliminaires sur le régime thermique du pergélisol dans quelques localités du Nunavik, Québec. *Permafrost-Canada, Proceedings of the Fifth Canadian Permafrost Conference*, Conseil national de recherches du Canada-Centre d'études nordiques de l'Université Laval, *Nordicana* no 54, p. 207-213.

- L'Hérault, E. 2009. Contexte climatique critique favorable au déclenchement de ruptures de mollisol dans la vallée de Salluit, Nunavik. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, Québec, 140 pp.
- L'Hérault E., Allard, M., Barrette, C., Doré, G. et Sarrazin, D. 2012. Investigations géotechniques, caractérisation du pergélisol et stratégie d'adaptation pour les aéroports du MTQ au Nunavik. Rapport final. Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec. Québec, Centre d'études nordiques, Université Laval. 252 pp.
- Lewkowicz A. G., et Harris C. 2005a. Frequency and magnitude of active-layer detachment failures in discontinuous and continuous permafrost, northern Canada. *Permafrost and Periglacial Processes*, 16:115-130.
- Lewkowicz A. G., et Harris C. 2005b. Morphology and geotechnique of active-layer detachment failures in discontinuous and continuous permafrost, northern Canada. *Geomorphology*, 69:275-297.
- Liu, L., Zhang, T., et Wahr, J. 2010. InSAR measurements of deformation over permafrost on the North Slope of Alaska. *Journal of Geophysical Research*, 115:F03023, 14 p.
- Mackay, J. R., et Mackay, D. K. 1974. Snow cover and ground temperatures, Garry-Island, Nwt. Arctic, 27(4) 287-296.
- Marchildon, C. 2007. Évolution spatio-temporelle des palses et des lithales de la région des rivières Sheldrake et Nastapoka, côte est de la Baie d'Hudson, Nunavik. Msc thesis, Université Laval, Québec, 101 p.
- McKenzie, J. M., Voss, C. I., et Siegle, I. 2007. Groundwater flow with energy transport and water-ice phase change: Numerical simulations, benchmarks and application to freezing in peat bogs. *Advances in Water Resources*, 30:966-983.
- McNamara, J. P., Kane, D. L., et Hinzman, L. D. 1999. An analysis of an Arctic channel network using a digital elevation model. *Geomorphology*, 29:339-353.
- Nelson, F. E., Anisimov, O. A., et Shiklomanov, N. I. 2002. Climate change and hazard zonation in the circum-Arctic permafrost regions. *Natural Hazards*, 26:203-225.
- Osterkamp T.E. 2003. Establishing long-term permafrost observatories for active-layer and permafrost investigations in Alaska: 1977-2002. *Permafrost and Periglacial Processes*, 14:331-342.
- Osterkamp T. E. 2005. The recent warming of permafrost in Alaska. *Global and Planetary Change*, 49:187-202.
- Osterkamp, T. E., et Romanovsky, V. E. 1999. Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska. *Permafrost and Periglacial Processes*, 10:17-37.
- Pissart, A. 1987. Géomorphologie périglaciaire: textes des leçons de la Chaire Francqui belge. Université de Liège, Laboratoire de géomorphologie et de géologie du quaternaire, Liège, 135 pp.
- Smith, S. L., et Risborough, D. W. 2010. Modeling the thermal response of permafrost terrain to right-way disturbance and climate warming. *Cold Region Science and Technology*, 60:92-103.
- Smith, S. L., Burgess, M. M., Riseborough, D., et Nixon, F. M. 2005. Recent trends from Canadian Permafrost Thermal Monitoring Network Sites. *Permafrost and Periglacial Processes*, 16:19-30.
- Smith, S. L., Romanovsky, V. E., Lewkowicz, A. G., Burn, C. R., Allard, M., Clow, G. D., Yoshikawa, K., et Throop, J. 2010. Thermal state of permafrost in North America: a contribution to the international polar year. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21:117-135.
- Sushama, L., Laprise, R., Verseguy, D., et Allard, M. 2007. An RCM projection of soil thermal and moisture regimes for North American permafrost zones. *Geophysical Research Letters*, 34:L20711, DOI: 10.1029/2007GL031385.
- Shur, Y. L., et Jorgenson, M. T. 2007. Patterns of permafrost formation and degradation in relation to climate and ecosystems. *Permafrost and Periglacial Processes*, 18:7-19.

Thibault, S., et Payette, S. 2009. Recent Permafrost Degradation in Bogs of the James Bay Area, Northern Quebec, Canada. *Permafrost and Periglacial Processes*, 20:383-389.

Vallée, S., et Payette, S. 2007, Collapse of permafrost mounds along a subarctic river over the last 100 years (northern Québec), *Geomorphology* 90:162-170

Wang, B., et Allard, M. 1995. Recent climatic trend and thermal response of permafrost in Salluit, Northern Quebec, Canada. *Permafrost and Periglacial Processes*, 6:221-233.

Washburn, A. L. 1979. *Geocryology : a survey of periglacial processes and environments*. E. Arnold, London, 406 pp.

Williams, P. J., et Smith, M. W. 1989. *The frozen earth: fundamentals of geocryology*. Cambridge University Press, Cambridge, 306 pp.

Zhang, Y., Chen, W. J., et Riseborough, D. W. 2008. Transient projections of permafrost distribution in Canada during the 21st century under scenarios of climate change. *Global and Planetary Change*, 60:443-456.



Chapitre 7. L'omble chevalier dans un climat en changement : prédire les répercussions possibles des changements climatiques sur une espèce nordique de valeur

Auteurs principaux

Michael Power¹, Brian J. Dempson², Bill Doidge³, Wendy Michaud¹, Louise Chavarie¹, James D. Reist⁴, François Martin³ et Adam E. Lewis³

¹Département de biologie, Université de Waterloo, Waterloo (Ontario); ²Pêches et Océans Canada, Direction de sciences, ³Centre de recherche du Nunavik, Société Makivik, Kuujjuaq, Nunavik; ⁴Pêches et Océans Canada, Région Centre et Arctique, Winnipeg (Manitoba)

Résumé

L'omble chevalier est considéré comme une espèce de poisson généraliste, car il est présent dans une vaste gamme d'habitats dans toute la région subarctique de l'Est du Canada où il adopte diverses stratégies biologiques, p. ex., les populations lacustres et les populations anadromes. On estime l'espèce vulnérable aux répercussions prévues des changements climatiques étant donné sa préférence pour les eaux froides. À cause des différences écologiques entre populations, il importe au moment d'estimer les conséquences potentielles des changements climatiques sur l'omble chevalier de faire des distinctions entre les populations anadromes et celles qui résident en eau douce. Les quelques études environnementales sur l'espèce au Canada montrent les nettes influences de l'environnement sur les populations d'omble chevalier, la température et les précipitations ayant notamment la plus grande importance à cause des effets respectifs sur le métabolisme des poissons et les occasions d'acquérir un surplus énergétique pour leur croissance. Les études ont montré que la taille et le taux de croissance des ombles lacustres varient le long de gradients latitudinaux, principalement à cause des variations de température de l'eau des lacs suscitées par l'environnement. Les ombles anadromes (qui migrent vers la mer) ne montrent pas la même variation prononcée en taille ou croissance le long d'un gradient latitudinal, à cause des influences modératrices des températures de la mer. Cependant, des études sur les individus qui migrent vers la mer indiquent que l'espèce est directement touchée par les variations interannuelles des températures marines locales et que les différences dans les tendances de croissance pourraient être liées aux modifications de l'écosystème, comme les changements dans les régimes thermiques marins associés aux changements climatiques. De la même façon, bien que moins prononcés, des effets ont été observés en ce qui concerne les changements dans la fécondité des résidents lacustres et anadromes le long du même gradient latitudinal. Dans un milieu lacustre qui se réchauffe, l'omble chevalier est l'espèce qui sera vraisemblablement la plus affectée par les augmentations de température pendant l'été, ces effets étant les plus prononcés à la limite sud de son aire de distribution, là où le réchauffement sera le plus important et où sera plus intense la compétition avec les autres espèces de salmonidés s'adaptant mieux aux températures plus chaudes. L'augmentation des températures va faciliter l'expansion de l'aire de distribution d'espèces de poissons potentiellement compétitrices et dans bon nombre de lacs ces espèces pourraient forcer l'omble chevalier à se retirer dans les zones plus profondes. D'autre part, l'omble chevalier anadrome pourrait réduire sa période de résidence en mer. Le faible taux d'anadromie dans le sud de la région semble indiquer que les migrations marines pourraient être grandement réduites voire éliminées avec l'augmentation des températures. De tels changements auront des conséquences importantes pour les Inuits qui dépendent de l'omble chevalier comme source majeure de protéines alimentaires. Jusqu'à un certain point, de telles répercussions peuvent être atténuées par une gestion environnementale proactive, comme l'ont démontré les introductions de populations et l'aménagement des cours d'eau effectué par les Inuits. Néanmoins, un des grands enjeux auxquels sont confrontés les gestionnaires des ressources est la collecte de données et la documentation des impacts de la récolte sur l'omble chevalier. Étant donné le peu d'études qui existent sur les récoltes, il est actuellement difficile de concevoir et de mettre en œuvre des stratégies de gestion adaptative visant à assurer la durabilité de la pêche de l'omble chevalier dans le contexte des changements climatiques et des autres répercussions des développements humains. Les importantes lacunes de connaissance en matière de biologie (p. ex., les variations de l'âge à maturité) et de dynamiques de populations (p. ex., les taux de mortalité) nous empêchent de bien prédire les répercussions des changements climatiques sur l'omble chevalier et cela nous indique qu'il sera très utile de recueillir des ensembles de données à long terme sur cette espèce.

7.1 Introduction : considérations d'ordre général sur les répercussions possibles des changements climatiques

D'après des études effectuées dans le sud, les préoccupations relatives aux changements climatiques (p. ex., Brown *et al.*, 2011; chapitre 2 du présent rapport) et aux poissons incluent : 1) les réductions significatives de la durée et de l'étendue du couvert de glace; 2) la disparition plus hâtive de l'isotherme de 4 °C; 3) des diminutions mesurables de l'oxygène dissous et une léger manque d'oxygène hypolimnique dans les bassins peu profonds (Blumberg et Di Toro 1990; Schertzer et Sawchuk, 1990); 4) une perte des habitats thermiques favorables associée au réchauffement des lacs et qui aura des effets différents sur les espèces de poissons au sein des populations lacustres (Magnuson *et al.*, 1990).

Bien que bon nombre de ces mêmes préoccupations existent pour les espèces de poissons nordiques (p. ex., Reist *et al.*, 2006a), on s'est relativement moins attardé à comprendre les effets possibles des changements climatiques sur les populations de poissons de la région subarctique du Canada. En ce qui concerne les populations de poissons d'eau douce dans le Nord, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a conclu que les populations de poissons et leurs habitats dans les ruisseaux et rivières situés aux limites des aires de distribution géographique (p. ex., les espèces arctiques et subarctiques) seraient parmi les premiers à subir les effets des changements climatiques. Des rapports subséquents, dont l'*Évaluation de l'impact du changement climatique dans l'Arctique* (EICCA, 2005), les plus récents rapports du GIEC (GIEC, 2000, 2007) et les projections présentées au chapitre 2 du présent rapport (Brown *et al.*, 2011) ont validé et élargi ces prédictions. L'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) est l'une des espèces de poissons les plus importantes dans le nord du Québec et du Labrador et elle sera vraisemblablement affectée par les changements climatiques alors que de nombreuses communautés de la région dépendent de cet important aliment traditionnel.

Selon les prédictions modélisées des changements climatiques dans le Nord du Canada, le réchauffement y sera plus important que dans le reste du continent. On s'attend à ce que les augmentations de température à l'intérieur des terres soient supérieures à celles au-dessus des océans (GIEC, 2007). Les impacts physiologiques sur les poissons devraient donc être plus importants en eau douce (Jonsson et Jonsson, 2009). Même si l'on prévoit des diminutions de l'épaisseur de glace, on s'attend à ce qu'elles soient peu importantes. Dépendant du changement dans l'hydrographie du ruissellement printanier, les débâcles printanières pourraient devenir relativement bénignes (Beltaos et Prowse, 2000). Toutefois, ces modifications dans l'apparition et l'amplitude des changements saisonniers auront invariablement un effet sur les écosystèmes aquatiques, affectant ainsi les modèles existants de phénologie des cycles biologiques, notamment le moment de la migration, la fraie, l'éclosion et l'émergence. Par conséquent, les méthodes d'étude des effets du réchauffement climatique sur les poissons doivent tenir compte de la façon dont la combinaison des facteurs physiques qui favorisent ou non un habitat (p. ex., les flux de température) va aussi affecter la myriade de comportements des poissons. Ces comportements ont évolué pour assurer l'occupation de niches spécifiques et ont donné lieu à des adaptations locales qui sans aucun doute jouent un rôle dans la maximisation de la capacité de reproduction de l'espèce dans les rudes milieux nordiques.

La température a une influence importante sur les poissons. Par exemple, la température définit les limites létales des poissons, elle contrôle leur taux de croissance et d'autres processus physiologiques, elle détermine les limites de leur métabolisme respiratoire et elle influence la sélection d'habitats. Les poissons ont peu ou pas de contrôle sur leur température corporelle; celle-ci est donc liée à la température du milieu environnant. Les poissons qui subissent des changements de température peuvent soit se déplacer, soit demeurer où ils sont et s'adapter. Lorsque les changements de température surviennent pendant une période significativement plus courte que la durée de vie de l'organisme, un individu pourra réagir en modifiant son choix d'habitat ou en variant ses réponses physiologiques (Clarke,

1996). Lorsque les changements de température surviennent sur une période plus longue que la durée de vie d'un poisson, l'individu pourra modifier son aire de distribution, s'ajuster au milieu en évolution par une certaine forme d'adaptation évolutive ou s'éteindre (Clarke, 1996).

Constatant les lacunes dans nos connaissances de la biologie thermique de bon nombre d'espèces de poissons nordiques, nous avons examiné les effets possibles des changements climatiques dans le nord du Québec et du Labrador sur le poisson en général, en portant une attention particulière à l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*), une des espèces les plus valorisées. L'omble chevalier est le point central de la discussion vu son importance pour les Inuits en tant que ressource récoltable et renouvelable. Les ressources alimentaires obtenues de l'omble chevalier peuvent être substantielles et elles sont extrêmement importantes puisqu'elles répondent aux besoins nutritionnels des Inuits et font partie intégrante du tissu social et économique des villages nordiques. Les Inuits ont d'ailleurs identifié l'omble chevalier comme une espèce dont il faut se préoccuper. La majorité des recherches d'ArcticNet sur l'omble chevalier ont été effectuées en collaboration avec des organismes inuits dans le but d'améliorer l'information disponible concernant l'espèce et ses réactions probables aux changements climatiques. Dans le présent chapitre, nous passons en revue les publications scientifiques sur l'omble chevalier et les connaissances que nous avons sur l'influence de la température sur ses stratégies biologiques dans le but de déduire quelles seront ses réactions possibles aux changements climatiques. Nous avons utilisé les données de surveillance à long terme de Nain, au Labrador, pour examiner les réactions possibles aux changements climatiques qui sont spécifiques aux stocks de poissons et nous concluons le chapitre en commentant les méthodes de gestion de l'omble chevalier utilisées dans la région et comment il faudra peut-être adapter les pratiques actuelles dans le contexte du climat en transformation. Le but est d'informer les décideurs des préoccupations relatives à l'omble chevalier dans un milieu en changement, d'identifier les principaux facteurs de changements environnementaux et de suggérer certaines options politiques.

7.2 L'omble chevalier et les répercussions des changements climatiques : prédictions et lacunes de connaissances

7.2.1 L'omble chevalier – espèce généraliste

L'omble chevalier est une espèce généraliste en matière d'habitat et on peut la trouver aux moments opportuns dans tous les habitats aquatiques qui lui conviennent (lacs, ruisseaux, rivières et mer). Bien qu'il y ait des stocks dans les rivières et les lacs et des stocks où des individus migrent entre les deux habitats, ce sont les populations lacustres qui dominent dans la majeure partie du territoire, mais tout particulièrement dans le nord du Québec. Par conséquent, ce sont ces populations lacustres qui ont fait l'objet de plus d'études et qui sont les mieux connues. Les recherches effectuées sur les populations d'omble chevalier dans l'ensemble de leur aire de distribution ont surtout porté sur la description des caractéristiques des populations, sur la documentation des différences de cycle biologique et sur l'étude de la variabilité génétique entre les populations et au sein de mêmes populations (p. ex., Johnson, 1976; Hindar et Jonsson, 1982; Johnson, 1983; Griffiths, 1994; Reist *et al.*, 1995; Klemetsen *et al.*, 1997; Adams *et al.*, 1998). Il y a eu peu de travaux de synthèse des connaissances scientifiques ou traditionnelles abordant les différences latitudinales entre les populations ou établissant des liens entre les caractéristiques observées chez les populations et les événements de forçage se produisant à grande échelle, comme les changements climatiques. Toutefois, les rapports scientifiques publiés qui ont trait aux facteurs physiologiques et physiques influençant les stratégies biologiques de l'omble chevalier semblent indiquer que les impacts des changements climatiques sur les populations d'omble chevalier peuvent être importants.

Au sein des lacs, l'omble chevalier utilisera tous les types d'habitat (p. ex, pélagique, littoral, profond), et cet usage se fera en fonction de l'âge et du stade des individus et des espèces cooccurrentes dans le lac (Power *et al.*, 2008). Étant donné les diverses façons dont l'omble chevalier utilise

les habitats disponibles, il peut y avoir plus d'une forme biologique vivant dans le même lac. Les formes sont souvent très distinctes, présentant des différences de morphologie, de taille et de couleur. Dans d'autres cas, les formes diffèrent de façon apparemment subtile, mais elles se différencient par leurs habitudes d'alimentation (écologie trophique). Le Canada en compte quelques exemples (Reist *et al.*, 1995; O'Connell et Dempson, 2002), notamment dans un lac du Nunavik, le lac Aigneau, où l'on retrouve deux groupes d'omble chevalier de différentes tailles, où les individus ayant atteint la maturité sexuelle ont des formes et des couleurs différentes, vivent à des profondeurs différentes et se nourrissent de façon différente (Power *et al.*, 2009).

Lorsqu'il n'y a pas de différence évidente de forme, les variations de taille parmi les individus matures sont fréquentes. De nombreuses populations lacustres d'omble chevalier présentent des polymorphismes de taille sous la forme de répartition bimodale ou plurimodale de fréquences de longueur. (Johnson 1995; Parker et Johnson, 1991). Dans des populations unimodales non perturbées, seulement quelques individus atteignent normalement de très grandes tailles, habituellement à cause d'un changement hâtif de l'alimentation piscivore. Par conséquent, bien que des individus de grande taille soient présents dans de nombreux lacs, ils constituent l'exception et non la règle et ils peuvent rapidement être retirés par la pêche intensive. Dans bon nombre de lacs du nord du Québec et du Labrador, les différences en taille dépendent essentiellement de la façon dont l'omble chevalier utilise le milieu marin. Les individus qui migrent vers la mer vont croître rapidement, tandis que ceux qui ne migrent pas vont croître plus lentement, mais ils risquent aussi de vivre plus longtemps (Johnson, 1980). Les populations d'omble chevalier qui utilisent les deux milieux (populations anadromes) sont nombreuses dans le nord du Québec et du Labrador, là où l'accès à des milieux marins côtiers riches et productifs est relativement facile. Le poisson qui revient de s'être alimenté en mer est aussi très prisé comme source de nourriture et constitue la base des importantes pêcheries inuites.

Confronté à la compétition d'autres espèces, l'omble chevalier semble préadapté à un comportement peu agressif;

il change plutôt d'habitat ou d'alimentation. Un bon exemple de ce comportement est constaté dans les lacs où l'omble chevalier coexiste avec l'omble de fontaine ou le touladi. En compétition avec ces autres espèces, l'omble chevalier réduit sa compétition alimentaire et son risque de prédation en veillant à ne pas chevaucher l'habitat utilisé (Fraser et Power, 1989; O'Connell et Dempson, 1996). Ce comportement peut souvent provoquer des changements dramatiques dans la biologie de l'omble chevalier. Par exemple, lorsque l'omble chevalier coexiste avec le touladi, son taux de croissance est plus rapide, sa survie et sa durée de vie sont diminuées comparativement au touladi (Fraser et Power, 1989). La même aptitude à s'adapter aux pressions concurrentielles est observée dans la capacité de l'espèce à s'adapter aux circonstances changeantes des milieux où elle vit. L'omble chevalier a été décrit comme étant l'espèce la plus apte à s'adapter et la plus opportuniste des trois espèces d'omble ou truite que l'on trouve dans le nord du Québec et du Labrador; et grâce à cette souplesse et cet opportunisme, l'omble chevalier a pu se répandre plus rapidement et plus largement pendant la période postglaciaire que l'omble de fontaine et le touladi (Power, 2002). Cette même souplesse et adaptabilité aux conditions prévalentes est aussi constatée dans la grande variation morphologique des populations lacustres d'omble chevalier (Klemetsen *et al.*, 2003).

7.2.2 La biologie thermique de l'omble chevalier

Effets des augmentations de température sur la croissance de l'omble chevalier

Dès 1964, Swift (1964) avait constaté les effets néfastes des températures de plus de 14 °C sur la croissance de l'omble chevalier. Jobling (1983) a mesuré les effets physiologiques sur la croissance et a noté des corrélations positives significatives jusqu'à 14 °C, avec des déclin rapides de la croissance par la suite. Jobling *et al.* (1993) ont aussi suggéré que 14 °C est la température de croissance optimale pour l'omble chevalier. Bien que Baker (1983) ait aussi fait état d'une croissance optimale à une température d'environ 13 °C pour deux souches d'omble chevalier

Tableau 1. Données de température (°C) pour les principales espèces de salmonidés dans le nord du Québec et du Labrador. Les données du tableau sont tirées de Power (1990), Elliott (1991), Baroudy et Elliott (1994), Larsson (2005), Larsson et al. (2005) et Jonsson et Jonsson (2009). La température létale initiale supérieure est la température au-dessus de laquelle le poisson ne peut pas survivre pendant une longue période, habituellement sept jours. La température optimale pour la croissance de chacune des espèces de poisson est la température à laquelle le poisson croît le plus rapidement pour une quantité donnée de nourriture. La plage pour la croissance définit la fourchette des températures où la croissance a été observée pour chacune des espèces de poisson et la plage des températures propices à la fraie définit les températures auxquelles la fraie pourrait se produire.

ESPÈCES	TEMPÉRATURE LÉTALE INITIALE SUPÉRIEURE	TEMPÉRATURE OPTIMALE POUR LA CROISSANCE	PLAGES DES TEMPÉRATURES FAVORABLES À LA CROISSANCE	PLAGES DES TEMPÉRATURES PROPICES À LA FRAIE
Saumon de l'Atlantique	27,8	15,0-20,0	5,6-22,5	2,0-10,0
Ombles chevalier	18,7-21,6	11,0-16,1	2,7-21,4	0,5-8,3
Ombles de fontaine	25,8	14,4-16,1	3,1-21,0	2,2-11,7
Touladi	23,5	14,1	Non déterminée	< 6,0-14,0

provenant du Labrador et de la Norvège, il a également constaté qu'il pouvait y avoir des différences au sein de ces populations quant à la température optimale de croissance. Plus récemment, Larsson et Berglund (1998) ont inclus des températures supérieures à 14 °C à leurs études de croissance afin d'estimer la température de croissance optimale de 15 °C pour des individus d'âge 0+ et ils ont allégué que dans la fourchette de températures de 9 à 20 °C, il n'y avait pas de différence significative des taux de croissance mesurés dans les populations où le poisson peut se nourrir en tout temps. Bien que le taux de croissance ne variait pas beaucoup avec la température, l'efficacité de croissance (définie comme étant le changement de poids dans un intervalle défini divisé par le poids des aliments consommés) diminuait avec des températures plus élevées, suggérant qu'une plus grande ration était requise pour soutenir les taux de croissance à des températures élevées. Les résultats semblent indiquer que l'omble chevalier qui vit dans des températures supérieures à 14-15 °C pendant de longues périodes de temps connaîtra un ralentissement de sa croissance saisonnière, avec des effets afférents sur la survie et la fécondité, à moins que les rations alimentaires soient disponibles en quantité suffisante pour contrebalancer les coûts métaboliques accrus de vivre à des températures élevées.

En comparant les limites thermiques critiques de l'omble chevalier à celles des autres salmonidés, on a constaté que l'omble chevalier est une des espèces de salmonidés les moins résistantes aux températures élevées, mais probablement la plus résistante aux températures basses (Baroudy et Elliott, 1994). À titre d'exemple, le tableau 1 compare les valeurs thermiques critiques de certaines des espèces de poisson les plus valorisées dans le nord du Québec et du Labrador. Dans une étude comparative de la résistance au gel chez cinq espèces de salmonidés, l'omble chevalier est l'espèce qui a démontré la plus grande résistance au gel (Fletcher *et al.*, 1988) et dans une série d'expériences avec l'omble chevalier réalisées en Suède, Larsson *et al.* (2005) ont enregistré une croissance à des températures aussi faibles que 1,7 °C. Dans plusieurs lacs de Suède, on a trouvé du benthos dans les estomacs d'omble chevalier se nourrissant activement sous la glace pendant l'hiver (Hammar, 1998). Ainsi, dans les communautés de salmonidés existantes (omble chevalier, ombles de fontaine, touladi et saumon de l'Atlantique) et communes dans toute la région du nord du Québec et du Labrador, l'omble chevalier est l'espèce qui sera la plus vraisemblablement affectée par les augmentations de température estivale prévues (Brown *et al.*, 2001) à cause de son adaptation antérieure à des milieux plus

froids. Cela est le plus apparent le long de la limite sud de son aire de distribution, là où le réchauffement de la température va probablement être le plus important et où la compétition avec d'autres espèces de salmonidés plus aptes à s'adapter à des températures plus chaudes sera probablement la plus intense.

Étude des variations latitudinales pour comprendre les répercussions des changements climatiques sur l'omble chevalier

L'étude des différences au sein des populations en fonction de la latitude est un moyen pratique de prédire comment le poisson réagira au réchauffement climatique. En comparant les populations d'une même espèce le long d'un gradient latitudinal, les scientifiques peuvent se forger des opinions sur ce qui pourrait arriver à l'espèce au fur et à mesure que le climat se réchauffe dans le nord. Un bon nombre de recherches scientifiques ont donc été entreprises pour déterminer et étudier les gradients latitudinaux pertinents pour un large éventail d'espèces de poissons. Les résultats indiquent des différences dans les populations en ce qui concerne les maximums thermiques critiques pour de nombreuses espèces (Fields *et al.*, 1987). Les études ne concordent pas toutes, certaines soutenant qu'il y a peu de preuves pour soutenir l'hypothèse selon laquelle les variations des taux de croissance des poissons reflètent les adaptations aux températures de leur fratrie natale (Jonsson *et al.*, 2001). À titre d'exemple, Larsson *et al.* (2005) ont comparé le rendement de croissance de l'omble chevalier de 11 populations européennes et ils n'ont trouvé aucune tendance géographique ou climatique associée au rendement de croissance.

Les études nord-américaines se fondant sur des données provenant de la région du nord du Québec et du Labrador contrastent avec ce que l'on a constaté en Europe. À l'aide de données biologiques de 66 populations d'omble chevalier de l'Est de l'Amérique du Nord, Chavarie *et al.* (2010) ont examiné l'effet de la latitude sur la taille et le taux de croissance de trois formes d'omble chevalier : l'omble anadrome, l'omble lacustre de taille normale et l'omble lacustre nain (omble anormalement petit qui dépasse rarement 25 cm à

maturité). Dû au peu d'ensembles de données disponibles pour les populations lacustres naines, définies comme celles dont la longueur maximale observée ne dépasse pas 22 cm, ils n'ont pu tirer de conclusions définitives sur l'effet de la latitude (comme données substitués pour la température) sur les populations naines habituellement retrouvées dans des milieux homothermiques au fond des lacs. Parmi les populations anadromes et lacustres de taille normale, la longueur selon l'âge diminuait en fonction de la latitude et les taux de croissance selon l'âge variaient avec la latitude.

La figure 1 illustre certains exemples des gradients latitudinaux en ce qui a trait à la taille selon l'âge et le taux de croissance pour les populations lacustres normales et anadromes, aux âges de six et dix ans, pour les populations à l'étude échantillonnées dans l'Est de l'Amérique du Nord. Chez les populations anadromes, la variation de taille avec la latitude différait selon l'âge, les plus grandes variations étant observées chez les plus jeunes et ces variations se faisant progressivement moins importantes au fur et à mesure que le poisson vieillit. Chez les populations lacustres normales, l'effet de la latitude sur le taux de croissance était évident et semblable dans toutes les classes d'âge à l'étude. Par conséquent, le taux de croissance semble augmenter marginalement en fonction des latitudes, le poisson lacustre du nord ayant une croissance légèrement plus rapide que celui des sites plus au sud (Chavarie *et al.*, 2010). Pour les poissons anadromes, les résultats étaient moins concluants. Les effets de la latitude sur le taux de croissance fournissent une explication raisonnable des données pour certains des poissons les plus âgés (de 10 à 12 ans), mais pas pour les plus jeunes (< 10).

Dans l'ensemble, les résultats de cette étude fournissent certaines preuves de la compensation latitudinale de la croissance de l'omble chevalier lacustre de taille normale, mais l'hypothèse du contregradient demeure à prouver dans le cas des populations anadromes. Les résultats contrastants par type de population peuvent dépendre des extrêmes dans les milieux thermiques des populations lacustres et anadromes. Par exemple, les populations anadromes utilisent un même milieu thermique largement influencé par le courant du Labrador et elles sont généralement moins soumises aux différences thermiques de leur habitat en

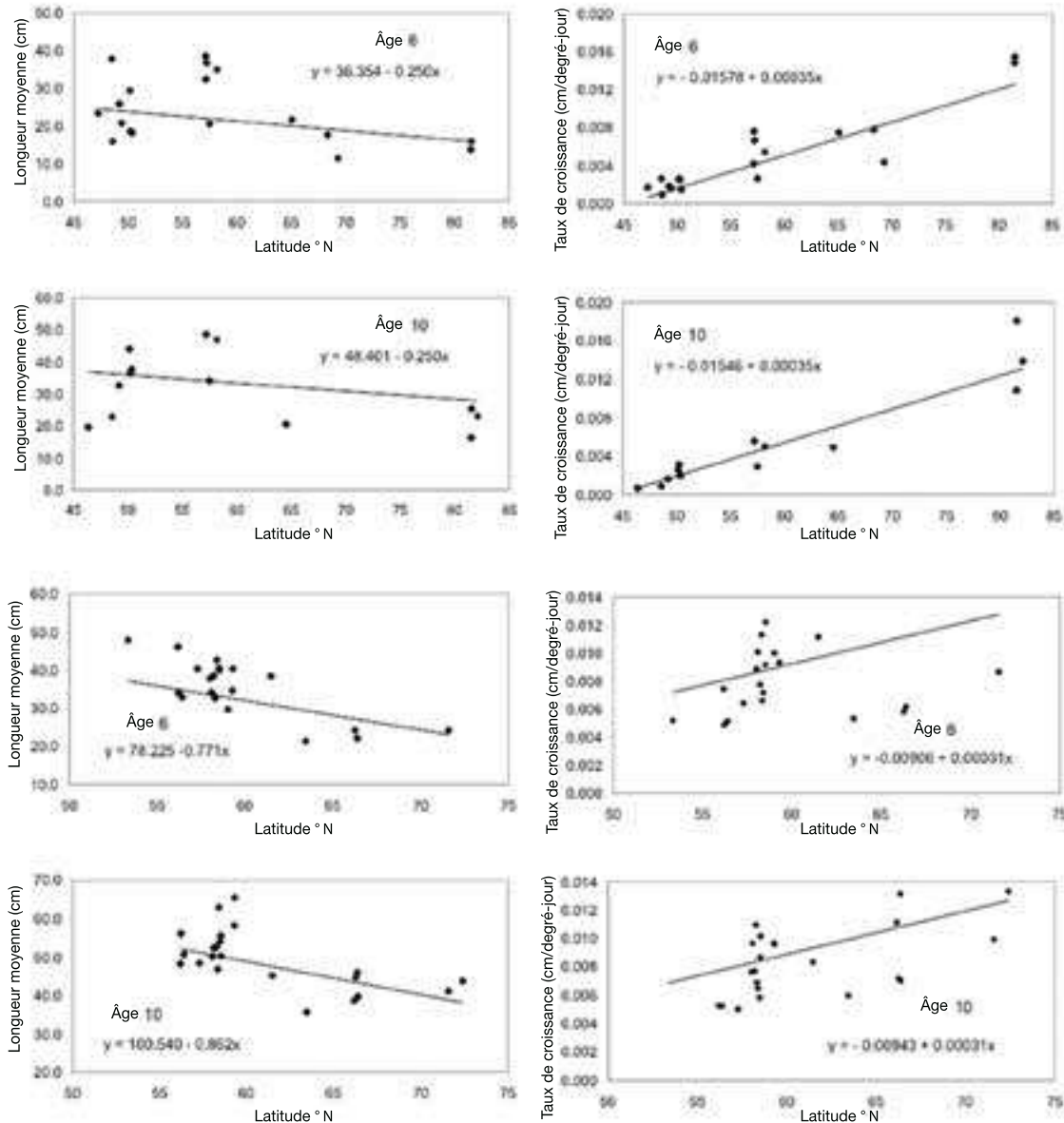


Figure 1. Diagrammes de dispersion illustrant la longueur moyenne à la fourche selon l'âge (colonne de gauche) ou le taux moyen de croissance selon l'âge (cm/degrés-jours cumulatifs; colonne de droite) en fonction de la latitude, pour les âges de 6 et 10 ans chez les ombles chevaliers lacustres (les deux premières rangées de diagrammes) et anadromes (deux rangées du bas) de l'Est de l'Amérique du Nord. Adapté de Chavarie et al. (2010).

fonction de la latitude que les populations lacustres (Chavarie *et al.*, 2010). Comme c'est le cas pour toutes les analyses rétrospectives, les conclusions de l'étude nous aident seulement à nous donner une idée de ce qui s'est passé sur la côte, alors que les individus des populations lacustres ont montré une plus

grande sensibilité aux fluctuations de températures que ceux des populations anadromes. Les répercussions des changements climatiques sur l'omble chevalier anadrome dans la région seront, par conséquent, essentiellement liées aux changements prévus dans les températures de surface de la mer du Labrador.

Tableau 2. Sommaire des influences environnementales sur les caractéristiques biologiques de l'omble chevalier de Nain (âge, longueur et poids moyens au moment de la capture). On présente la tendance de l'influence environnementale et son rang en termes d'importance quant aux répercussions sur les caractéristiques biologiques données. Les variables déphasées sont des mesures des précipitations ou des températures des années précédentes qui se sont révélées avoir un effet critique sur l'omble chevalier, généralement pendant la première année de vie lorsque les taux de mortalité de l'omble chevalier sont élevés.

VARIABLE ENVIRONNEMENTALE	ÂGE MOYEN		LONGUEUR MOYENNE		POIDS MOYEN	
	TENDANCE DE L'EFFET	RANG	TENDANCE DE L'EFFET	RANG	TENDANCE DE L'EFFET	RANG
Températures printanières			Négative	2		
Températures estivales			Positive	1		
Températures estivales tardives			Positive	4	Positive	3
Températures hivernales			Positive	3		
Précipitations estivales tardives	Négative	1			Positive	2
Précipitations hivernales tardives	Négative	3				
Températures estivales à la surface de la mer	Négative	2			Positive	1

Les différences entre les études européennes et nord-américaines concernant les effets des différences latitudinales sur la taille selon l'âge et les taux de croissance mettent en lumière la nécessité d'étudier davantage la biologie thermique des espèces clés à l'échelle régionale, tout particulièrement les difficultés accrues associées à la prédiction des effets à long terme des augmentations de température là où une variation contregradient existe (Jobling, 1997). Par exemple, un des effets associés aux changements climatiques et à l'opportunité plus grande de croissance pourrait être une diminution de l'intérêt des migrations vers la mer, à condition que des ressources alimentaires soient suffisantes et disponibles dans le lac. Un tel changement dans les mouvements migratoires aurait des conséquences évidentes sur les activités de récolte des Inuits qui sont basées sur des pêches d'interception côtières. Il est nécessaire de mieux comprendre les tendances de croissance parmi les populations canadiennes d'omble chevalier et d'étudier davantage la biologie thermique des populations lacustres dans une foule de sites avant de pouvoir conclure définitivement que de possibles différences intraspécifiques dans la croissance vont probablement favoriser ou perturber le maintien des mouvements migratoires existants des populations anadromes.

Les leçons retenues des études à long terme réalisées à Nain

De nouvelles tentatives ont été faites pour établir un lien entre les changements dans les caractéristiques biologiques de l'omble chevalier et les variables environnementales, comme la température et les précipitations, lesquelles vont probablement être affectées par les changements climatiques. À l'aide des données biologiques provenant d'un suivi à long terme effectué à la pêcherie autochtone d'omble chevalier de Nain, au Labrador (voir Dempson, 1995), Power *et al.* (2000) ont examiné l'importance des variables environnementales pour expliquer la variabilité observée dans les données biométriques à long terme (1977-1997) des captures (longueur, poids, âge) d'omble chevalier anadrome (voir le tableau 2). Les débarquements à la pêcherie de Nain proviennent du stock de Nain qui comprend tout le poisson dans une zone côtière incluant Nain (Labrador) et les baies adjacentes (Dempson et Kristofferson, 1987; Dempson, 1995). Les résultats des analyses statistiques détaillées ont indiqué que l'âge moyen des poissons capturés à la pêcherie de Nain variait beaucoup en fonction des précipitations estivales et hivernales et des températures à la surface de la mer en été. Les caractéristiques relatives à la longueur (cm)

des poissons capturés variaient aussi grandement en fonction de la température, tandis que les caractéristiques de poids (kg) des poissons capturés variaient en fonction de la température et des précipitations. Le tableau 2 présente un résumé des périodes de température et de précipitations estimées les plus critiques pour les changements observés dans l'âge, la longueur ou le poids de l'omble chevalier, de même qu'une indication de la tendance de cet effet. Les variables de précipitations étaient liées aux changements dans la dynamique des substances nutritives empirant ou améliorant la productivité de l'environnement dans lequel l'omble se nourrissait et grandissait. Les variables de température étaient liées aux répercussions de la température sur les changements physiologiques des poissons qui déterminaient les augmentations globales en longueur et en poids, souvent dans des périodes de croissance critiques comme la première année de vie. Les résultats de l'étude mettent en évidence l'importance de la variabilité environnementale à des étapes critiques du cycle de vie. Ils semblent indiquer que l'environnement joue un rôle important en déterminant les dynamiques de populations exploitées d'omble chevalier par le biais des effets que l'environnement exerce sur les mesures des caractéristiques d'âge, de longueur et de poids du stock qui ont un lien avec l'éventuel succès de la reproduction (Power *et al.*, 2000).

Michaud *et al.* (2010) ont utilisé les mêmes données de Nain pour poursuivre l'analyse initiale de Power *et al.* (2000) et examiner comment les expériences de vie cumulatives peuvent être influencées par l'environnement. En triant le poisson en fonction de son année de naissance (cohorte), les chercheurs ont étudié comment diverses expériences de vie (dont les différences ont trait aux températures supérieures ou inférieures aux moyennes) peuvent affecter la croissance du poisson. Les résultats de l'étude (voir la figure 2) indiquent que les fluctuations de température à court terme peuvent avoir des impacts importants sur la croissance du stock anadrome d'omble chevalier. Dans une même saison de croissance, la température estivale moyenne n'était pas reliée de façon significative aux changements interannuels en ce qui a trait à la longueur du poisson, et elle n'était que faiblement liée aux changements interannuels du poids

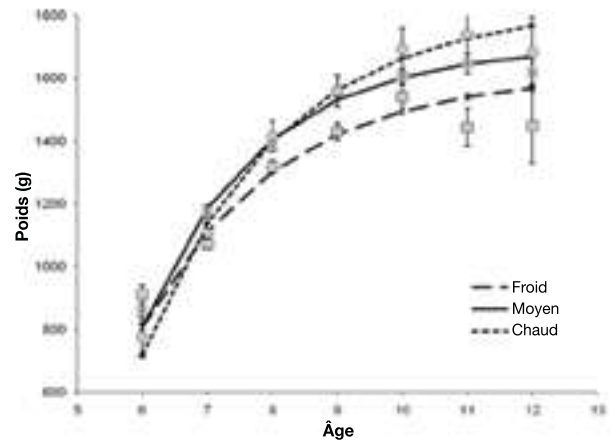


Figure 2. Modèles de la croissance estimée de l'omble chevalier de Nain selon divers scénarios de température pendant la durée de vie. On a regroupé les poissons par date de naissance (cohorte) et réparti les cohortes dans des groupes ayant connu des températures supérieures ou inférieures aux régimes thermiques moyens au cours de leur vie. On a ensuite réparti les groupes de températures comme suit : le groupe « Moyen » pour les cohortes ayant un écart type de ± 1 du nombre moyen de degrés-jours cumulatifs vécus par toutes les cohortes; les groupes « Froid » et « Chaud » pour les cohortes excédant la règle de l'écart type de ± 1 . Les points représentent le poids moyen selon l'âge avec un intervalle de confiance de $\pm 95\%$ pour chaque groupe.

dans les cohortes. Après pondération pour tenir compte des différences d'âge, les expériences cumulatives de température expliquaient plus de 80 % de la variation en longueur ou en poids selon l'âge dans les cohortes. Dans le contexte des prédictions régionales des changements climatiques, on s'attend à ce que la température (représentée en degrés-jours cumulatifs) augmente de 30 à 60 % environ au Nunavik et 30 à 65 % au Nunatsiavut (Brown *et al.*, 2011). Associés à ces prédictions climatiques, les résultats semblent indiquer que l'influence des conditions environnementales passées sur l'historique de croissance peut et aura un plus grand impact sur les caractéristiques biologiques d'une population d'omble chevalier que les conditions de températures d'une seule saison de croissance. Les comparaisons de croissance entre les cohortes ayant connu des régimes thermiques

similaires suggèrent également que les différences dans les modes de croissance pourraient être liées aux changements de l'écosystème (c.-à-d. les changements dans les régimes thermiques marins) associés aux changements climatiques.

Bien que l'on ait établi des liens importants entre la température et la croissance des poissons, les différences des patrons de croissance parmi les cohortes peuvent être le reflet de changements simultanés dans la disponibilité des proies, le comportement des poissons ou l'exploitation qui a eu lieu pendant la période d'étude. Des combinaisons de ces facteurs ont été associées aux changements dans la distribution et la productivité d'autres espèces dans la région nord-ouest de l'Atlantique (Mann et Drinkwater, 1994; Atkinson *et al.*, 1997; Rose *et al.*, 2000; Carscadden *et al.*, 2001; Sinclair *et al.*, 2002). La concordance des résultats d'études semblent indiquer que d'éventuels changements environnementaux liés au climat auront des impacts physiologiques directs sur les patrons de croissance de l'omble chevalier anadrome et d'importants impacts indirects sur la croissance en lien avec les réactions de l'écosystème aux changements des variables environnementales clés liés au climat (p. ex., les températures – voir les détails au chapitre 2) (Brown *et al.*, 2011). Les résultats mettent aussi en lumière le fait que des changements importants dans la croissance peuvent survenir sur des périodes de temps relativement courtes. Puisque les implications de gestion en rapport aux divers facteurs (p. ex., température, changements dans les ressources de nourriture) pris en compte ici sont très variées, il est clair que davantage de recherche est nécessaire pour mieux comprendre la complexité des interactions possibles entre les facteurs environnementaux qui influencent les patrons de croissance de l'omble chevalier en nature.

Comment d'autres espèces de poisson peuvent affecter l'omble chevalier dans le contexte d'un réchauffement climatique

Parmi les salmonidés du nord du Québec et du Labrador, la réponse aux changements de température (chapitre 2; Brown *et al.*, 2011) variera fort probablement en fonction des réactions physiologiques spécifiques dans des eaux plus chaudes.

Plusieurs espèces présentes dans les zones au sud, qu'elles soient indigènes comme le saumon de l'Atlantique et l'omble de fontaine, ou introduites comme la truite brune et la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), vont très probablement étendre leurs aires de distribution vers le nord (Power, 1990). Alors que les espèces de percidés et cyprinidés des eaux plus chaudes sont confinées au sud-ouest et qu'il est peu probable qu'elles étendent leur aire de distribution vers le nord (à moins d'être déplacées par l'homme) à cause des obstacles à la dispersion (Power, 1990), les salmonidés euryhalins sont en mesure de se déplacer d'un estuaire à l'autre quand les conditions le permettent. Ainsi, Dumont *et al.* (1988) ont documenté le déplacement réussi de la truite arc-en-ciel et de la truite brune et d'espèces exotiques de saumon dans l'estuaire du golfe du Saint-Laurent et il semble que la dispersion de la truite brune à Terre-Neuve ait été limitée par la température. Des suites de l'extension probable des aires de distribution, les populations d'omble chevalier pourraient être réduites ou remplacées par des saumons de l'Atlantique anadromes et des ombles de fontaine anadromes dans la majeure partie de la zone sud de la région et l'omble de fontaine deviendra une composante plus importante des pêches autochtones de subsistance dans les rivières qui se trouvent actuellement dans la zone de toundra (Power, 1990). Le touladi va probablement disparaître des rivières et des eaux peu profondes de nombreux lacs et se comporter comme ce que l'on observe actuellement dans les régions tempérées plus au sud (Martin et Olver, 1980), soit en occupant les habitats au fond des lacs pendant la majeure partie de l'été. Dans les lacs où sont présents le touladi et l'omble chevalier, les changements induits par le climat dans l'usage de l'habitat vont probablement accroître la compétition entre les deux espèces, au détriment de l'omble chevalier (voir Fraser et Power, 1989).

Migrations marines de l'omble chevalier

L'anadromie est observée chez la plupart des populations d'omble chevalier qui ont accès à un milieu marin. Les migrations se produisent tôt au printemps, coïncidant avec la débâcle, et l'alimentation estivale en mer est habituellement confinée aux eaux côtières près des rivages (Dempson et Kristofferson, 1987). Pour l'espèce, l'utilisation du

milieu marin est une occasion importante d'augmenter en taille avant la reproduction. Cependant, on croit que le comportement anadrome est facultatif et qu'il va varier selon les conditions locales. Les facteurs qui déterminent l'anadromie semblent être principalement environnementaux (p. ex., la durée du couvert de glace par rapport aux eaux libres des systèmes d'eau douce, la productivité dans les eaux douces natales par rapport aux eaux marines du littoral, les coûts comparativement aux avantages de la migration, etc.). Les superficies et les gradients des bassins versants semblent aussi influencer la prévalence de l'anadromie, des gradients de $> 80\text{m}/\text{km}$ empêchant la migration efficace en amont dans la région de la baie d'Ungava (Power et Barton, 1987). Des bassins de $> 1\ 000\ \text{km}^2$ semblent garantir une décharge de rivière suffisante pour permettre l'anadromie là où il n'y a pas de gradient ou d'autres obstacles (comme des chutes) (Power et Barton, 1987).

L'omble chevalier a principalement un comportement anadrome aux latitudes centrales de son aire de distribution géographique, les températures à la surface de la mer étant considérées comme un des plus importants déterminants. Jensen (1981) et Berg et Berg (1989) ont fourni des éléments probants en Norvège qui indiquent que les températures moyennes de l'eau sur les côtes (moyennes mesurées sur 10 jours) supérieures à $14\ ^\circ\text{C}$ à une profondeur de 4 à 5 mètres constituent un obstacle abiotique efficace au comportement anadrome. Les données semblent indiquer qu'avec les changements climatiques, les augmentations de température à la limite sud de l'anadromie peuvent avoir des implications importantes pour la viabilité de l'anadromie chez les populations du sud. Cependant, Nordeng (1983) a rejeté la théorie selon laquelle les températures à la surface de la mer déterminent à elles seules l'anadromie et il suggère plutôt que des stratégies non anadromes aient pu évoluer en réponse aux changements dans les habitats d'eau douce avec une disponibilité accrue de nourriture qui accélérerait le développement des juvéniles et augmenterait la propension de l'omble chevalier à demeurer en eau douce. L'hypothèse suggère que l'omble chevalier s'ajusterait facultativement à la disponibilité accrue de nourriture dans les habitats d'eau douce et réagirait en ne migrant pas. La productivité accrue

en eau douce stimulée par le réchauffement du climat peut susciter une résidence accrue en eau douce dans de nombreuses populations, avec les implications évidentes sur la durabilité des pêcheries de subsistance actuelles. De récents éléments de preuve provenant de populations glaciaires reliques dans le sud du Québec (Doucett *et al.*, 1999) viennent appuyer cette possibilité. L'anadromie semble aussi représenter une stratégie biologique peu fréquente parmi les populations étudiées, comme le prédit l'hypothèse de Nordeng concernant la productivité accrue des habitats d'eau douce.

Là où l'anadromie ne se produit pas, la préférence pour la résidence lacustre semble être le résultat de compromis peu favorables entre les coûts migratoires et les avantages de l'alimentation en milieu marin. Là où l'anadromie a lieu, la transition à l'alimentation marine estivale commence généralement entre trois et huit ans d'âge. L'omble chevalier va habituellement se nourrir en mer pour une période de six à huit semaines. Même si le temps passé à se nourrir en mer est court, ces migrations pour s'alimenter en mer facilitent la croissance et les individus peuvent augmenter en taille jusqu'à 42 % pendant cette période (Johnson, 1980). En général, on croit que l'anadromie est facultative chez les populations d'omble chevalier.

Lorsqu'il est en milieu marin, l'omble chevalier est aussi grandement affecté par la température. Une fois en mer, l'omble chevalier anadrome grandit rapidement à des températures allant jusqu'à $10\ ^\circ\text{C}$ (Berg et Berg, 1989). Les diminutions de la croissance observées à des températures marines en surface supérieures à $10\ ^\circ\text{C}$ ont été interprétées comme une indication que l'omble chevalier est particulièrement adapté aux basses températures. Le moment de la migration de l'omble chevalier vers la mer ainsi que la période de résidence en mer coïncident aussi avec des températures basses en mer. Puisque l'omble chevalier grandit bien dans l'eau de mer froide, sa résidence en mer semble être un peu plus longue là où la mer est plus froide. Le moment de migration semble donc lié à la mise en place des conditions thermiques les plus favorables pour la croissance en mer et lorsque ces conditions ne sont plus réunies, les taux de croissance déclinent (Berg et Berg, 1989).

Les diminutions de la durée de résidence en mer (associée aux températures les plus favorables pour la croissance) induites par le climat ont des implications évidentes : croissance réduite des individus en mer et déclin éventuels du succès reproducteur de nombreuses populations anadromes. La moins grande propension à migrer des individus des populations du sud (Doucett *et al.*, 1999) et des renseignements similaires de nature anecdotique sur la faible incidence du comportement migratoire dans les populations de l'Extrême Arctique (Babaluk, Power et Reist, données non publiées) laissent croire que des liens écologiques plus complexes gouvernent la variabilité temporelle et spatiale observée dans les stratégies biologiques des populations d'omble chevalier. Il est nécessaire d'obtenir plus d'information sur les influences relatives des populations anadromes et lacustres avant de pouvoir prédire de façon détaillée les effets possibles des changements climatiques dans l'ensemble de l'aire de distribution de cette espèce. Néanmoins, les changements possibles induits par le climat dans le comportement migratoire suggèrent que pour une récolte durable, il pourrait être nécessaire de réduire les récoltes d'omble chevalier anadrome en récoltant si possible d'autres espèces (comme l'omble de fontaine ou le saumon de l'Atlantique) ou d'opter pour des activités de récolte qui sont plus restreintes près des côtes et estuaires et plus importantes dans les lacs. Les conséquences de tels changements dans les communautés locales au nord du Québec et possiblement du Labrador pourraient être substantielles du fait que les coûts de récolte seront accrus et les gains réduits.

Reproduction

D'autres aspects critiques du cycle de vie de l'omble chevalier sont influencés par la température. Jensen *et al.* (1989) ont constaté que le temps requis pour que 50 % des alevins se soient nourris après éclosion était plus court pour l'omble chevalier que pour les espèces de salmonidés en compétition dans des eaux dont la température était $< 8^{\circ}\text{C}$. Cela démontre l'avantage de l'omble chevalier pour le développement et la survie à basse température comparativement à des espèces comme le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*). À des températures supérieures à 8°C , le saumon de l'Atlantique

commence à se nourrir plus rapidement que l'omble chevalier, inversant ainsi les avantages pour le développement et la survie. Des augmentations de température pourraient donc changer l'avantage écologique des espèces de salmonidés sympatriques, menant ainsi à des changements dans la structure de la communauté dans la majeure partie de l'aire de distribution commune de ces deux espèces. Des observations anecdotiques de tels changements existent pour certains lacs du nord du Québec. Lors des premières études effectuées au lac Aigneau à la fin des années 1950 (G. Power, données non publiées), on a trouvé peu de saumon de l'Atlantique comparativement à l'omble chevalier, alors que dans le cadre d'une étude similaire effectuée dans les années 1990 (Power *et al.*, 2009) on a constaté une beaucoup plus grande quantité de saumon de l'Atlantique et des signes de marginalisation d'une composante de la population d'omble chevalier dans les habitats plus profonds au sein du lac.

Relativement peu d'études se sont penchées sur les températures requises pour la reproduction de l'omble chevalier, à l'exception d'un petit nombre d'études basées sur des expériences réalisées en aquaculture. Gillet (1991) a trouvé que l'ovulation de l'omble chevalier était inhibée à plus de 11°C , ralentie à 8°C et que si la température demeurait au-dessus de 5°C pendant plusieurs semaines, la qualité des œufs diminuait à cause d'une trop longue élaboration génitale. Les augmentations de température étaient aussi associées à une mortalité accrue des œufs, ce qui indique une relation inverse entre le succès reproducteur et des températures supérieures à 5°C (Gillet, 1991). De la même façon, on a démontré que le succès d'éclosion et de survie était plus grand à 3°C qu'à 6°C (deMarch, 1995). Des expériences récentes sur le succès d'éclosion et de survie après éclosion ont donné des résultats similaires à des températures de plus de 6°C (Bebak *et al.*, 2000). L'estimation de la probabilité de survie de 90 jours après éclosion diminuait en fonction de la température, passant d'une fourchette de 0,78 à 0,97 pour des températures de 6 à 12°C , à une fourchette de 0,65 à 0,73 pour une température constante de 12°C . Étant donné les effets importants de la température sur la viabilité des œufs et sur le succès après éclosion, l'importance des températures froides pour les autres stades de vie de l'omble chevalier

mérite d'être étudiée davantage, surtout dans le contexte des préoccupations possibles liées au réchauffement climatique.

Une étude récente (Power *et al.*, 2005) se servant de la latitude comme donnée substitut de température a relevé des variations environnementales de la fécondité dans 32 populations d'omble chevalier de l'Est de l'Amérique du Nord. Bien que la fécondité variait surtout en fonction de la taille du poisson (longueur à la fourche), lorsqu'on a ajusté la fécondité pour tenir compte des différences dans la longueur à la fourche, on a trouvé des différences significatives dans les populations, donnant à croire que la fécondité était un trait en évolution continue influencé par des facteurs environnementaux locaux (figure 3). Contrairement à d'autres études de fécondité chez des salmonidés (p. ex, Fleming et Gross, 1990), il n'y avait pas d'évidence de gradient latitudinal en lien avec la taille des oeufs. Les tendances de changement dans la fécondité et le diamètre des oeufs, en fonction de la longueur, de la latitude et du morphotype notées par Power *et al.* (2005) indiquent une certaine plasticité reproductive de l'omble chevalier et mettent en évidence sa capacité à s'adapter à une foule de conditions environnementales, soit par la sélection de tactiques biologiques soit par l'allocation d'énergie des individus. Bien que la latitude ne semble pas être le déterminant principal de la fécondité, les études fondées sur la latitude sont pertinentes pour comprendre les effets potentiels des changements climatiques à divers niveaux de la structure de l'écosystème, car la variation latitudinale des paramètres environnementaux clés (comme la température) peut ressembler aux variations induites par le climat des caractéristiques biologiques au fil du temps.

Résumé des effets de la température

Les rapports entre la température et les taux de croissance et les stratégies de migration donnent à penser que les effets du réchauffement planétaire chez les populations d'omble chevalier vont dépendre essentiellement de la façon dont les changements de température affecteront le plus les stratégies biologiques et les endroits où cela se produira. Les stocks anadromes vont fort probablement être affectés par les changements des températures de la mer en surface,

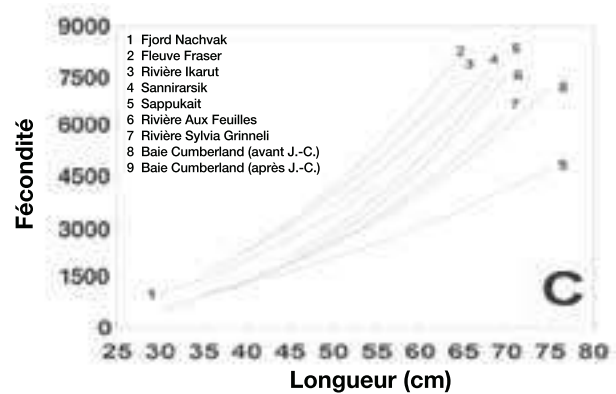


Figure 3. Différences dans les rapports entre la fécondité et la longueur pour les populations anadromes d'omble chevalier échantillonnées le long d'un gradient latitudinal commençant à gauche avec les populations les plus au sud. Toutes les populations, à l'exception des numéros 7 à 9 proviennent de la région du nord du Québec et du Labrador. Pour une longueur donnée, il y a une diminution générale de la fécondité. Figure adaptée de Power *et al.* (2005).

possiblement jusqu'à causer une diminution de la durée de la résidence en mer et de la croissance. La productivité marine accrue peut compenser l'effet d'une moins longue résidence en mer, mais le réchauffement persistant pourrait aussi provoquer une réduction de la distribution des populations anadromes dans le sud. Les populations lacustres, surtout celles dans les lacs oligotrophes peu profonds, pourraient être décimées (Lehtonen, 1998). Les augmentations de température vont hausser les taux métaboliques et la demande individuelle de nourriture, possiblement jusqu'au point où les populations auront accès à moins de nourriture et subiront une réduction de la taille selon l'âge. Pour les populations qui vivent dans des lacs où il n'y a normalement pas de stratification, le réchauffement réduira le volume d'habitat viable en été, augmentant ainsi la mortalité en fonction de la densité. Si le réchauffement est aussi grave qu'on le prédit (voir le chapitre 2, Brown *et al.*, 2011), les populations lacustres vont probablement survivre uniquement dans les lacs oligotrophes profonds qui connaissent une stratification thermique. Supposant qu'aucun autre facteur que la température ne change dans

le futur, les réductions des habitats disponibles en été vont probablement mener à des diminutions mesurables dans bon nombre de populations d'omble chevalier (Lehtonen, 1998). Par conséquent, il est important de bien faire la distinction entre les populations d'omble chevalier en fonction de l'anadromie et de la résidence en eaux douces au moment de considérer les conséquences potentielles des changements climatiques sur les populations d'omble chevalier en général.

7.3 Projets de gestion et recherche en cours au Nunavik

La gestion des populations d'omble chevalier est complexe dû au fait que nous disposons de renseignements incomplets sur les récoltes et que les ressources allouées pour étudier les alternatives de gestion sont insuffisantes. Dempson *et al.* (2008) mentionnent que les caractéristiques propres à l'espèce en compliquent davantage la gestion, notamment : 1) la variabilité de l'effectif des classes d'âge; 2) l'absence de tendance évolutive dans la longueur ou la structure d'âge des populations étudiées; 3) l'absence de points établis de référence biologique ou d'exigences en matière de conservation; 4) la complexité des patrons migratoires de l'omble chevalier lorsqu'il se déplace dans les rivières d'une même région. Étant donné les pressions exercées par la population pour une plus grande disponibilité de l'omble

chevalier dans bon nombre de villages dans le nord du Québec et du Labrador et les répercussions probables des changements climatiques sur l'omble chevalier (Reist *et al.*, 2006 a, b, c), il faut développer des programmes de recherche qui visent à mieux comprendre les dynamiques à long terme des populations d'omble chevalier, autant les populations lacustres qu'anadromes. À cet égard, les données compilées pour la pêcherie de Nain (Dempson, 1995; Dempson *et al.*, 2008) ont été des plus utiles pour donner un aperçu essentiel des impacts qu'ont la pêche et des conditions environnementales changeantes sur l'omble chevalier.

Même si l'on a habituellement caractérisé l'omble chevalier comme étant une espèce vulnérable à l'exploitation à cause de ses taux de croissance relativement faibles et de sa maturité sexuelle tardive, les constats faits dans la région de Nain donnent à penser le contraire. Avec des pics de captures comptant entre 50 000 et 90 000 individus à la fin des années 1970 et au début des années 1980, la pêche de l'omble chevalier à partir des complexes de stocks de Voisey, Nain et Okak n'ont pas donné lieu aux effondrements à court terme des populations que l'on avait prédits pour les stocks de poissons intensément pêchés.

En effet, au cours des trois dernières décennies, les captures d'omble chevalier dans les classes d'âge dominantes (de 7 à 10 ans) ont peu varié en ce qui a trait à la longueur moyenne au moment de la capture (Dempson *et al.*, 2008). La similarité de la composition en longueur et en âge des stocks avec les données publiées par Andrews et Lear (1956) pour l'année 1953 indique que dans le cours d'un demi-siècle, la composition en âge et en longueur de l'omble chevalier récolté dans les pêcheries commerciales au nord du Labrador est demeurée relativement constante. Cette constance a été interprétée comme un signe de la capacité de la région du nord du Labrador à produire et maintenir la pêche de l'omble chevalier anadrome pendant longtemps (Dempson *et al.*, 2008).

Étant donné le manque d'études détaillées en matière de gestion et vu les risques associés au climat cernés précédemment, les méthodes de gestion adaptative pour



l'avenir devraient inclure ce qui suit : 1) des consultations communautaires pour examiner les résultats passés et les tendances de la pêche; 2) établir les objectifs de gestion; 3) déterminer les données manquantes et intégrer le savoir écologique traditionnel. À cet égard, les initiatives de gestion prises par le Centre de recherche du Nunavik représentent une démarche utile qui permet aux usagers de ressources locales de participer au développement des politiques de gestion conçues pour atténuer les répercussions possibles des changements climatiques sur les populations d'omble chevalier lacustres et anadromes dans le nord du Québec et du Labrador.

7.3.1 Aménagement des cours d'eau au Nunavik

Une initiative de gestion de réel intérêt porte sur les nombreux efforts d'aménagement entrepris depuis la fin du premier inventaire de population de l'omble chevalier au Nunavik, un projet effectué en collaboration avec l'Université de Waterloo et le Centre de recherche du Nunavik. La plupart de ces efforts de mise en valeur visent à simplement retirer les obstacles à la migration et à créer des canaux que les individus revenant de la migration peuvent franchir. Dans la plupart des cas, il s'agissait seulement de retirer les roches du chenal principal. Bien que l'on puisse améliorer les canaux manuellement avec peu de répercussions sur l'environnement, dans certains cas il a fallu utiliser de la petite machinerie. Les obstacles à la migration créés par de faibles écoulements en été peuvent inciter l'omble chevalier à chercher d'autres systèmes où frayer et passer l'hiver ou encore à attendre dans les chenaux des rivières jusqu'à ce qu'ils deviennent franchissables. Les coûts énergétiques associés aux migrations compliquées ou retardées vers l'amont ne sont pas connus, mais ils peuvent inclure des états corporels diminués et un investissement global plus faible dans la reproduction. Ces deux réactions auraient des répercussions évidentes sur les dynamiques des populations subséquentes, possiblement en réduisant l'abondance globale des populations. L'expérience et le succès obtenu de simples projets communautaires d'amélioration des ruisseaux sont encourageants en ce qui a trait aux prédictions de gestion

durable des populations existantes d'omble chevalier dans le contexte des changements climatiques. Dans la plupart des villages du Nunavik, on sait maintenant comment améliorer les ruisseaux et les résidants sont bien placés pour continuer le travail requis pour maintenir le libre accès aux passages migratoires.

Mais ce ne sont pas tous les projets de gestion qui sont petits ou simples. En 1999, la Corporation foncière Nayumivik de Kuujjuaq a entrepris un projet d'aménagement de la rivière Nepihjee. Des chutes situées près de l'embouchure de la rivière empêchaient l'omble chevalier de coloniser le bassin versant et en conséquence on ne pouvait pêcher d'omble anadrome près du village de Kuujjuaq. On a dynamité le substrat rocheux près des chutes pour créer un passage qui permettrait aux poissons de contourner l'obstacle. On a également installé une éclosérie pour faciliter la colonisation de l'omble chevalier au sein du bassin versant et plus d'un demi-million d'alevins élevés avec succès ont été introduits dans les lacs en amont de la rivière Nepihjee. Depuis sa création, le passage a été surveillé annuellement par la Corporation foncière et le Centre de recherche du Nunavik et plus récemment avec le soutien d'un projet scientifique financé par ArcticNet et dirigé par l'Université de Waterloo. L'omble chevalier anadrome migre maintenant en amont de façon régulière, mais avec des nombres variant de 400 à 1 000 individus le bassin versant n'est pas encore en mesure de soutenir la demande communautaire locale. Néanmoins, le projet a créé un grand intérêt au Nunavik et la plupart des villages ont maintenant un lac ou un bassin versant à proximité où ils aimeraient que l'omble chevalier s'installe. La demande d'introductions a augmenté, car les stocks locaux sont soumis à une pression de pêche intensive et les routes menant aux sites éloignés de pêche deviennent de plus en plus imprévisibles à cause des récents changements climatiques. Les projets d'aménagement de l'habitat sont maintenant un outil de gestion majeur au Nunavik.

Bien que les grandes quantités initialement anticipées n'aient pas encore été atteintes, le projet a réussi un certain nombre de premières étapes essentielles. Il a démontré la capacité des initiatives locales à concevoir, élaborer et mettre en

œuvre des projets de gestion proactive visant à établir et gérer des populations durables d'omble chevalier. Dans le contexte des impacts des changements climatiques que l'on prédit, le développement d'un savoir-faire local en gestion est particulièrement encourageant pour la durabilité continue des populations nordiques valorisées. Le projet a aussi donné lieu à plusieurs hypothèses concernant la viabilité des populations d'omble chevalier, lesquelles ont une pertinence particulière pour ceux que la prédiction des répercussions des changements climatiques intéresse. Les retours moins nombreux que prévu peuvent être liés à l'existence d'une communauté de poissons bien établie et diversifiée contenant une dizaine d'autres espèces, incluant d'importants compétiteurs, comme le touladi. Ils peuvent aussi signifier que le poisson provenant de l'écloserie a généralement des taux de survie plus faibles que le poisson sauvage. La complexité de la structure de la communauté peut reléguer l'omble chevalier à une petite niche marginale capable de soutenir seulement quelques individus. Les analogies à cette configuration sont nombreuses dans le sud (p. ex., Power *et al.*, 2002) et elles suggèrent que les changements liés au climat dans la structure de la communauté de poissons peuvent causer une diminution du nombre d'individus dans d'autres systèmes nordiques où l'omble chevalier prédominait autrefois. Il est clair qu'il faut

davantage de recherches pour explorer les facteurs biotiques et abiotiques responsables d'un établissement réussi de nouvelles populations.

7.3.2 Base de données sur l'omble au Nunavik

La clé pour une démarche de gestion active est d'avoir une bonne base d'information. Au Nunavik, on compte environ 250 rivières, lacs et systèmes lacustres qui soutiennent l'omble chevalier ou sont en mesure de le faire. Les ruisseaux et les lacs qui soutiennent actuellement l'omble chevalier fournissent une nourriture de subsistance importante et des occasions de récoltes commerciales à petite échelle pour les communautés locales. Le relèvement isostatique et les changements des précipitations associés aux changements climatiques ont obstrué les voies migratoires de l'omble chevalier dans certains ruisseaux. Au début des années 1980, une équipe d'ichtyologistes de l'Université de Waterloo, en collaboration avec le Centre de recherche du Nunavik, a entrepris de faire l'inventaire des systèmes de rivières et lacs côtiers tout le long du littoral du Nunavik dans le but de catégoriser les bassins versants en fonction de leur aptitude actuelle ou potentielle à soutenir l'omble chevalier anadrome. Le projet a été entrepris pour répondre aux besoins d'information scientifique concernant la distribution de l'omble chevalier au Nunavik ainsi qu'aux besoins de la communauté de connaître l'inventaire des ressources en omble chevalier.

Les rivières ont d'abord été classées comme permettant le libre passage de l'omble chevalier ou ne permettant pas ce passage à cause d'obstacles comme des chutes, des rapides ou des zones très peu profondes. Les obstacles ont été décrits et dessinés ou photographiés aux fins de référence archivistique et ils constituent maintenant une des seules archives détaillées des conditions historiques disponibles dans tout le Nord. Les lacs ont été classés en fonction de leur grandeur, de leur profondeur et de leur aptitude à constituer un habitat d'hiver. D'après les évaluations des rivières et des lacs, les systèmes de drainage ont



alors été classés selon leur aptitude globale de soutien des populations d'omble chevalier, cette information fournissant principalement un guide disponible aux populations, surtout pour les initiatives simples de mise en valeur des cours d'eau. L'information a été publiée dans un livre de référence en matière de gestion et il a subséquemment été numérisé sous les auspices d'ArcticNet dans un système d'information géographique (SIG) détaillé que les organismes communautaires de pêche, chasse et trappe peuvent consulter et mettre à jour par le biais d'un portail Web (encadré 1).

7.4 La santé des populations d'omble chevalier

7.4.1 Dangers potentiels des changements climatiques

Les poissons subarctiques sont adaptés pour vivre dans des milieux rudes et variables avec peu de ressources. Ces milieux sont toutefois continuellement perturbés par un nombre croissant d'interventions humaines associées au développement du Nord qui ont causé de la pollution (p. ex, l'exploitation minière), une eutrophisation accrue des habitats, des obstacles à la migration, de la surpêche et, plus récemment, le réchauffement du climat (Maitland, 1995). De tous ces éléments stressants, c'est le réchauffement climatique qui a le plus grand potentiel d'affecter les poissons et leurs habitats dans la région subarctique. La capacité d'adaptation des poissons au climat en changement variera selon la population et dépendra de l'intensité et de l'ampleur des autres éléments de stress qui affectent l'environnement local. Par conséquent, il est difficile d'élaborer un scénario prédictif général. Lorsqu'on considère les projections d'augmentations de 3 à 5 °C des températures annuelles moyennes prévues d'ici 2050 (Brown *et al.*, 2011), trois grands résultats possibles se dessinent pour les populations subarctiques de l'omble chevalier : 1) une disparition locale découlant des stress thermiques ou d'une pression de compétition accrue; 2) une abondance

Encadré 1.

Le système SIG est constamment mis à jour au fur et à mesure que de nouvelles données sont recueillies, tout particulièrement en ce qui concerne l'inclusion des connaissances écologiques traditionnelles (CET). Les renseignements sur l'emplacement des populations, leur présence ou absence, leur abondance, les habitats de fraie et d'hivernage, les lacs exploités, les routes et sentiers reliés aux sites de pêche et les dangers afférents sont maintenant inclus dans la base de données. On s'attend à ce que cette base de données serve d'outil de gestion pertinent de plusieurs façons. D'abord, elle sera utilisée pour un service détaillé de cartographie où l'on pourra s'enquérir des routes et des lieux de pêche. En deuxième lieu, la base de données aidera à mieux comprendre quels facteurs environnementaux ont la plus grande influence sur la distribution de l'omble chevalier et sur son succès au Nunavik. En l'utilisant et en la maintenant à jour, on s'attend à ce que la base de données nous aide à mieux comprendre les tendances temporelles dans la distribution et l'abondance de l'omble chevalier, aidant ainsi à compenser le manque persistant d'études dans le passé, ce qui a limité notre capacité à prédire avec précision les conséquences des changements environnementaux à grande échelle qui découlent des changements climatiques. En dernier lieu, la base de données s'est déjà révélée utile pour la classification et la planification des activités de mise en valeur des ruisseaux. Avec ces mises à jour continues, comme les données détaillées fournies par les communautés, l'outil permettra de concevoir et mettre en œuvre les initiatives de gestion adaptative qui sont nécessaires dans le contexte des changements climatiques pour assurer la durabilité de toutes les populations d'omble chevalier au Nunavik.



SIG du potentiel des ruisseaux pour l'introduction de l'omble chevalier.

locale réduite découlant d'un mouvement vers le nord de l'aire de distribution géographique d'un pathogène ou d'une espèce compétitrice; 3) une abondance locale accrue découlant de meilleures conditions thermiques associées au réchauffement climatique (Lehtonen, 1996; Reist *et al.*, 2006 a, b).

Les populations dans les bassins versants qui se drainent vers le nord peuvent être exposées à de nouvelles espèces et de nouveaux pathogènes qui sont capables de changer leur distribution géographique vers le nord des suites du réchauffement climatique, éliminant les obstacles thermiques qui affectent les étapes biologiques critiques. L'arrivée de nouvelles espèces et de nouveaux pathogènes va probablement causer une diminution du nombre d'ombles habitant les lacs, voire éliminer ces populations dans certains cas. Dans les bassins versants qui se drainent vers l'est ou l'ouest, les augmentations de température liées au climat peuvent être compensées par des mouvements en altitude des populations d'omble chevalier, là où les obstacles aux mouvements vers les eaux d'amont n'existent pas. Les répercussions des changements climatiques sur les populations d'omble chevalier vont varier dans l'ensemble de la région du nord du Québec et du Labrador, les populations situées à la limite sud étant celles qui risquent d'être les plus affectées par des températures plus chaudes et l'introduction de nouvelles espèces et de nouveaux pathogènes. Des études théoriques sur les changements climatiques ont suggéré que le réchauffement planétaire va augmenter le nombre de niches thermiques disponibles pour les poissons, à cause des saisons plus longues sans glace ou le maintien de températures optimales ou presque optimales pour la croissance des poissons (p. ex., Magnuson *et al.*, 1990). Donc, bien que les populations d'omble chevalier dans le sud de la région subarctique puissent être confrontées à une moins grande disponibilité d'habitats thermiques adéquats et à de nouvelles populations de compétiteurs, les populations dans le nord de la région subarctique pourraient jouir d'une plus grande disponibilité d'habitats thermiques adéquats et conséquemment subir des effets positifs des changements climatiques (Reist *et al.*, 2006 a, b).

La capacité de prédire les effets des changements de l'écosystème liés au climat sur les populations d'omble chevalier dans la région subarctique est limitée par le manque d'études à long terme sur les populations existantes et le manque de comparaisons spatiales rapidement disponibles et utilisables (p. ex., Fraser et Power, 1989; Power *et al.*, 2009). Dans le nord du Québec et du Labrador, les communautés de salmonidés en général sont contrôlées par les conditions climatiques et environnementales, la température étant le facteur le plus vraisemblable pour expliquer la distribution d'une espèce donnée (Power, 1990). Le réchauffement climatique peut changer la disponibilité des habitats pour tous les salmonidés, pas seulement pour l'omble chevalier, déplaçant vers le nord les distributions de nombreux salmonidés au Québec et au Labrador.

7.4.2 Problèmes possibles de contamination

Au cours des dernières décennies, il y a eu augmentation de la quantité des polluants organiques persistants (POP) et de métaux, comme le mercure (Hg), distribués à grande échelle dans les écosystèmes aquatiques subarctiques par le transport atmosphérique sur de longues distances (Macdonald *et al.*, 2000). Dans certains bassins versants, les dépôts atmosphériques peuvent être accrus par les activités minières locales, bien qu'en général le transport sur de longues distances demeure la voie d'exposition préoccupante. Puisque les changements climatiques vont invariablement affecter les patrons de circulation mondiale, ils auront des implications directes sur les courants mondiaux existants qui déplacent actuellement les contaminants vers le nord. Parmi les contaminants préoccupants, les POP et le Hg semblent être ceux qui ont le plus grand potentiel de changer les écosystèmes d'eau douce habités par l'omble chevalier (Macdonald *et al.*, 2003). Peu d'études ont été réalisées sur les impacts possibles des POP sur l'omble chevalier, même si des prédictions généralisées ont été faites dans le contexte des *Évaluations des impacts sur le climat de l'Arctique* et les publications connexes, diffusées à grande échelle (p. ex., Wrona *et al.*, 2006 a, b). En général, on prédit que les augmentations de température et de précipitations

(voir le chapitre 2, Brown *et al.*, 2011) vont augmenter les retombées de contaminants dans la région subarctique, donnant lieu à une augmentation des dangers liés à la consommation d'aliments traditionnels par les humains. Les récentes études paléolimnologiques indiquent que le réchauffement planétaire donne lieu à une productivité accrue qui a augmenté la libération des BPC et du mercure dans les sédiments lacustres (Stern *et al.*, 2005; Outridge *et al.*, 2007), bien que d'autres études sur les flux de mercure n'aient pas corroboré ces constats (p. ex., Muir *et al.*, 2009).

7.4.3 Vulnérabilité aux maladies

Avec les augmentations de température dues aux changements climatiques, les températures plus élevées vont probablement causer des éclosions accrues de parasites pathogènes qui affectent les poissons résidants (Marcogliese, 2001). Les poissons déjà soumis à un stress physiologique par les températures d'eau plus chaudes auront probablement une moins grande résistance aux maladies (Jonsson et Jonsson, 2009), avec comme effet net une mortalité accrue de poissons. En outre, les poissons malades sont plus vulnérables à la prédation et moins en mesure d'effectuer leurs fonctions essentielles, comme s'alimenter, migrer et défendre leur territoire, ce qui peut causer une baisse de la croissance et de la fécondité. Les réductions de croissance ou de fécondité auront des conséquences sur les dynamiques de population et l'abondance globale d'une population précise de poissons dans un endroit donné. Pour les populations humaines qui dépendent de l'omble chevalier comme source de nourriture, les déclinés connexes en abondance signifieront de plus grandes difficultés d'accès à leur ressource alimentaire préférée ou nécessaire.

Les détails des effets des maladies sur une population seront toutefois difficiles à prédire. Les pathogènes dépendent des conditions abiotiques et biotiques qui prévalent dans l'environnement où ils se trouvent. La prédiction des répercussions des changements climatiques sur la vulnérabilité aux pathogènes est complexe et dépend du contexte (Marcogliese, 2001). Par exemple, pour bien comprendre les effets possibles des pathogènes sur une

population de poissons, on devrait connaître les modifications qui se produisent dans la distribution de l'hôte intermédiaire, les niveaux d'eau du lac, l'eutrophisation et le potentiel de stratification, la couverture de glace, l'acidification, la pénétration du rayonnement ultraviolet et les extrêmes climatiques (Marcogliese, 2001). En général, on croit que les augmentations des températures de l'eau liées au climat affecteront la physiologie des parasites en augmentant leurs taux de développement et en réduisant la durée de leur cycle de vie. On peut supposer que des taux plus rapides de développement des parasites feront augmenter le fardeau parasitaire sur les poissons ce qui causera probablement un déclin de l'état des poissons et une augmentation de la mortalité due aux parasites (Marcogliese, 2001). Les introductions de nouveaux parasites facilitées par le climat vont aussi augmenter les défis auxquels seront confrontées les espèces de poissons endémiques dans la région du nord du Québec et du Labrador. À long terme, les changements climatiques vont probablement influencer la vulnérabilité des poissons aux pathogènes uniquement à cause des différences dans la résistance aux maladies dont ils auront hérité (Jonsson et Jonsson, 2009). Il est cependant moins certain que de tels changements seront critiques pour la viabilité continue des populations de poissons, puisqu'on connaît peu de choses sur leurs effets sur les populations de poissons subarctiques. Presque tout ce que l'on sait sur les maladies des poissons est basé sur des expériences effectuées en aquiculture. Il est donc bien évident que nous avons besoin de plus de connaissances sur les effets possibles des pathogènes sur les populations de poissons en milieu naturel. Quoi qu'il en soit, le moins bon état ou la moins grande abondance d'omble chevalier rendra le poisson soit moins appétissant comme source de nourriture soit généralement moins facilement accessible aux habitants du Nord.

7.5 Conclusion

Selon les études théoriques sur les changements climatiques, le réchauffement planétaire augmentera les niches thermiques pour de nombreuses espèces de poissons nordiques à cause des saisons de plus longue

durée ou de plus importants volumes d'eau à la température optimale ou presque optimale pour la croissance (Reist *et al.*, 2006a, b). Les analyses bioénergétiques ont aussi indiqué qu'il y aura une augmentation de la croissance et les individus ayant atteint de telles tailles seront sensibles à la consommation de proies et à la thermorégulation comportementale (Hill et Magnuson, 1990). Bon nombre des poissons des latitudes plus au sud vont probablement étendre leur distribution géographique dans la région du nord du Québec et du Labrador, forçant une contraction connexe de la distribution sténothermique des poissons nordiques, comme l'omble chevalier, en réponse aux changements des niches thermiques. Les changements afférents dans l'abondance relative des espèces de poissons vont aussi probablement avoir des effets descendants sur la composition et l'abondance des espèces à des niveaux trophiques inférieurs. L'omble chevalier va probablement être sensible à de tels changements et pourrait être déplacé localement dans bon nombre d'endroits (Reist *et al.*, 2006a, b).

Les prédictions généralisées susmentionnées donnent à penser que les changements climatiques vont induire des changements variés et complexes dans les populations d'omble chevalier dans toute la région du nord du Québec et du Labrador. Les constats des quelques études qui existent sur l'influence de l'environnement sur l'omble chevalier au Canada (p. ex, Power *et al.*, 2000; Power *et al.*, 2005; Chavarie *et al.*, 2010; Michaud *et al.*, 2010) indiquent de claires influences de l'environnement sur les caractéristiques biologiques des populations d'omble chevalier. La température et les précipitations sont les plus importantes influences environnementales à cause de leurs effets respectifs sur le métabolisme des poissons et l'opportunité d'acquérir des surplus d'énergie pour la croissance. Puisque les changements climatiques vont affecter ces deux variables environnementales, par des augmentations des températures estivales et hivernales en degrés-jours totaux et par une diminution de la durée de la saison de neige (p. ex, chapitre 2; Brown *et al.*, 2011), on peut s'attendre à ce que les effets liés au climat sur le cycle biologique et la biologie des populations résidentes

d'omble chevalier soient intenses et importants. Les répercussions différentes du réchauffement climatique sur la terre, comparativement à en mer, donnent à penser que les populations lacustres seront les plus affectées. Néanmoins, les milieux en changement auront des répercussions variées sur les différentes populations d'omble chevalier; elles dépendront de l'ampleur et des caractéristiques spécifiques des répercussions locales qui se produisent et elles pourraient être contrebalancées par l'adaptation des populations aux nouvelles conditions environnementales. L'omble chevalier, en particulier, est connu pour être sensible à des changements mineurs dans les milieux abiotiques et biotiques qu'il habite. Il devrait probablement connaître des variations importantes dans la longueur et le poids moyens selon l'âge en raison de sa réaction plus rapide aux variations environnementales induites par le climat que d'autres espèces de poissons, comme le meunier rouge. Pour comprendre et maintenir une pêche durable d'omble chevalier dans toute la région du nord du Québec et du Labrador, il faut élaborer des modes de gestion appropriés pour tenir compte des effets probables des variations et des changements climatiques qui sont propres à la population. De tels modes de gestion bien conçus dépendront de la disponibilité de données adéquates à long terme. Malheureusement, à l'exception des études réalisées à Nain, au Labrador, il n'y a pas encore d'études à long terme sur l'omble chevalier. Comme l'ont indiqué les études ayant utilisé la base de données de Nain (p. ex., Power *et al.*, 2000; Power *et al.*, 2005; Michaud *et al.*, 2010), la disponibilité de données à long terme a facilité les commentaires concernant les impacts possibles des changements environnementaux intenses sur les populations d'omble chevalier de haute valeur. Par conséquent, il est utile d'obtenir les données de pêche à long terme et de prolonger les programmes dans le Nord pour acquérir des données environnementales correspondantes aux données de pêche. Cela devrait être encouragé pour aider à mieux comprendre les changements environnementaux à long terme, y compris les changements climatiques, sur l'omble chevalier et les autres ressources clés de la pêche dans le Nord.



7.6 Références

ACIA (Arctic Climate Impact Assessment). 2005. Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1042 pp.

Adams, C. E., Fraser, D., Huntingford, F. A., Greer, R. B., Askew, C. M., et Walker, A. F. 1998. Trophic polymorphism amongst Arctic charr from Loch Rannoch, Scotland. *Journal of Fish Biology*, 52:1259-1271.

Andrews, C.W., et Lear, E. 1956. The biology of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) in northern Labrador. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 13:843-860.

Atkinson, D. B., Rose, G. A., Murphy, E. F., et Bishop, C.A. 1997. Distribution changes and abundance of northern cod (*Gadus morhua*), 1981-1993. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 54:132-138.

Baker, R. 1983. The effects of temperature, ration and size on the growth of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). M.Sc. Thesis, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, 227 pp.

Baroudy, E., et Elliott, J. M. 1994. The critical thermal limits for juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Journal of Fish Biology*, 45:1041-1053.

Bebak, J., Hankins, J. A., et Summerfelt, S. T. 2000. Effect of water temperature on survival of eyed eggs and alevins of Arctic Char. *North American Journal of Aquaculture*, 62:139-143.

Beltaos, S., et Prowse, T. D. 2000. Climate impacts on extreme ice jam events in Canadian rivers. Report to the Canadian National Committee for the International Hydrological Program as part of a contribution to UNESCO/IHP summarizing Canadian expertise in Hydrological Sciences. Burlington, Ontario.

Berg, O. K., et Berg, M. 1989. Sea growth and time of migration of anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from the Vardnes River in northern Norway. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46:955-960.

Blumberg, A. F., et Di Toro, D. M. 1990. Effects of climate warming on dissolved oxygen concentrations in Lake Erie. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119:210-223.

Brown, R., Barrette, Chaumont, D., Allard, M., Bell, T., Bernier, M., Bleau, S., Frigon, A et Paquin, D. 2011. Climate and climate projections for the Eastern Subarctic IRIS region. In Allard et Lemay (2011), Implications of changing natural and socio-economic environments: an Integrated Regional Impact Study (IRIS) of the Canadian

- Eastern Subarctic region. ArcticNet Inc., Québec City, Canada.
- Carscadden, J. E., Frank, K. T., et Leggett, W. C. 2001. Ecosystem changes and the effects on capelin (*Mallotus villosus*), a major forage species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58:73-85.
- Chavarie, L., Dempson, J. B., Schwarz, C. J., Reist, J. D., Power, G., et Power, M. 2010. Latitudinal variation in growth among Arctic charr in eastern North America: evidence for countergradient variation? *Hydrobiologia*, doi:10.1007/s10750-009-0043-z
- Clarke, A. 1996. The influence of climate change on the distribution and evolution of organisms. *Society for Experimental Biology Seminar Series*, 59:377-407.
- deMarch, B. G. E. 1995. Effects of incubation temperature on the hatching success of Arctic char eggs. *The Progressive Fish Culturist*, 57:132-136.
- Dempson, J. B. 1995. Trends in population characteristics of an exploited anadromous Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, stock in northern Labrador. *Nordic Journal Freshwater Research*, 71:197-216.
- Dempson, J. B., et Kristofferson, A. H. 1987. Spatial and temporal aspects of the ocean migration of anadromous Arctic char. In: Dadswell, M. J., Klauda, R. J., Moffitt, C. M., Saunders, R. L., Rulifson, R. A., et Cooper, J. E. (Eds). *Common strategies of anadromous and catadromous fishes*. American Fisheries Society Symposium 1, pp. 340-357.
- Dempson, J. B., Shears, M., Furey, G., et Bloom, M. 2008. Resilience and stability of north Labrador Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, subject to exploitation and environmental variability. *Environmental Biology of Fishes*, 82:57-67.
- Doucett, R. R., Power, M., Power, G., Caron, F., et Reist, J. D. 1999. Evidence for anadromy in a southern relict population of Arctic Char, *Salvelinus alpinus*, from North America. *Journal of Fish Biology*, 55: 84-93.
- Dumont, P., Bergeron, J. F., Dulude, P., Mailhot, Y., Rouleau, A., Ouellet, G., et Lebel, J.-P. 1988. Introduced salmonids: where are they going in Québec watersheds of the Saint-Laurent River? *Fisheries*, 13: 9-17.
- Fields, R., Lowe, S. S., Kaminski, C., Whitt, G. S., et Philipp, D. P. 1987. Critical and chronic thermal maxima of northern and Florida large mouth bass and their reciprocal F1 and F2 hybrids. *Transactions of the American Fisheries Society*, 116:856-863.
- Fleming, I. A., et Gross, M. R. 1990. Latitudinal clines: a trade-off between egg number and size in Pacific salmon. *Ecology*, 71:1-11.
- Fletcher, G.L., Kao, M.H., Dempson, J. B. 1988. Lethal freezing temperatures of Arctic char and other salmonids in the presence of ice. *Aquaculture*, 71: 369-378.
- Fraser, N.C., et Power, G. 1989. Influences of lake trout on lake-resident Arctic char in northern Québec, Canada. *Transactions of the American Fisheries Society*, 118:36-45.
- Gillet, C. 1991. Egg production in an Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) brood stock: effects of temperature on the timing of spawning and quality of eggs. *Aquatic Living Resources*, 4:109-116.
- Griffiths, D. 1994. The size structure of lacustrine Arctic charr (*Pisces: Salmonidae*) populations. *Biological Journal of the Linnean Society*, 51:337-57.
- Hammar, J. 1998. Interactive asymmetry and seasonal niche shifts in sympatric Arctic Char (*Salvelinus alpinus*) and brown trout (*Salmo trutta*): evidence from winter diet and accumulation of radiocesium. *Nordic Journal of Freshwater Research*, 74:33-64.
- Hill, D. K., et Magnuson, J. J. 1990. Potential effects of global climate warming on the growth and prey consumption of Great lakes fish. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119:265-275.
- Hindar, K., et Jonsson, B. 1982. Habitat and food segregation of dwarf and normal Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) from Vangsvatnet Lake, western Norway. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39:1030-1045.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: Synthesis Report*. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the

- Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (Eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 398 pp.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R. K., et Reisinger, A. (Eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Jensen, J. W. 1981. Anadromous Arctic char, *Salvelinus alpinus*, penetrating southward on the Norwegian coast. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38:247-249.
- Jensen, A. J., Johnsen, B. O., et Saksgard, L. 1989. Temperature requirements in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Brown trout (*Salmo trutta*) and Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from hatching to initial feeding compared with geographic distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46:786-789.
- Jobling, M. 1983. Influence of body weight and temperature on growth rates of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.). *Journal of Fish Biology*, 22:471-475.
- Jobling, M. 1997. Temperature and growth: modulation of growth rate via temperature change. In: Wood, C. M., et D. G. McDonald (Eds). *Global warming: implications for freshwater and marine fish*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., p. 225-253.
- Jobling, M., Jørgensen, E. H., Arensen, A. M., et Ringö, E. 1993. Feeding, growth and environmental requirements of Arctic charr: a review of aquaculture potential. *Aquaculture International*, 1:20-46.
- Johnson, L. 1976. Ecology of arctic population of lake trout, *Salvelinus namaycush*, lake whitefish, *Coregonus clupeaformis*, Arctic charr, *S. alpinus*, and associated species in unexploited lakes of the Canadian Northwest Territories. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 33:2459-2488.
- Johnson, L. 1980. The Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. In: Balon, E. K. (Ed.). *Charrs: salmonid fishes of the genus Salvelinus*. The Hague, p. 15-98.
- Johnson, L. 1983. Homeostatic characteristics of single species fish stocks in Arctic lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40:987-1024.
- Johnson, L. 1995. Systems for survival: of ecology, morals and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Nordic Journal of Freshwater Research*, 71: 9-22.
- Jonsson, B., et Jonsson, N. 2009. A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of Fish Biology*, 75:2381-2447
- Jonsson, B., Forseth, T., Jensen, A. J., et Næsje, F. 2001. Thermal performance of juvenile Atlantic Salmon, *Salmo salar* L. *Functional Ecology*, 15:701-711.
- Klemetsen, A., Amundsen, P.-A., Knudsen, R., et Hermansen, B. 1997. A profundal, winter-spawning morph of Arctic charr *Salvelinus alpinus* in Lake Fjellfrøvatn, northern Norway. *Nordic Journal of Freshwater Research*, 73:13-23.
- Klemetsen, A., Amundsen, P.-A., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M. F., et Mortensen, E. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish*, 12:1-59.
- Larsson, S., et Berglund, I. 1998. Growth and food consumption of 0+ Arctic charr fed on pelleted or natural food at six different temperatures. *Journal of Fish Biology*, 52:230-242.
- Larsson, S., Forseth, T., Berglund, I., Jensen, A. J., Näslund, I., Elliott, J. M., et Jonsson, B. 2005. Thermal adaptation of Arctic charr: experimental studies of growth in eleven charr populations from Sweden, Norway and Britain. *Freshwater Biology*, 50:353-368.
- Lehtonen, H. 1996. Potential effects of global warming on northern European freshwater fish and fisheries. *Fisheries Management and Ecology*, 3:59-71.
- Lehtonen, H. 1998. Does global warming threaten the existence of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (Salmonidae),

- in northern Finland? *Italian Journal of Zoology*, 65 Supplement: 471-474.
- Macdonald, R. W., Barrie, L. A., Bidleman, T. F., Diamond, M. L., Gregor, D. J., Semkin, R. G., Strachan, W. M. J., Li, Y.-F., Wania, F., Alaee, M., Alexeeva, L. B., Backus, S. M., Bailey, R., Bewers, J. M., Gobeil, C., Halsall, C. J., Harner, T., Hoff, J. T., Jantunen, L. M. M., Lockhart, W. L., Mackay, D., Muir, D. C. G., Pudykiewicz, J., Reimer, K. J., Smith, J. N., Stern, G. A., Schroeder, W. H., Wagemann, R., et Yunker, M. B. 2000. Contaminants in the Canadian Arctic: 5 years of progress in understanding sources, occurrence and pathways. *Science of the Total Environment*, 254:93-234.
- Macdonald, R. W., Mackay, D., Li, Y.-F., et Hickie, B. 2003. How will global climate change affect risks from long-range transport of persistent organic pollutants? *Human and Ecological Risk Assessment*, 9:43-660.
- Magnuson, J. J., Meisner, J. D., et Hill, D. K. 1990. Potential changes in the thermal habitat of Great lakes fish after global climate warming. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119:254-264.
- Maitland, P. S. 1995. World status and conservation of the Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.). *Nordic Journal of Freshwater Research*, 71:113-127.
- Mann, K. H., et Drinkwater, K. F. 1994. Environmental influences on fish and shellfish production in the Northwest Atlantic. *Environmental Reviews*, 2:16-32.
- Marcogliese, D. J. (2001). Implications of climate change for parasitism of animals in the aquatic environment. *Canadian Journal of Zoology*, 79:1331-1352.
- Martin, N. V., et Olver, C. H. 1980. The lake charr, *Salvelinus namaycush*. In: Balon, E. K. (Ed.). *Charrs: salmonid fishes of the genus Salvelinus*. The Hague, p. 205-277.
- Michaud, W., Dempson, J. B., et Power, M. 2010. Changes in growth patterns of wild Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) in response to fluctuating environmental conditions. *Hydrobiologia*, doi:10.1007/s10750-010-0091-4
- Muir, D. C. G., Wang, X., Yang, F., Nguyen, N., Jackson, T. A., Evans, M. S., Douglas, M., Kock, G., Lamoureux, S., Pienitz, R., Smol, J. P., Vincent, W. F., et Dastoor, A. P. 2009. Spatial trends and historical deposition of mercury in eastern and northern Canada inferred from lake sediment cores. *Environmental Science and Technology*, 43:4802-4809.
- Nordeng, H. 1983. Solution to the "char problem" based on Arctic char (*Salvelinus alpinus*) in Norway. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40:1372-1387.
- O'Connell, M. F., et Dempson, J. B. 1996. Spatial and temporal distributions of salmonids in two ponds in Newfoundland, Canada. *Journal of Fish Biology*, 48:738-757.
- O'Connell, M. F., et Dempson, J. B. 2002. The biology of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, of Gander Lake, a large, deep, oligotrophic lake in Newfoundland, Canada. *Environmental Biology of Fishes*, 64:115-26.
- Outridge, P. M., Sanei, L. H., Stern, G. A., Hamilton, P. B., et Goodarzi, F. 2007. Evidence for control of mercury accumulation rates in Canadian High Arctic lake sediments by variations in aquatic productivity. *Environmental Science and Technology*, 41:5259-65
- Parker, H. H., et Johnson, L. 1991. Population structure, ecological segregation and reproduction in non-anadromous Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), in four unexploited lakes in the Canadian High Arctic. *Journal of Fish Biology*, 38:123-147.
- Power, G. 1990. Salmonid communities in Quebec and Labrador: temperature relations and climate change. *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 37:13-28.
- Power, G. 2002. Charrs, glaciations and seasonal ice. *Environmental Biology of Fishes*, 64:17-35.
- Power, G., et Barton, D. R. 1987. Some effects of physiographic and biotic factors on the distribution of anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*) in Ungava Bay, Canada. *Arctic*, 40:198-203.
- Power, M., Dempson, J. B., Power, G., et Reist, J. D. 2000. Climatic influences on an exploited Arctic char (*Salvelinus alpinus*) stock in Labrador. *Journal of Fish Biology*, 57:82-98.

- Power, M., Dempson, J. B., Reist, J. D., Schwarz, C. J., et Power, G. 2005. Latitudinal variation in fecundity among Arctic char populations in eastern North America. *Journal of Fish Biology*, 67:255-273.
- Power, M., Power, G., Caron, F., Doucett, R. R., et Guiguer, K. R. A. 2002. Growth and dietary niche in *Salvelinus alpinus* and *Salvelinus fontinalis* as revealed by stable isotope analysis. *Environmental Biology of Fishes*, 64:75-85.
- Power, M., Power, G., Reist, J. D., et Bajno, R. 2009. Ecological and genetic differentiation among the Arctic charr of Lake Aigueau, Northern Québec, *Ecology of Freshwater Fish*, 18:445-460.
- Power, M., Reist, J. D., et Dempson, J. B. 2008. Fish in high latitude Arctic lakes. In: Vincent, W. F., et Laybourn-Parry, J. (Eds) *Polar Lakes and Rivers – Limnology of Arctic and Antarctic Aquatic Ecosystems*. Oxford University Press, Oxford, U.K., p. 249-268.
- Reist, J. D., Gyselman, E., Babaluk, J. A., Johnson, J. D., et Wissink, R. 1995. Evidence for two morphotypes of Arctic char (*Salvelinus alpinus* (L.)) from Lake Hazen, Ellesmere Island, Northwest Territories, Canada. *Nordic Journal of Freshwater Research*, 71:396-410.
- Reist, J. D., Wrona, F., Prowse, T. D., Power, M., Dempson, J. B., Beamish, R. J., King, J. R., Carmichael, T. J., et Sawatzky, C. D. 2006a. General effects of climate change on Arctic fishes and fish populations. *Ambio*, 35:370-380.
- Reist, J. D., Wrona, F., Prowse, T. D., Power, M., Dempson, J. B., King, J. R., et Beamish, R. J. 2006b. An overview of effects of climate change on selected Arctic freshwater and anadromous fishes. *Ambio*, 35:381-387.
- Reist, J. D., Wrona, F. J., Prowse, T. D., Dempson, J. B., Power, M., Köck, G., Carmichael, T. J., Sawatzky, C. D., Lehtonen, H., et Tallman, R. F. 2006c. Effects of climate change and UV radiation on fisheries for Arctic freshwater and anadromous species. *Ambio*, 35:402-410.
- Rose, G. A., deYoung, B., Kulka, D. W., Goddard, S. V., et Fletcher, G. L. 2000. Distribution shifts and overfishing the northern cod (*Gadus morhua*): a view from the ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57:644-663.
- Schertzer, W. M., et Sawchuk, A. M. 1990. Thermal structure of the lower Great Lakes in a warm year: implications for the occurrence of hypolimnion anoxia. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119:195-209.
- Sinclair, A. F., Swainand, D. P., et Hanson, J. M. 2002. Disentangling the effects of size-selective mortality, density, and temperature on length-at-age. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 59:372-382.
- Stern, G. A., Braekevelt, E., Helm, P. A., Bidleman, T. F., Outridge, P. M., Lockhart, W. L., Mcneely, R., Rosenberg, B., Ikonou, M. G., Hamilton, P., Tomy, G. T. et Wilkinson, P. 2005. Modern and historical fluxes of halogenated organic contaminants to a lake in the Canadian Arctic, as determined from annually laminated sediment cores. *Science of the Total Environment*, 342:223-243.
- Swift, D.R. 1964. The effect of temperature and oxygen on the growth of Windermere charr (*Salvelinus alpinus* Wilughbii). *Comparative Biochemistry and Physiology* 12, 179-183.
- Wrona, F. J., Prowse, T. D., Reist, J. D., Hobbie, J. E., Levesque, L. M. J., et Vincent, W. F. 2006a. Climate change effects on aquatic biota, ecosystem structure and function. *Ambio*, 35:359-369.
- Wrona, F. J., Prowse, T. D., Reist, J. D., Hobbie, J. E., Levesque, L. M. J., Macdonald, R. W., et Vincent, W. F. 2006b. Effects of ultraviolet radiation and contaminant-related stressors on Arctic freshwater ecosystems. *Ambio*, 35:388-401.



Chapitre 8. Évolution dynamique de la végétation et ses répercussions sur la productivité des petits fruits

Auteurs principaux

Esther Lévesque¹, Luise Hermanutz², José Gérin-Lajoie¹

¹Département de chimie-biologie, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, QC;

²Département de biologie, Université Memorial, St. John's, T.-N.

Coauteurs

T. Bell, S. Boudreau, A. Cuerrier, J. Jacobs, C. Laroque, C. Lavallée, L. Siegart Collier et B. Tremblay

Résumé

À mesure que l'on monte vers le nord et en altitude, la végétation du Nunavik et du Nunatsiavut passe de la limite de la zone arborée à la toundra alpine et arctique. Les changements climatiques actuels et prévus favorisent la croissance des arbustes et l'expansion de la limite forestière, mais pas de façon uniforme. Les recherches ont documenté une tendance croissante de couvert forestier constitué de bouleaux nains et de saules de même qu'une expansion des mélèzes en altitude. Avec de meilleures conditions de croissance (comme des températures estivales plus chaudes et un plus grand nombre de degrés-jours de croissance) qui favorisent la production accrue de graines viables et le recrutement des semis, on s'attend à ce que les arbres s'étendent peu à peu au-delà des limites actuelles. Cependant, étant donné la nature hautement variable des facteurs abiotiques et biotiques dans l'ensemble de la région, on ne connaît pas actuellement l'étendue et le rythme du changement de la limite forestière. Les changements dans la distribution des arbustes devraient modifier la distribution de la neige et sa persistance au sol, affectant ainsi le pergélisol, la rétroaction dans l'atmosphère (p. ex., un albédo modifié), la végétation, la faune et les routes de transport des humains.

Les saisons de croissance plus chaudes et plus longues n'auront pas nécessairement des effets positifs sur la croissance et la productivité de tous les plants producteurs de petits fruits. Les arbustes à petits fruits qui ont une croissance prostrée ou naine feront face à une plus grande compétition des arbustes plus érigés et plus grands, comme le bouleau nain et le saule. Si les étés deviennent plus secs, le manque d'humidité pourrait aussi compromettre leur capacité à produire des petits fruits en grande quantité. Les changements dans les précipitations dans l'ensemble de la région demeurent incertains, mais l'on sait que la productivité des petits fruits est affectée par la quantité de précipitations et le moment où elles surviennent, par les vents et par les événements extrêmes (p. ex., des gels tardifs au printemps). Les espèces de petits fruits qui ont la plus forte productivité en plein soleil (tout particulièrement l'airelle vigne d'Ida/airelle rouge et l'airelle des marécages/bleuet) vont fort probablement décliner sous un couvert arbustif accru, bien que le caractère épars de la végétation arctique devrait permettre à d'autres espèces plus tolérantes à l'ombre partielle, comme la camarine noire et la chicouté/plaquebrière, de profiter de ces conditions changeantes.

D'autres études sont nécessaires pour comprendre les rétroactions des changements à la limite forestière et arbustive sur les écosystèmes et pour évaluer comment les régimes de perturbations vont varier en réponse aux changements climatiques, y compris s'il y aura augmentation des infestations d'insectes et des incendies et comment cela se produira. Il existe des incertitudes majeures quant à la façon dont les changements environnementaux vont affecter les interactions biotiques entre la végétation et les animaux, les herbivores (insectes et vertébrés) et les pollinisateurs.

Les habitants du Nord ont observé des changements dans leur environnement, dans le passé comme en ce moment, et ils ont ajusté leurs activités de cueillette de petits fruits à la forte variabilité spatiale et interannuelle de productivité des fruits. L'observation continue à l'échelle communautaire est un outil important pour permettre la collecte de données à long terme, données qui sont essentielles pour réduire les incertitudes actuelles concernant la productivité des petits fruits. Soutenu à long terme, un tel suivi va permettre aux résidents du Nord de suivre les changements environnementaux dans leur communauté et d'adopter des stratégies d'adaptation sur mesure qui seront appropriées pour leur région. Les ensembles de données à plus long terme d'un vaste éventail de sites aideront les chercheurs et les communautés et amélioreront grandement les capacités prédictives scientifiques. Cela aidera conséquemment à choisir des secteurs à protéger du développement et à faciliter l'accès à des sites de qualité pour cette activité importante sur le plan culturel.

8.1 Introduction

La végétation au Nunavik et au Nunatsiavut s'étend de la limite nord de la forêt boréale à la toundra arctique. La zone de transition entre forêt et toundra passe d'un couvert forestier fermé et abondant à des bosquets boisés, puis des îlots d'arbres isolés et finalement aux krummholz, qui sont des arbres rabougris ressemblant à des arbustes (Payette, 1983). Cette zone complexe de transition est appelée l'écotone forêt-toundra et elle peut être soudaine avec une transition abrupte entre la forêt et la toundra ou encore graduelle avec des forêts se changeant petit à petit en toundra arbustive sur de grandes distances (Payette *et al.*, 2001; Harsh *et al.*, 2009). Les contrôles climatiques sur l'emplacement et les caractéristiques de la limite de la zone forestière augmentent en complexité près des côtes, comme le montre la limite de la zone forestière au Nunatsiavut (Payette, 2007; Hallinger *et al.*, 2010; Kennedy *et al.*, 2010) (figure 1).

L'écotone forêt-toundra est très sensible aux changements des conditions environnementales (Payette et Lavoie, 1994); dans tout le Canada on constate que des arbres et des arbustes s'étendent vers le nord et en altitude dans la zone de toundra en réponse aux changements climatiques (Payette *et al.*, 2001; Danby et Hik, 2007; Harper *et al.*, 2011). Dans les zones arctiques, les arbustes augmentent en taille et en densité et ils s'étendent dans les zones de toundra herbacée. On s'attend à ce que ces changements dans la distribution des arbustes altèrent la façon dont la neige se répartit au sol et la durée de sa présence au sol, affectant ainsi le pergélisol, la végétation, la faune et les voies de transport des humains, et en ayant aussi des rétroactions dans l'atmosphère, notamment par le biais de l'échange de gaz à effet de serre.

Les arbustes pourraient devenir des « plantes compagnes » pour les arbres, accélérant leur expansion dans la toundra (Cranston, 2009). Toutefois, les arbustes peuvent former des taillis denses qui ne sont pas nécessairement adéquats pour l'établissement et la survie de jeunes arbres. Les arbustes plus grands, comme le bouleau glanduleux (*Betula glandulosa*, dit aussi bouleau nain), l'aulne (*Alnus spp.*) et le saule (*Salix spp.*), peuvent aussi faire de l'ombre aux arbustes plus petits, comme

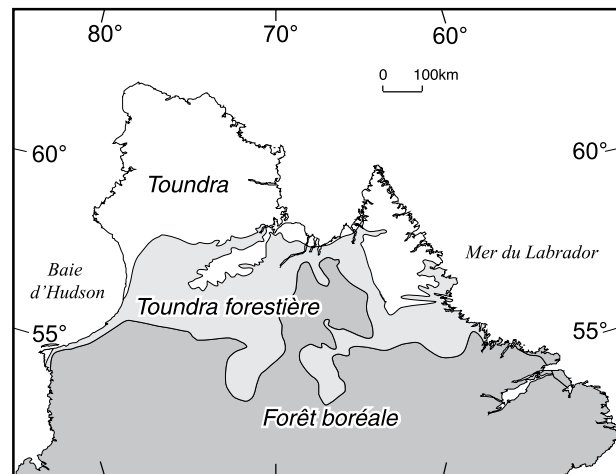


Figure 1. Zones de végétation du Québec et du Labrador. Modifié de Payette (1983).

les plants de petits fruits, ce qui causerait une perte localisée d'espèces comme l'airelle des marécages/bleuet (*Vaccinium uliginosum*) et l'airelle rouge (*Vaccinium vitis idaea*) ou affecterait la productivité des petits fruits. Sous un couvert arbustif plus épais, d'autres espèces de couvre-sol intolérantes à l'ombre seront aussi perdues, comme des lichens, ce qui peut avoir des effets négatifs sur les sources de nourriture du caribou. À part l'empiètement et l'expansion des arbustes, d'autres espèces compétitives peuvent changer la dynamique de la végétation. Dans les aires ouvertes, de hautes graminées pourraient envahir l'endroit et déplacer des espèces moins compétitives, comme l'orpin rose (*Rhodiola rosea*) ou des plantes coussinets comme la diapensie de Laponie (*Diapensia lapponica*) et le silène acaule (*Silene acaulis*).

Au Nunavik, les Inuits ont déjà constaté que de grands arbustes envahissent maintenant leurs sites habituels de cueillette de petits fruits, principalement là où ils trouvaient habituellement des bleuets et des camarines noires (*Empetrum nigrum*) (Gérin-Lajoie *et al.*, en préparation). Cependant, d'autres espèces peuvent devenir plus abondantes, comme à Kangiqsualujuaq où l'on a rapporté que la chicouté/plaquebère (*Rubus chamaemorus*) pousse maintenant partout alors qu'auparavant on la trouvait principalement parmi des bouleaux dans les montagnes. En outre, les Aînés d'Umiujaq, Kangiqsujuaq et Kangiqsualujuaq disent que le pergélisol

retient moins d'eau (voir la discussion du chapitre 6), ce qui cause une baisse des niveaux d'eau et les plantes envahissent les ruisseaux et les lacs qui s'assèchent, ce qui a conséquemment un effet sur l'émergence et l'abondance des insectes, de même que sur la pêche et les déplacements sur terre.

À Nain, au Nunatsiavut, les villageois ont remarqué que les arbres et les arbustes sont maintenant plus abondants qu'avant et qu'ils poussent rapidement autour du village et le long de la côte. Certains résidents ont souligné la difficulté de localiser et utiliser les sentiers, car ils sont rapidement envahis par les arbustes. Les villageois ont aussi indiqué des changements dans leur récolte de petits fruits, constatant qu'ils sont moins abondants, plus petits et que le goût n'est plus le même. Les changements dans les récoltes de petits fruits n'ont toutefois pas été liés directement à l'expansion des arbustes (L. Siegwart Collier, données non publiées).

Influencés par les facteurs climatiques, les changements de la végétation, comme les tendances de la limite forestière, affectent la distribution animale. Les Inuits et les Innus ont donc dû modifier leurs routes pour suivre les animaux en migration (Fitzhugh 1977; 1997; Fitzhugh et Lamb, 1985). De nos jours, les Inuits dépendent moins des activités de chasse, de pêche et de cueillette pour leur survie, mais se déplacer sur le territoire demeure une activité très importante. Il s'agit d'une façon d'obtenir des réserves d'aliments traditionnels frais et sains, notamment les petits fruits qui composent une bonne partie de l'alimentation traditionnelle des Inuits et des résidents du Nord (voir le chapitre 5). Les petits fruits sont une bonne source de vitamines et d'antioxydants et un délice naturel pour les gens de tous âges, tout particulièrement les femmes et les enfants. La cueillette des petits fruits favorise les liens intergénérationnels et familiaux de même que le partage – valeurs qui ont une très grande importance dans la culture inuite.

Dans le présent chapitre sur les dynamiques de la végétation, on aborde l'expansion des arbres et d'arbustes érigés et on examine les tendances passées et actuelles à l'interface et au-delà de la limite forestière, les processus, les conditions et les régimes de perturbation afférents et leurs effets sur le paysage. Dans un deuxième temps, on se penche sur la productivité

des arbustes à petits fruits, leur abondance, leur croissance et l'activité antioxydante des petits fruits. Dans un troisième temps, on présente le suivi environnemental réalisé par les communautés et les initiatives connexes en cours. On termine ce chapitre par des conclusions et des recommandations.

8.2 Expansion des arbres et des arbustes érigés

8.2.1 Tendances historiques et rythme actuel des changements

Changements dans la végétation observés à l'interface de la limite forestière

La végétation s'est toujours adaptée aux variations climatiques passées au cours de courtes et longues périodes. La végétation du Nunavik et du Nunatsiavut s'est établie après le recul des glaciers et le développement du sol à la fin de la dernière ère glaciaire (il y a de cela 7 000 à 8 000 ans environ) (Dyke et Prest, 1987). L'expansion des arbres a atteint son maximum durant la période plus chaude appelée hypsithermale (Lamb, 1985; Payette, 2007; Bell *et al.*, 2008). Ainsi, des restes d'arbres subfossiles ont été trouvés en abondance sur les berges des mares peu profondes au-delà de la limite forestière, dans les hautes terres du centre du Labrador (photo 1); un échantillonnage aléatoire de plusieurs de ces arbres a fourni une datation au carbone 14 de 3 000 à 5 000 ans, montrant que les arbres poussaient plus au nord durant cette période (Bell *et al.*, 2008). La distribution fragmentée de l'écotone forêt-toundra d'aujourd'hui au Nunavik est une conséquence des feux de forêt qui ont ouvert le paysage et de l'échec des processus de rétablissement forestier après les incendies (Sirois et Payette, 1991; Payette *et al.*, 2001; Asselin et Payette, 2005).

Le plus récent refroidissement, que l'on nomme le Petit Âge glaciaire, s'est terminé à la moitié du XIX^e siècle. Pendant cette période plus fraîche, les saisons de croissance écourtées ont certainement restreint la production de graines et la croissance des plantes, comme l'indiquent les séries dendrométriques de certaines espèces ligneuses de longue vie et la reconstruction



Photo 1. Un des quelque 600 restes d'arbres subfossiles récupérés de mares peu profondes au-delà de 600 m d'altitude dans les monts Red Wine au centre du Labrador. Les arbres sont aussi vieux que 5 000 ans et représentent une époque où les conditions climatiques étaient plus favorables qu'aujourd'hui pour la croissance forestière sur les sommets des hautes terres. Source : Trevor Bell.

des traces de pollen d'arbres préservées dans les lacs et les tourbières (voir le chapitre 2). Ces changements ont possiblement obligé les Inuits et les Innus à migrer (Fitzhugh, 2009). Fitzhugh (1977, 1997) et Fitzhugh et Lamb (1985) ont démontré comment les autochtones du Labrador et de la région subarctique de l'Est du Canada ont adapté leurs routes de migration en fonction des facteurs climatiques et de la distribution de la limite forestière. Ces études illustrent la forte interrelation entre le style de vie des Inuits, les changements climatiques et les types de végétation.

Depuis la fin du Petit Âge glaciaire, on s'attendait à une augmentation générale de l'abondance des arbres et des arbustes érigés puisque les températures se réchauffent (Hallinger *et al.*, 2010; Sturm *et al.*, 2005a, chapitre 2). Toutefois, cette tendance au réchauffement n'a pas été constante, mais plutôt caractérisée par des successions de périodes chaudes et froides, favorables ou non favorables à l'expansion des arbres et des

arbustes érigés. De telles augmentations ont été signalées au Nunavik pour l'aulne crispé (*Alnus viridis* sous-espèce *crispa*) (Gilbert et Payette, 1982) et pour des arbres comme l'épinette blanche (*Picea glauca*) et l'épinette noire (*Picea mariana*) dans de nombreux secteurs, incluant le Nunatsiavut, parfois donnant lieu à des élévations locales de la limite forestière en altitude ou en latitude (Payette et Fillion, 1985; Lavoie et Payette, 1994; Lescop-Sinclair et Payette, 1995; Caccianiga et Payette, 2006; Payette, 2007).

Au cours des 50 dernières années, on note des signes de l'élévation en altitude de la limite forestière. Dans l'ouest du Nunavik, Gamache et Payette (2005) ont documenté un transect chevauchant l'écotone forêt-toundra où il y a eu augmentation de l'épinette noire attribuée à l'établissement des semis dans la partie sud du transect et à la croissance verticale des individus rabougris dans la partie nord du transect. L'expansion de l'épinette noire près de la limite de la zone arborée a été



Photo 2. Colline au nord-est de Kangiqsualujjuaq (Nunavik) où des jeunes gaules de mélèze laricin se sont établies récemment en abondance, indiquant que la limite forestière locale s'élève en altitude. Source : Benoît Tremblay.

restreinte par la viabilité très limitée des graines dans le passé (Sirois, 2000), mais des résultats actuels indiquent une augmentation drastique de la viabilité depuis les 18 dernières années (Dufour Tremblay et Boudreau, 2011). Dans le cadre d'une récente étude à proximité de Kangiqsualujjuaq (rivière George, nord-est du Nunavik), on a relevé une abondance de semis et de gaules de mélèze laricin (*Larix laricina*) récemment établis sur les flancs des collines au-delà des terres boisées préexistantes, donnant à penser qu'il y a une augmentation locale en cours de la limite de la zone arborée en altitude (Tremblay *et al.*, sous presse, voir la photo 2). En 2008, les mélèzes ont produit une très grande quantité de cônes et les essais de germination en laboratoire ont révélé une très forte proportion de graines viables (E. Lévesque, communication personnelle). Les résidants de Kangiqsualujjuaq (Nunavik) ont signalé que les arbres avaient commencé à pousser sur la côte depuis les années 1990 et un Aîné a mentionné que le peuplier baumier (*Populus balsamifera*), qui était très rare dans les années 1940, était maintenant de plus en plus abondant

(Gérin-Lajoie *et al.*, en préparation). Les Kangiqsualujjuamiut ont aussi mentionné que le mélèze se répandait davantage que l'épinette noire et certains Aînés ont remarqué que les épinettes noires sur les collines faisant face à l'embouchure de la rivière George n'étaient pas là il y a quelques années (Gérin-Lajoie *et al.*, en préparation).

Dans les zones côtières du sud du Nunatsiavut, Payette (2007) a constaté que la limite de la zone arborée (principalement constituée d'épinette blanche) avançait vers le nord et que l'établissement des semis s'était accru dans les écosystèmes de toundra plus au nord depuis le XX^e siècle. Les épinettes blanches envahissantes ont été observées plusieurs mètres au-delà de la limite forestière actuelle, en altitude et en latitude, indiquant que l'espèce s'installe dans des sites adéquats et inoccupés. On a également constaté une abondance de jeunes épinettes blanches dans l'intérieur du Labrador, au lac Mistastin, quelque 25 km au sud de la limite forestière nord (T. Trant et J. D. Jacobs; données non publiées, communication personnelle). À Nain,



Photo 3. Pentes faisant face au nord (à l'avant) et au sud (à l'arrière) entourant le village de Nain au Nunatsiavut. La photo illustre la distribution abondante et étendue des arbres entourant le village – principalement de l'épinette (*Picea spp.*), du mélèze laricin (*Larix laricina*) et du bouleau glanduleux (*Betula glandulosa*). Source : Laura Siegwart Collier (2009)



Photo 4. Photographies d'un même paysage près de Kangiqsualujjuaq au Nunavik, prises du côté est de la baie Akilasakallak. Elles montrent la colonisation substantielle des paises par des arbustes érigés et des arbres, dans l'espace de seulement 20 ans. La photo de 1988, prise à la fin de juillet, a été fournie gracieusement par Marcel Blondeau. La photo de 2008 a été prise le 7 août. Source : Benoît Tremblay.

les observations faites par les Aînés locaux suggèrent que les arbres (principalement l'épinette) et les arbustes s'étendent et avancent sur les pentes dans la haute toundra, se répandant autour de leur village et dans leurs lieux traditionnels de récolte et de déplacement (L. Siegwart Collier, données non publiées, communication personnelle, voir la photo 3).

Changements de la végétation observés au-delà de la limite forestière

Dans le cadre d'une étude récente réalisée dans les secteurs de toundra autour de Kangiqsualujjuaq, des photos aériennes anciennes et actuelles ont révélé une augmentation

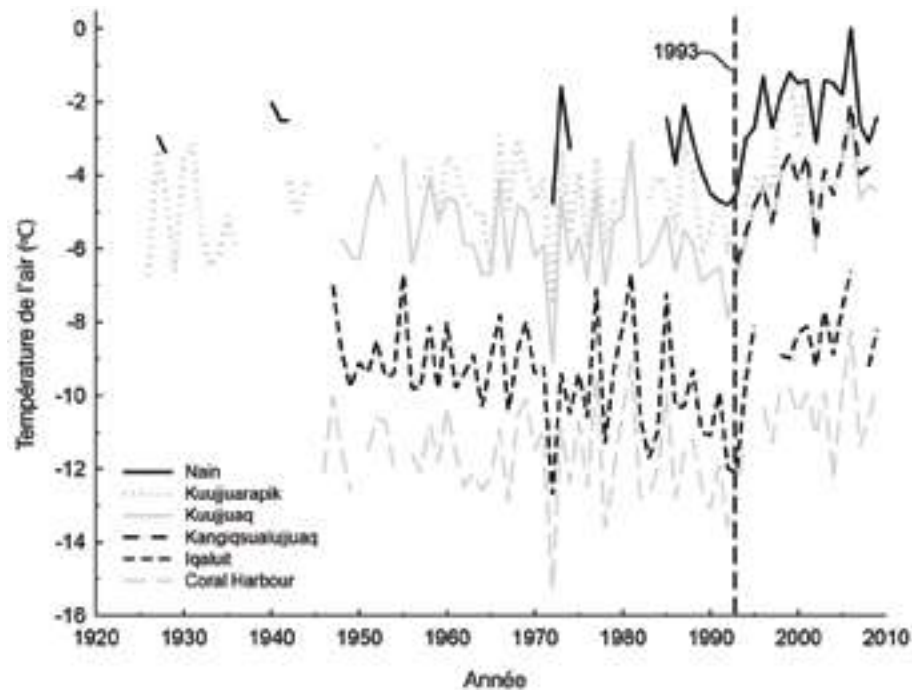


Figure 2. Températures annuelles moyennes de six localités de l'est de l'Arctique canadien : Nain (Labrador, 56°33'N-61°41'O; 1927-2009 avec des données incomplètes pour la période de 1927 à 1984), Kuujuarapik (Québec, 55°17'N-77°45'O; 1926-2009 avec des données incomplètes pour les périodes de 1937 à 1957, 2002 à 2004 et 2006 à 2008), Kuujuaq (Québec, 58°06'N-68°25'O; 1948-2009), Kangiqsualujuaq (Québec, 58°43'N-66°00'O; 1993-2008), Iqaluit (Nunavut, 63°45'N-68°33'O; 1947-2009 avec des données manquantes pour quelques années) et Coral Harbour (Nunavut, 64°11'N-83°22'O; 1946-2009 avec des données manquantes pour quelques années). Source des données brutes : Centre d'études nordiques (Université Laval) pour Kangiqsualujuaq et Environnement Canada pour toutes les autres localités. Le parallélisme de toutes les courbes est remarquable; elles indiquent toutes la même tendance de températures annuelles moyennes plus élevées depuis 1993.

substantielle de végétation ligneuse érigée de 1964 à 2003, attribuée principalement au bouleau glanduleux (Tremblay *et al.*, sous presse). Durant les 40 années qui séparent les deux séries de photos, plus de la moitié de la superficie disponible pour la végétation ligneuse érigée a été nouvellement colonisée ou remplie par le bouleau glanduleux. L'expansion de cette espèce s'est faite principalement à mi-versant et dans le haut des versants de collines exposés au sud et à l'est. Ces changements peuvent avoir été suscités par les températures plus chaudes pendant les deux dernières décennies conjointement à la destruction de la couverture de lichen associée au piétinement et au pâturage des caribous lors des années de forte densité. Cette augmentation de la végétation ligneuse érigée correspond à une élévation marquée des températures annuelles moyennes dans l'Arctique de l'Est

du Canada depuis le début des années 1990 (figure 2) et elle est corroborée par des photographies prises à répétition au sol (photo 4) et l'analyse du NVDI à l'échelle régionale (W. Chen, données non publiées, communication personnelle) de même que par les connaissances écologiques locales. En effet, les gens ont fait état d'un « verdissement » de la région, principalement dû aux arbustes qui poussent beaucoup plus qu'avant (Gérin-Lajoie *et al.*, en préparation). L'analyse des anneaux de croissance de certains mélèzes (arbres et gaules) a montré une augmentation de la croissance annuelle depuis 1990, comme le suggérait le défunt Willie Emudluk de Kangiqsualujuaq (voir l'encadré 1). D'autres analyses sont en cours pour documenter les dynamiques de la limite forestière à cet endroit. Dans l'ouest du Nunavik, le long de la rivière Boniface, le couvert arbustif (principalement constitué de

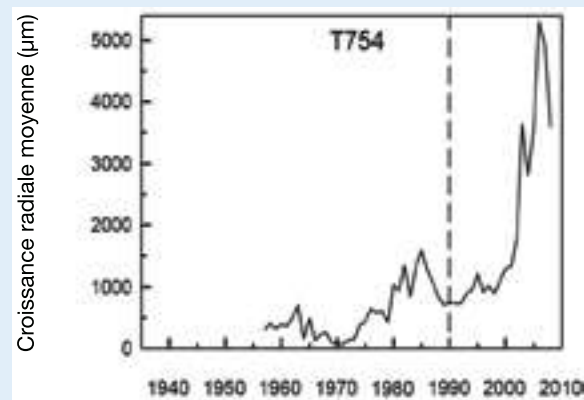
Encadré 1. Regardez bien les arbres!

Lors d'une entrevue sur les changements climatiques, Willie Emudluk de Kangiqsualujjuaq nous a dit que les arbres poussaient plus qu'avant, en hauteur comme en diamètre. Pour appuyer ce qu'il disait, il nous a encouragés à mesurer les anneaux de croissance du mélèze et de l'épinette.

Il nous a dit : « *Si vous coupez un arbre et examinez les lignes, vous verrez que les troncs des arbres sont plus larges qu'avant. Regardez bien les arbres!* »

Né le 17 janvier 1924 dans l'ancienne ville de Kuujjuaq, c'est le 21 septembre 2009 à Kangiqsualujjuaq que Willie Emudluk nous a quittés. Willie était un personnage important et très respecté au Nunavik, surtout dans la région de l'Ungava. Il a travaillé à fonder des coopératives inuites dans les petits villages du Nunavik, créées à l'origine pour vendre du poisson et du bois. Il avait de vastes connaissances des animaux, des plantes, du territoire inuit et de l'histoire de sa communauté. Il a été interviewé à de nombreuses reprises et il était toujours disposé à collaborer avec les chercheurs et à partager son savoir-faire. Nous croyons qu'il est important d'honorer sa mémoire et de rendre hommage à cet homme pour son ouverture d'esprit, son humilité, sa passion pour la Nature et sa générosité. Nakurmimarialuk Willie!

Willie Emudluk interviewé par Alain Cuerrier et José Gérin-Lajoie en 2007.



bouleau glanduleux) a augmenté significativement au cours des 50 dernières années. Cette augmentation pourrait aussi être liée aux températures plus chaudes et aux perturbations causées par le caribou, comme c'est le cas à Kangiqsualujjuaq. Cependant, l'absence de régénération forestière après les feux de forêt au cours du dernier millénaire a donné lieu à une ouverture progressive du paysage forestier (Sirois et Payette, 1991; Payette *et al.*, 2001). Un tel manque de régénération forestière pourrait avoir contribué à la création d'un milieu adéquat pour l'expansion arbustive.

Près d'Umiujaq, le long de la côte est de la baie d'Hudson, les membres de la communauté ont signalé une croissance accrue des arbustes, surtout les bouleaux qui deviennent de plus en plus abondants et les saules qui poussent davantage en hauteur (Gérin-Lajoie *et al.*, en préparation). Les résultats préliminaires de la comparaison des photographies aériennes de 1990 et des images par satellite de 2004 confirment une telle augmentation de la distribution des arbustes érigés. Les changements sont survenus principalement dans les terres basses le long des côtes, dans des ouvertures aux fonds de

vallées protégées et sur le dessus de palses. Ces changements sont essentiellement attribués au bouleau glanduleux et, à un degré moindre, au thé du Labrador (*Rhododendron groenlandicum*). Aucune gaule d'arbre n'a été trouvée à cet endroit (E. Lévesque, communication personnelle). Pour ce qui est du Nunatsiavut, M. Upshall et A. Simms (données non publiées, communication personnelle) ont trouvé à l'aide des images Landsat de 1985 et d'une image SPOT de 2008 que les arbustes érigés à feuilles caduques, comme le bouleau glanduleux, se sont étendus des vallées fluviales dans le sud des monts Torngat jusque dans la toundra, augmentant en hauteur et en densité. D'autres exercices de modélisation sont en cours afin de prédire les changements à venir.

Cette situation de couvert d'arbustes érigés dans des zones dont le sous-sol est constitué de pergélisol continu associé aux sous-zones de toundra herbacée et arbustive est peu connue. Lors d'entrevues réalisées à Kangiqsujuaq sur le détroit d'Hudson, les gens ont signalé que depuis les années 1980 les arbustes, en particulier les saules, poussent partout, ils sont plus grands qu'avant et leurs feuilles sont plus grosses (Gérin-Lajoie *et al.*, en préparation). La comparaison des images Landsat de 1987-2001 autour de ce village a révélé une légère augmentation de végétation herbacée-arbustive d'environ 3 % dans les vallées (W. Chen, données non publiées, communication personnelle). Aucune étude à petite échelle et aucun travail de vérification au sol n'a été fait dans cette région pour corroborer ces résultats. Cependant, une étude à petite échelle des changements dans le couvert des arbustes érigés est en cours, utilisant des photographies aériennes et des images par satellite de haute résolution, dans la région de la baie Déception, soit quelque 60 km à l'est de Salluit.

Une grande partie de la zone de pergélisol continu du Nunavik est sous l'influence du troupeau de caribous de la Rivière-aux-Feuilles (présenté au chapitre 9) dont la taille a augmenté considérablement au cours des dernières années (comptant plus de 600 000 individus selon le recensement de 2001, gouvernement du Québec, 2008). L'augmentation du nombre d'arbustes érigés dans ce secteur peut être ralentie par la pression élevée exercée par le pâturage, surtout dans des écosystèmes de toundra où l'abondance des arbustes

érigés était initialement très faible (sous-zone de toundra herbacée). Une récente étude réalisée dans le nord de la Suède (Pajunen, 2009) suggère que le pâturage intense des caribous contrebalance les effets positifs qu'ont les températures plus chaudes sur les arbustes.

Dans les monts Torngat, la toundra alpine ou côtière arctique est dominée par de arbustes courts et procombants présents en faible densité, incluant le bouleau glanduleux, le petit thé du Labrador (*Rhododendron tomentosum* ssp. *decumbens*) et l'airelle des marécages/bleuet. Les changements prévus dans la structure verticale pourraient causer la perte d'espèces sensibles à l'ombre, comme les lichens terricoles (Cornelissen *et al.*, 2006; Walker *et al.*, 2006), ce qui peut avoir des conséquences négatives sur le caribou, surtout en hiver. Dans des sites à l'étude près du ruisseau Nakvak (Nunatsiavut), les sites secs soutiennent un couvert important de lichen, alors que les sites humides soutiennent un couvert composé davantage de mousses et de graminoides. Les espèces d'arbustes et de graminoides jouent un rôle important dans la structure des communautés végétales sèches et humides (L. Hermanutz, données non publiées, communication personnelle). Le couvert arbustif total est semblable parmi les types d'habitat, mais les saules (*Salix* spp.) représentent le couvert arbustif dans les habitats humides, tandis que les parcelles sèches sont dominées par un couvert de lichen en association avec une gamme d'espèces arbustives présentes sous la forme procombante (p. ex., *Vaccinium*, *Betula*, *Rhododendron*). On a émis l'hypothèse que ces arbustes procombants vont augmenter en densité et se redresser graduellement avec le réchauffement accru, donnant lieu à une perte du lichen, comme on l'a décrit précédemment.

À l'heure actuelle, la dynamique des limites forestières est très variable à l'échelle du Nunavik et du Nunatsiavut. La réaction aux changements climatiques va probablement dépendre des conditions locales (Payette *et al.*, 2001), mais la tendance générale d'élévation de la zone arborée en altitude et en latitude est probable. Les limites des arbustes et des arbres sont sous surveillance, afin de suivre les changements dans les deux régions.

8.2.2 Processus et conditions associés à l'abondance accrue d'arbres et d'arbustes

Une des grandes questions à l'étude actuellement dans tout le nord du Québec et du Labrador est « à quel rythme les arbres envahissent-ils les habitats de toundra et quels sont les facteurs qui limitent ou favorisent leur établissement et leur croissance? »

Dans les monts Mealy (au centre du Labrador), on a planté des graines d'arbre et des semis qu'on a laissé germer et pousser pendant cinq ans (Munier *et al.*, 2010). Les résultats obtenus indiquent que le goulot d'étranglement pour l'expansion des arbres dans la toundra alpine est dû à une production insuffisante de graines viables (R. Jameson, données non publiées, communication personnelle). Dans une autre étude réalisée au même endroit, on a trouvé que si les effets sur les plantes accompagnatrices étaient négligeables lors de la première saison de croissance, une association végétale commence à se créer vers la fin de la deuxième saison de croissance, selon les taux de survie et de croissance observés. Cela donne à penser qu'il existe une association positive nette bien que faible entre les arbustes compagnons et les semis bénéficiaires pendant les premières étapes cruciales de leur vie (Cranston, 2009). L'impact documenté était probablement dû à la facilitation par les espèces qui composent le lit de germination. On a observé une relation de facilitation entre l'hypne de Schreber (*Pleurozium schreberi*) et l'épinette noire, car la croissance et la survie des semis étaient les plus élevées dans ce lit de germination et la mortalité due à l'hiver, aux herbivores et à la prédation des graines était dans l'ensemble

« *Quand j'étais jeune, les plants ne poussaient pas autant, même les saules, parce qu'il faisait trop froid et que le sol était gelé. La neige était abondante et le sol non gelé n'était pas très profond. Les plantes poussent plus de nos jours, parce que leurs racines sont dans un sol moins froid. Les saules sont ceux qui poussent le plus rapidement parce qu'ils ont plus d'eau.* » **Tivi Etok, Kangiqsualujjuaq.**

plus faible avec l'hypne de Schreber qu'avec la cladonie (*Cladonia spp.*) ou encore dans les lits de semence en sol nu. La structure physique de l'hypne de Schreber diminue vraisemblablement l'exposition des semis et les protège des prédateurs et des extrêmes de température (Wheeler *et al.*, 2011). Cependant, dans l'ouest du Nunavik, l'établissement des semis d'épinette noire semble être meilleur dans les sites qui ont été perturbés par le caribou (destruction du couvert de lichen et exposition du sol minéral) (Dufour Tremblay et Boudreau, 2011). Par conséquent, le réchauffement climatique et l'activité du caribou pourraient avoir un effet synergique sur l'augmentation de la régénération de l'épinette noire. L'expansion des arbres dans des secteurs au-delà de la limite forestière actuelle de l'écotone forêt-toundra pourrait être facilitée ou « accompagnée » par des espèces arbustives. Les arbustes pourraient améliorer les milieux rudes en fournissant un abri aux semis d'arbres (Sturm *et al.*, 2005b).

Dans l'écotone forêt-toundra du Nunavik, on a établi des liens entre les sites connaissant une augmentation de végétation ligneuse érigée et la variation des facteurs biogéographiques, édaphiques (relations entre sol et plantes) et climatiques. Par exemple, l'augmentation des arbustes érigés se limite principalement à des ouvertures dans les basses terres autour d'Umiujaq, sur la côte est de la baie d'Hudson, car à cet endroit les pentes et les sommets des collines sont principalement constitués d'affleurements rocheux. L'expansion arbustive serait donc restreinte à cause de la topographie aride et du manque de substrat meuble. En fait, l'abondance d'arbres autour d'Umiujaq ne semble pas augmenter ou très peu. Les changements se traduiraient plutôt par une perte de la croissance rabougrie des épinettes noires en krummholz et par une augmentation de la croissance radiale des individus déjà établis. Le mélèze est clairsemé autour du lac Guillaume-Delisle, soit près de la limite nord-est de distribution de l'espèce à cette longitude (rivière Boniface). Cela n'est cependant pas le cas autour de Kangiqsualujjuaq où les pentes et plateaux des collines sont habituellement couverts de till de diverses épaisseurs ce qui facilite l'augmentation du couvert forestier constitué ici d'un recrutement abondant de mélèzes. Les différences régionales vont influencer les processus de croissance de la végétation. Ainsi, dans l'ouest du Nunavik

les espèces associées à la dynamique de la limite forestière en altitude et latitude sont principalement des épinettes (surtout de l'épinette noire), tandis que dans l'est du Nunavik et au Nunatsiavut (du moins dans les zones côtières), c'est le mélèze qui joue probablement un plus grand rôle dans les changements actuels.

8.2.3 Répercussions de l'augmentation du couvert arbustif sur le paysage

Répercussions sur la distribution de la neige et les processus de l'écosystème

L'augmentation de la couverture arbustive a de lourdes conséquences sur de nombreux facteurs écologiques, notamment la diminution de l'albédo, une augmentation du flux de chaleur sensible entre l'atmosphère et le sol (Sturm *et al.*, 2005a), l'augmentation de l'accumulation de neige, de la profondeur de la couche active et de l'évapotranspiration estivale (Sturm *et al.*, 2001; Pomeroy *et al.*, 2006; Strack *et al.*, 2007) (photo 5). Un albédo moindre à la surface de la toundra causera une plus grande absorption de

radiation et un réchauffement atmosphérique (Chapin *et al.*, 2005). De plus, le cycle des substances nutritives du sol est aussi altéré par des changements dans la production et l'accumulation de matériel ligneux (séquestration de carbone), étant donné les plus grandes quantités de débris organiques (Fahnestock *et al.*, 2000) et les températures du sol plus chaudes en hiver. Ces températures plus élevées augmentent la décomposition (Grogan et Chapin, 2000; Schimel *et al.*, 2004; Sturm *et al.*, 2005b), ce qui favorise ensuite la croissance printanière et estivale. Le microclimat des communautés d'arbustes plus grands va aussi influencer le recrutement et l'établissement de la végétation étant donné l'écoulement d'air moins grand, les températures du sol plus chaudes et les changements dans l'humidité disponible (Jessen Graae *et al.*, 2009). D'autre part, selon certaines indications, une augmentation de l'ombrage du sol par un couvert arbustif plus haut et plus dense pourrait diminuer le transfert de chaleur au sol pendant l'été et donc contrebalancer les températures plus chaudes (Walker *et al.*, 2003). D'autres études sont nécessaires pour mieux comprendre l'impact des changements du couvert arbustif sur les propriétés du sol, surtout pour cerner les conditions



Photo 5. Neige emprisonnée dans la végétation. Source : Alain Cuerrier.

hivernales qui favorisent un réchauffement du pergélisol et les conditions estivales qui mènent à l'ombrage du sol et au refroidissement du pergélisol.

Des résidents d'Umiujaq, Kangiqsujaq et Kangiqsualujuaq ont remarqué que le manteau neigeux est moins profond, surtout à cause des chutes de neige plus tardives (retardées d'octobre à décembre) et davantage d'accumulations de neige dues aux vents qui suivent presque immédiatement les chutes de neige. De plus, les phénomènes d'érosion sont plus souvent observés au Nunavik. Par exemple, des villageois ont signalé un dégel du pergélisol et plus de glissements de terrain à Kangiqsualujuaq, des éboulements à Kangiqsujaq et de l'érosion des berges de rivière et de plage à Umiujaq (Gérin-Lajoie *et al.*, en préparation).

À Nain, les résidents ont signalé que la neige arrive plus tard qu'avant (retardée d'octobre à décembre), qu'il en tombe moins qu'avant et que la qualité est moindre aussi. Pendant les mois d'hiver, les événements de neige mouillée et de pluie sont de plus en plus fréquents, ce qui a un effet néfaste sur les conditions de glace autant à l'intérieur des terres qu'au large des côtes (L. Siegwart Collier, données non publiées, communication personnelle). Ces tendances sont largement répandues dans tout le territoire du Nunavik et du Nunatsiavut et elles devraient se poursuivre pendant les 40 à 50 prochaines années, avec une fonte des neiges plus hâtive (de 3 à 11 jours), un début du couvert de neige hivernal plus tardif (de 5 à 16 jours plus tard) et des températures hivernales plus douces (augmentation de 3 à 5 °C; voir le chapitre 2). La dynamique de la neige par rapport à l'altitude vient toutefois compliquer la situation. L'hiver relativement doux de 2009-2010 au Labrador a été caractérisé par une plus grande quantité de neige dans les secteurs plus élevés (soit d'une altitude supérieure à 600 m), mais par des événements de pluie et de dégel hivernal à plus basse altitude. Il est donc nécessaire d'obtenir des données de couverture de neige à l'échelle du territoire. Ces conditions ont compromis la capacité des résidents du Nunatsiavut à se déplacer, que ce soit en bateau ou en motoneige (L. Siegwart Collier, données non publiées).

Régimes de perturbation dans un climat en évolution

Dans le contexte du réchauffement de la toundra et du changement de végétation, on s'attend à ce que les impacts et la nature des perturbations puissent changer et modifier encore davantage la végétation et les dynamiques du paysage. Dans la forêt boréale, c'est le feu qui est l'agent perturbateur le plus intense à grande échelle dans les couverts fermés de peuplements forestiers dominés par l'épinette noire. Les interactions biotiques (infestations d'insectes, attaques fongiques et par les herbivores) jouent aussi un rôle majeur dans la dynamique globale de ces écosystèmes forestiers, là où ils interagissent avec le feu (McCullough *et al.*, 1998; Malmström et Raffa, 2000; Cairns et Moen, 2004). Étant donné la quantité restreinte de combustible qu'offre le couvert clairsemé d'arbustes et de conifères dans la toundra forestière au nord et dans la toundra arbustive, le feu y a moins d'incidences (0,4 feu/année et 80 ha) que dans une forêt boréale nordique dont le couvert est fermé (0,7 feu/année et 8 000 ha; Payette *et al.*, 1989). De même, il y a très peu de feux dans le centre du Labrador et ils sont habituellement associés à des arbres seuls, probablement des suites de très rares frappes de la foudre (Trindade *et al.*, 2011). Bien que les prédictions modélisées indiquent une augmentation des précipitations annuelles de l'ordre de 10 à 20 % (voir le chapitre 2), cette tendance projetée peut être insuffisante pour maintenir l'humidité du sol vu l'augmentation attendue des températures pendant la saison de croissance (2 °C d'ici 2050; voir le chapitre 2) et les augmentations de l'évapotranspiration. Conséquemment, on peut supposer qu'un couvert arbustif accru favoriserait le feu et qu'il pourrait donc devenir un facteur important de changement dans le Nord (Payette *et al.*, 2001).

On connaît peu les répercussions des insectes défoliateurs sur les arbres et arbustes érigés au Nunavik et au Nunatsiavut, ni la fréquence et l'étendue des infestations. Près de la limite forestière dans l'ouest du Nunavik, les infestations d'insectes (principalement des scolytes) ont joué un rôle important à l'échelle locale et cela peut expliquer la mortalité élevée des plus vieilles cohortes d'épinette blanche (Caccianiga *et al.*, 2008). Dans le centre du Labrador, la tenthrède du mélèze est un des insectes défoliateurs qui cause une diminution de la

croissance et une augmentation de la mortalité de cette espèce d'arbre (A. Trant, communication personnelle). Cependant, les répercussions des infestations d'insectes dans l'écotone de la toundra forestière peuvent être minimales à cause des températures froides, mais aussi à cause de la distribution clairsemée et de la faible étendue des zones arborées. Les changements environnementaux actuels pourraient avoir un impact majeur sur les populations d'insectes et sur la végétation.

Il est nécessaire d'étudier davantage les interrelations entre les changements climatiques, le feu et les perturbations biotiques afin de mieux prédire les dynamiques de la végétation. Par exemple, le feu peut favoriser la régénération de la forêt s'il y a dispersion d'un nombre suffisant de graines viables. On prévoit d'ailleurs que les conditions plus chaudes vont favoriser la production de graines dans les arbres situés à la limite forestière. Par contre, le feu peut détruire des bosquets isolés et ralentir l'expansion des arbres (Payette *et al.*, 2001), surtout s'il y a mortalité différentielle de plus vieux arbres porteurs de graines à cause des infestations d'insectes (Caccianiga *et al.*, 2008), réduisant ainsi davantage la dispersion aérienne des graines.

8.3 Productivité, abondance et croissance des arbustes à petits fruits

En général, les expériences de réchauffement dans des parcelles de toundra (dans des enceintes ouvertes, genre de petites serres) indiquent que cela favorise l'augmentation du couvert ou de la hauteur des espèces d'arbustes (Walker *et al.*, 2006; Chapin *et al.*, 1995). En plus, la croissance et la phénologie reproductive de la végétation de la toundra (c.-à-d. la feuillaison printanière, le débournement et la floraison) se modifient à cause du réchauffement climatique et les observations de ces modifications ont été corroborées par des expériences de réchauffement passif à long terme (Walker *et al.*, 2006; Henry et Molau, 1997). Les changements dans la phénologie de la floraison peuvent affecter le succès de la pollinisation, influençant ainsi la production de fruits,

le mûrissement et la dispersion des graines (Fitter et Fitter, 2002; Memmott *et al.*, 2007; Galloway et Burgess, 2009; Jentsch *et al.*, 2009). Des études récentes réalisées en Europe ont comparé des événements de réchauffement climatique hivernal extrêmes, simulés et naturels et ont montré une réduction importante de la production de fleurs et de fruits, principalement à cause des dommages aux bourgeons de l'année précédente (Bokhorst *et al.*, 2008; Bokhorst *et al.*, 2009). On peut s'attendre à des impacts du même genre au Nunavik et au Nunatsiavut, car les projections montrent des augmentations similaires des températures hivernales (de 3 à 5 °C) dans la région (chapitre 2). De plus, la variabilité accrue d'événements de gel tardif au printemps peut donner lieu à une réduction de la floraison et à la perte de récoltes de petits fruits. Les dommages pourraient être liés à une induction prématurée des hormones de floraison, produisant des bourgeons ou des fleurs qui sont vulnérables lors du retour des conditions météorologiques saisonnières.

Bien que l'on sache que l'ombrage des arbustes érigés (induits par le réchauffement) réduit le couvert des plantes non vasculaires et leur biodiversité (Cornelissen *et al.*, 2006; Walker *et al.*, 2006), peu d'études, s'il y en a, lient les effets de l'expansion arbustive en hauteur (ombrage) à la variation de croissance et de reproduction des arbustes nains à petits fruits comme la busserole alpine (*Arctous alpina*), l'airelle des marécages/bleuet, l'airelle vigne d'Ida/airelle rouge, la camarine noire et la chicouté/plaquebrière (photos 6 à 10).

Naturellement variable dans le temps et l'espace, le nombre de fruits produits dépend de la météo et d'une pollinisation efficace. Toutefois, on sait peu de choses sur les pollinisateurs dans les régions subarctique et arctique ou sur la prédation des fleurs ou des fruits, surtout par les insectes. La production de petits fruits et l'activité des insectes sont influencées par les pluies printanières et estivales et par les températures saisonnières qui ont une incidence sur le moment du dégel et sur les degrés-jours de croissance. À l'aide d'un ensemble de données de 11 ans de la forêt boréale du Yukon, Krebs *et al.* (2009) ont trouvé que, lors d'un été donné, la pluie et la température des deux années qui précèdent cet été-là peuvent assez bien prédire le rendement des plants à petits fruits



Photo 6. *Busserone alpine* (*Arctous alpina*). *Source : José Gérin-Lajoie.*



Photo 7. *Airelle des marécages/bleuet* (*Vaccinium uliginosum*). *Source : José Gérin-Lajoie.*



Photo 8. Airelle vigne d'Ida/airelle rouge (*Vaccinium vitis-idaea*). Source : José Gérin-Lajoie.



Photo 9. Camarine noire (*Empetrum nigrum*). Source : José Gérin-Lajoie.



Photo 10. Chicouté/plaquebère (*Rubus chamaemorus*). Source : Benoît Tremblay.

de la toundra. La croissance et la productivité des années précédentes peuvent aussi avoir un effet sur la croissance de l'année en cours et la production de petits fruits dans les arbustes d'éricacées (p. ex., espèces de *Vaccinium*) (Krebs *et al.*, 2009). Les scénarios actuels de réchauffement climatique prédisent des changements dans le moment du dégel et le nombre total de degrés-jours de dégel (augmentation de l'ordre de 30 à 60 %; chapitre 2) qui vont certainement influencer la productivité des petits fruits. Dans ce contexte, il est d'autant plus urgent de mieux comprendre les facteurs qui influencent

cette variabilité interannuelle. À cette fin, nous travaillons à mettre en place un réseau de surveillance communautaire des événements phénologiques et de la productivité des petits fruits en lien avec la surveillance climatique.

Dans les monts Torngat, des expériences sur le réchauffement réalisées dans des enceintes ouvertes montrent qu'il y a augmentation de la hauteur et de la densité des arbustes dans des parcelles de toundra sèches et humides et que les changements dans la hauteur des arbustes peuvent survenir plus tôt dans les sites secs que dans les sites humides. Ces résultats donnent à penser que les arbustes de sites mésiques (poussant dans des conditions d'humidité moyenne), comme le bouleau glanduleux et l'airelle des marécages/bleuet, vont répondre positivement au réchauffement dans les habitats autant humides que secs (Hermanutz *et al.*, données non publiées). À Kangiqsualujuaq, les résultats préliminaires de l'évaluation de la croissance d'arbustes à petits fruits dans une vaste gamme d'habitats, de la toundra ouverte au couvert forestier continu (C. Lavallée, données non publiées, communication personnelle), confirment que les plants

« Nous cueillons des petits fruits pas seulement pour le plaisir, mais aussi pour nous nourrir. Ça fait partie de notre culture. Même si j'en ai encore dans le congélateur qui datent de l'an dernier, je vais aller en cueillir d'autres cette année. » **Lizzie Irniq, Kangiqsujuaq.**

« J'espère qu'on ne perdra jamais nos aliments traditionnels, parce que sans ça, qu'est-ce qu'on va faire? » **Sarah Pasha Annanack, Kangiqsualujuaq.**

Tableau 1. Productivité de petits fruits (g/m²) à Kangiqsualujuaq (Nunavik) en lien avec la hauteur des arbustes et les divers habitats (du milieu ouvert au couvert arbustif et au couvert forestier).

NOM COMMUN	NOM LATIN	PRODUCTIVITÉ DE PETITS FRUITS (G/M ²)		
		HABITAT OUVERT	COUVERT ARBUSTIF	COUVERT FORESTIER
Camarine noire	<i>Empetrum nigrum</i>	++	-	+
Airelle vigne d'Ida/airelle rouge	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	++	-	+
Airelle des marécages/bleuet	<i>Vaccinium uliginosum</i>	++	+	-

d'airelle des marécages/bleuet, d'airelle vigne d'Ida/airelle rouge et de camarine noire étaient significativement plus petits dans des milieux ouverts, donnant à penser que les plants modifient leur mode de croissance sous un couvert arbustif ou forestier. En outre, on a mesuré l'élongation annuelle de la camarine noire de façon rétrospective grâce à des cicatrices foliaires datant de 20 ans et moins et on a constaté que la croissance s'est accrue de façon significative au cours des 10 dernières années, peu importe le type de couvert végétal (C. Lavallée, données non publiées, communication personnelle) suggérant une réaction au récent réchauffement climatique dans cette région. Des résultats similaires ont été notés en Suède pour *Empetrum hermaphroditum* et *Vaccinium uliginosum* poussant sous un peuplement de *Betula nana* (Fletcher *et al.*, 2010). Les effets du réchauffement sont plus visibles au début du printemps et ils peuvent disparaître pendant l'été. On tente actuellement d'évaluer la croissance hâtive dans des enceintes ouvertes en rapport à des parcelles témoins près de Nain, et ensuite de mesurer à nouveau des mêmes rameaux ou branches afin de comprendre si les différences seront estompées par la croissance ultérieure (L. Siegwart Collier, données non publiées).

Les analyses des données sur le couvert végétal et la productivité des petits fruits provenant de sites de réchauffement expérimental récemment mis en place (2008-2009) au Nunavut (Qamani'tuaq/lac Baker), au Nunavik (Kangiqsujuaq, Kangiqsualujuaq) et au Nunatsiavut (Saglek, Nain) semblent indiquer que les caractéristiques du site jouent un rôle très important dans la production de petits

fruits (Siegwart Collier *et al.*, données non publiées). La hauteur du bouleau glanduleux (de 3 à 19 cm) avait un effet négatif très fort sur la mise à fruit de la camarine noire. On a trouvé plus de petits fruits dans les milieux ouverts et sous un couvert forestier continu que sous les arbustes (tableau 1). La hauteur du bouleau avait aussi un petit effet négatif sur l'airelle des marécages/bleuet et l'airelle vigne d'Ida/airelle rouge. Peu importe l'espèce d'arbuste, la productivité de ces trois espèces de petits fruits était plus grande dans les milieux ouverts (C. Lavallée, données non publiées, communication personnelle). En ce qui concerne l'airelle des marécages/bleuet, la productivité sous le couvert forestier était même plus faible que sous un couvert arbustif.

Avec le réchauffement prédit (chapitre 2), il faut s'attendre à ce que dans les secteurs où sont présents des arbres et des arbustes érigés, les arbustes de petits fruits doivent investir plus d'énergie dans leur croissance pour faire concurrence aux arbustes plus hauts pour la lumière. Cela pourrait causer une diminution générale de la productivité de petits fruits dans certains sites. Par contre, dans les milieux ouverts les conditions plus chaudes peuvent accroître la productivité de petits fruits si l'humidité demeure suffisante et si les insectes pollinisateurs demeurent abondants.

Les communautés nordiques sont préoccupées par les changements dans la croissance et la productivité des arbustes de petits fruits à cause de l'importance qu'ont les petits fruits dans les écosystèmes de toundra pour la faune, la santé humaine, la culture et l'identité des autochtones. Des entrevues réalisées

avec des membres de la communauté de Nain suggèrent que les petits fruits sont moins abondants et plus petits que par les années passées. Les gens ont aussi identifié que le goût des petits fruits avait aussi changé et que les feuilles et les fruits des plants avaient parfois une apparence « brûlée » (L. Siegwart Collier, données non publiées, communication personnelle). Dans le village de Kangiqsualujjuaq, les résidants ont constaté que les petits fruits commençaient à pousser, fleurir et mûrir plus tôt dans la saison. Les gens de Kangiqsujuaq ont déjà observé que de plus grosses accumulations de neige signifient une plus grande quantité de petits fruits l'été suivant (Gérin-Lajoie *et al.*, en préparation).

8.3.1 Activité antioxydante et composés phénoliques dans les petits fruits

Les petits fruits, peu importe où dans le monde, sont tous riches en antioxydants et en composés phénoliques. Dans le Nord, malgré leur rôle important dans le régime alimentaire, peu d'études ont permis de quantifier l'activité antioxydante. Les résultats préliminaires obtenus à Kangiqsualujjuaq et Kangiqsujuaq suggèrent que la camarine noire et l'airelle vigne d'Ida/airelle rouge sont les deux espèces qui ont le plus de pouvoir antioxydant et de composés phénoliques, tandis que l'airelle des marécages/bleuet a moins de pouvoir antioxydant et de composés phénoliques totaux (C. Lavallée, données non publiées, communication personnelle) (tableau 2). Harris *et al.* (en préparation) ont obtenu des résultats comparables dans des échantillons recueillis dans

la forêt boréale et la région subarctique de l'Est; la camarine noire ayant l'activité antioxydante la plus élevée après les baies de genièvre et les airelles rouges ayant également une bonne activité antioxydante. Des échantillons d'airelle des marécages/bleuet récoltés dans diverses localités avaient la plus faible activité antioxydante, bien que ces petits fruits soient encore de bons antioxydants. Les résidants du Nord ont un intérêt pour ces études portant sur l'importance du gradient latitudinal sur l'activité antioxydante et sur l'expression des gènes liés aux substances ayant un pouvoir antioxydant connu. Les résultats démontrent que les échantillons récoltés sur les côtes et plus au nord sont généralement ceux qui ont une plus grande activité antioxydante (Fraser *et al.*, 2007; Downing *et al.*, en préparation).

Les changements climatiques vont affecter les plants qui produisent des petits fruits et cela aura des répercussions sur l'activité antioxydante des baies. On ne sait pas encore comment les baies seront affectées. Les facteurs sont nombreux et complexes : la température, l'ombre, le sol, les précipitations, la photopériode, même la génétique des plants et les maladies et les insectes vont contribuer à la production de substances antioxydantes dans les petits fruits. Puisque les individus plus au nord semblent produire plus de composés phénoliques pour faire face aux basses températures et à la longue photopériode, le réchauffement peut faire en sorte que les plants produisent moins de ces composés de protection qui ont une valeur médicinale. En Finlande, Kahkonen *et al.* (2001) et d'autres chercheurs ont mesuré

Tableau 2. Pouvoir antioxydant ($\mu\text{mol Trolox équivalents/g PF}$) et composé phénoliques totaux ($\text{mg acide tannique/g PF}$) analysés dans des petits fruits de Kangiqsualujjuaq et Kangiqsujuaq (Nunavik) à l'été 2009.

NOM COMMUN	NOM LATIN	KANGIQSUALUJJUAQ		KANGIQSUJUAQ	
		POUVOIR ANTIOXYDANT	COMPOSÉS PHÉNOLIQUES TOTAUX	POUVOIR ANTIOXYDANT	COMPOSÉS PHÉNOLIQUES TOTAUX
Camarine noire	<i>Empetrum nigrum</i>	+++	+++	+++	++
Airelle vigne d'Ida/airelle rouge	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	+++	+++	+++	+++
Airelle des marécages/bleuet	<i>Vaccinium uliginosum</i>	+	+	+	+

les composés phénoliques et l'activité antioxydante dans des baies communes et des pommes. Toutes les espèces avaient une certaine activité antioxydante, surtout la camarine noire et l'airelle vigne d'Ida/airelle rouge. Des études similaires réalisées en Alaska ont donné des résultats comparables (Leiner *et al.*, 2006; Kellogg *et al.*, 2010). La camarine noire et l'airelle vigne d'Ida/airelle rouge semblent toutes deux être les meilleures baies en ce qui a trait au pouvoir antioxydant. Beaulieu *et al.* (2010) ont aussi démontré que l'airelle vigne d'Ida/airelle rouge est une plante ayant un bon potentiel antidiabétique et que cela est en lien avec son activité antioxydante. Harris *et al.* (en préparation) ont aussi analysé un certain nombre de baies et ont conclu la même chose : les petits fruits sont un aliment sain et ils contiennent des agents médicinaux. Des résidents de diverses communautés au Nunavik et au Nunatsiavut ont fait état de l'importance des petits fruits pour la santé (Gérin-Lajoie *et al.*, en préparation; L. Siegwart Collier, données non publiées, communication personnelle; Cuerrier et les Aînés de Kangiqsujuaq, 2005).

Le réchauffement a des effets potentiels négatifs et positifs sur la concentration d'antioxydants dans les plants de petits fruits. Il faudra étudier davantage ces répercussions afin de documenter le rapport entre le gradient latitudinal (ou le réchauffement) et la qualité nutritive des petits fruits.

8.4 Suivi communautaire

Dans le monde entier, la productivité des petits fruits est connue pour être variable dans le temps et l'espace et la région arctique ne fait pas exception. Toutefois, cette variabilité a rarement été documentée dans les régions subarctiques et arctiques du Canada, malgré l'importance culturelle des activités de cueillette de petits fruits et leur incidence sur la santé des Inuits. Dans le cadre d'initiatives conjointes de l'Année polaire internationale et d'ArcticNet, nous collaborons actuellement avec trois écoles secondaires du Nunavik (Umiujaq, Kangiqsujuaq et Kangiqsualujjuaq) afin de recueillir des données sur la productivité annuelle des petits fruits, la profondeur de la couche de neige et



diverses observations phénologiques : floraison, flétrissement, maturation des baies, émergence d'insectes, englacement et débâcle des lacs et de la mer, etc. Cette initiative fait partie d'un effort important d'observation tout le long d'un vaste gradient est-ouest et auquel participent d'autres communautés du Nunavut (Kugluktuk, Baker Lake, Iqaluit, Pangnirtung, Pond Inlet) et du Nunatsiavut (Nain), ainsi que deux sites de recherche sur le terrain (lac Daring, île Bylot) (Lévesque *et al.*, 2009). En suivant un protocole simple et normalisé, les chercheurs, les enseignants et leurs élèves ainsi que diverses autres personnes intéressées aident à récolter des baies (encadré 2).

Les ensembles de données à long terme sont essentiels pour comprendre de tels systèmes naturellement variables et encore plus pour détecter les tendances de changement. La collaboration avec les membres des communautés améliore considérablement notre capacité à comprendre les environnements nordiques, puisque nous pouvons obtenir des renseignements tout au long de l'année des gens les plus concernés par cette information. En outre, cette initiative va contribuer à rehausser les capacités scientifiques des jeunes Inuits et favoriser les échanges entre scientifiques et résidents du Nord, lesquels peuvent soulever des inquiétudes ou des phénomènes qui n'avaient pas été anticipés.

Encadré 2. Suivi communautaire

Étant donné l'importance culturelle des activités de cueillette de petits fruits et leur incidence sur la santé des Inuits, des chercheurs, enseignants du secondaire et étudiants de trois villages au Nunavik (Umiujaq, Kangiqsujuaq et Kangiqsualujjuaq) aident annuellement à la collecte d'information sur les principales espèces de baies consommées par les Inuits dans des secteurs faciles d'accès à partir des communautés et qui sont représentatifs des territoires de cueillette.

Les données climatiques des stations météo locales sont aussi compilées et des étudiants de l'endroit sont embauchés pour mesurer l'épaisseur de la neige pendant tout l'hiver (Kangiqsujuaq et Kangiqsualujjuaq). De plus, on a conçu un calendrier d'observations pour consigner les dates et les endroits des divers phénomènes environnementaux et écologiques, y compris les événements phénologiques pour les plantes et les insectes.

Cette approche intégrée a le soutien de la Commission scolaire Kativik et dans le cadre d'un projet de collaboration on met actuellement sur pied des activités d'apprentissage scientifique à l'aide de protocoles normalisés de surveillance des petits fruits. Ces activités éducatives sont conçues pour être intégrées au programme des sciences et technologies du Nunavik. Cette initiative fait partie d'un projet plus vaste auquel participent d'autres villages du Nunavut (Kugluktuk, Baker Lake, Iqaluit, Pangnirtung, Pond Inlet) et contribue à renforcer les capacités scientifiques des jeunes Inuits et à beaucoup mieux comprendre la variabilité de la productivité des petits fruits. On prépare aussi des activités et protocoles de surveillance pour d'autres facteurs écologiques importants, comme les variations de l'épaisseur de neige, l'englacement et la débâcle et d'autres observations phénologiques.



8.5 Conclusions et recommandations

La végétation évolue déjà au Nunavik et au Nunatsiavut. Les conditions prévues par les modèles climatiques, surtout l'augmentation de la durée de la saison de croissance (de 11 à 27 jours, chapitre 2) et des degrés-jours de croissance (de 50 à 150 %, chapitre 2) vont favoriser l'établissement et la croissance d'espèces arbustives érigées. On prévoit que leur couverture et leur hauteur continueront à augmenter dans toute la région, sauf sur les affleurements rocheux. À l'heure actuelle, la zone de toundra herbacée n'a pas été grandement colonisée par des arbustes, mais on s'attend à ce que le bouleau et certains saules s'étendent même dans ces zones.

Avec de meilleures conditions favorisant la production de graines viables et l'établissement des semis, on s'attend à ce que les arbres s'étendent graduellement au-delà des limites forestières actuelles. Actuellement, il est impossible de prédire l'importance du changement d'ici 2050 selon les projections climatiques présentées au chapitre 2. Des modèles sont en voie de développement pour résoudre ce problème. D'autres recherches sont nécessaires pour comprendre les rétroactions qu'auront ces changements dans la végétation sur l'écosystème et pour évaluer comment les régimes de perturbation vont varier en réponse aux changements climatiques, y compris si il y aura augmentation des infestations d'insectes et des feux de forêt et comment cela se produira.

Des saisons de croissance plus chaudes et plus longues peuvent avoir un effet négatif sur les plants produisant des petits fruits si ces plants font face à une plus forte compétition des arbustes plus hauts et au manque potentiel d'humidité si les étés sont plus secs. On prévoit qu'il y a aura des changements accrus dans les précipitations (chapitre 2), mais cela demeure incertain à cause de la grande variabilité spatiale et temporelle des précipitations. La productivité de petits fruits est sensible à la quantité et au moment des précipitations et des événements extrêmes (comme un gel tardif au printemps). Les espèces de petits fruits dont la production est optimale en plein soleil (surtout l'airelle vigne d'Ida/airelle rouge et l'airelle des marécages/bleuet) vont vraisemblablement décliner sous un

couvert arbustif, mais la nature clairsemée de la végétation arctique pourrait permettre à d'autres espèces plus tolérantes à l'ombre partielle, comme la camarine noire et la chicouté/plaquebrière, de tirer avantage de ces conditions changeantes.

On peut s'attendre à une migration ou une expansion de certaines espèces boréales (comme les framboises) dans le sud de la région à l'étude. Certains framboisiers ont d'ailleurs été signalés près d'Umiujaq, quoiqu'en petits nombres, et la ronce acaule (*Rubus arcticus* sous-espèce *acaulis*) a nouvellement été observée à Kangiqsualujjuaq (Kennedy *et al.*, 2010). Les framboisiers sont aussi bien présents dans cette dernière communauté, mais ils ne semblent pas produire de fruits, ce qui était aussi le cas à Umiujaq en 2005 (A. Cuerrier, communication personnelle).

Il existe des incertitudes majeures concernant l'impact des changements environnementaux sur les interactions biotiques entre la végétation et les animaux, les herbivores (insectes et vertébrés) et les pollinisateurs. Les saisons de croissance plus chaudes et plus longues vont affecter l'abondance et la qualité des aliments et elles vont aussi modifier la distribution, la diversité et les émergences d'insectes. Les changements dans la faune pollinisatrice et les insectes herbivores vont aussi affecter la production de petits fruits, si les aires de distribution des insectes s'étendent vers le nord ou si l'émergence d'insectes a lieu plus tôt pendant les saisons chaudes. D'autres études sont requises pour documenter ces interactions biotiques.

Le suivi communautaire va contribuer à sensibiliser les résidents du Nord aux changements environnementaux et à leur capacité à les documenter. Les ensembles de données à plus long terme provenant d'une vaste gamme de sites vont aider les communautés et les chercheurs et vont rehausser de beaucoup nos capacités de prédiction.

En plus de l'impact compétitif sur les espèces qui produisent des petits fruits, d'autres végétaux, comme les lichens, les espèces arbustives plus hautes (comme le saule et le bouleau) peuvent affecter les sentiers et les activités traditionnelles comme la cueillette des petits fruits. En hiver, la distribution de la neige se fait différemment autour des arbustes plus hauts,

tandis qu'en été, la végétation plus haute et plus dense peut aussi restreindre les mouvements (voir aussi le chapitre 5).

Même si la croissance d'arbustes érigés (y compris les arbustes produisant des petits fruits) peut être limitée par le pâturage des caribous (dans les secteurs de forte densité de caribous), par des conditions plus sèches ou d'autres facteurs, des conditions plus chaudes peuvent favoriser l'expansion des espèces à la limite nord de leur distribution, comme la chicouté et les framboises. Tous ces changements vont probablement affecter la productivité des petits fruits, mais pas de façon uniforme et cela dépendra de l'écologie de l'espèce en question (p. ex., espèces tolérantes à l'ombre, pollinisation), la disponibilité du substrat et ses caractéristiques, les pollinisateurs et les conditions climatiques locales, la topographie et les perturbations.

Les résidants du Nord ont observé des changements dans leur environnement, dans le passé comme maintenant (Nickels *et al.*, 2005), et ils ont ajusté leurs activités de cueillette de petits fruits à la forte variabilité spatiale interannuelle de la productivité des petits fruits. On prévoit d'autres changements et les modèles sont en cours de développement afin d'intégrer des facteurs climatiques et biotiques pour aider à prédire les secteurs où il risque d'y avoir le plus de changements en ce qui concerne la productivité des petits fruits. Cela devrait être utile à l'avenir pour choisir des secteurs à protéger de tout stress additionnel, comme un village ou un développement industriel, afin de garantir un accès facile à des sites de qualité pour cette activité culturelle importante.

8.6 Références

- Asselin, H., et Payette, S. 2005. Late Holocene opening of the forest tundra landscape in northern Québec, Canada. *Global Ecology and Biogeography*, 14:307-313.
- Beaulieu, L. P., Harris, C. S., Saleem, A., Cuerrier, A., Haddad, P. S., Martineau, L. C., Bennett, S. A. L., et Arnason, J. T. 2010. Inhibitory Effect of the Cree Traditional Medicine Wiishichimanaanh (*Vaccinium vitis-idaea*) on Advanced Glycation Endproduct Formation: Identification of Active Principles. *Phytotherapy Research*, 24: 741-747.
- Bell, T., Dumeresq, A. D., Kennedy, C., Nishimura, P. H., Trindade, M., Laroque, C. P., et Young, A. B. 2008. Tree ring studies in Labrador: investigating spatial and temporal patterns in climatic and ecological factors influencing tree growth. *Arctic Change 2008*, Québec City Convention Centre, Québec City, 9-12 December.
- Bokhorst, S., Bjerke, J. W., Bowles, F. P., Melillo, J. M., Callaghan, T. V., et Phoenix, G. K. 2008. Impacts of extreme winter warming in the sub-Arctic: growing season responses of dwarf-shrub heathland. *Global Change Biology* 14:2603-2612.
- Bokhorst, S. F., Bjerke, J. W., Tommervik, H., Callaghan, T. V., et Phoenix, G. K. 2009. Winter warming event damage sub-Arctic vegetation: consistent evidence from an experimental manipulation and natural event. *Journal of Ecology*, DOI: 10.1111/j.1365-2745.2009.01554.x.
- Caccianiga, M., et Payette, S. 2006. Recent advance of white spruce (*Picea glauca*) in the coastal tundra of the eastern shore of Hudson Bay (Québec, Canada). *Journal of Biogeography*, 33:2120-2135.
- Caccianiga, M., Payette, S., et Fillion, L. 2008. Biotic disturbance in expanding subarctic forests along the eastern coast of Hudson Bay. *New Phytologist*, 178:823-834.
- Cairns, D. M., et Moen, J. 2004. Herbivory influences treeline. *Journal of Ecology*, 92:1019-1024.
- Chapin, F. S., III, Shaver, G. R., Geblin, A. E., Nadlehoffer, K. J., et Laundre, J.A. 1995. Responses of arctic tundra experimental and observed changes in climate. *Ecology* 76:694-711.
- Chapin, F.S.III, Sturm, M., Serreze, M. C., McFadden, J. P. Key, J. R., Lloyd, A. H., McGuire, D., Rupp, T. S., Lynch, J., Schimel, P., Beringer, J., Chapman, W. L., Epstein, H. E., Euskirchen, E. S., Hinzman, L. D., Jia, G., Ping, C.-L., Tape, K. D., Tompson, C. D. C., Walker, D. A., et Welker, J. M. 2005. Role of land-surface changes in arctic summer warming. *Science* 310:657-660.



Cornelissen, J. H.C., Callaghan, T. V., Alatalo, J. M., Michelsen, A., Graglia, E., Hartley, A. E., Hik, D. S., Hobbie, S. E., Press, M. C., Robinson, C. H., Henry, G. H. R., Shaver, G. R., Phoenix, G. K., Jones, D. G., Jonasson, S., Chapin, F. S., Molau, U., Neill, C., Lee, J. A., Melillo, J. M., Sveinbjornsson, B., et Aerts, R. 2001. Global change and arctic ecosystems: is lichen decline a function of increases in vascular plant biomass? *Journal of Ecology* 89:984-994.

Cranston, B. 2009. The Stress Gradient Hypothesis: plant facilitation at the forest-tundra transition (Mealy Mountains, Labrador, Canada). M.Sc. Thesis, Department of Biology, Memorial University of Newfoundland, St. John's, NL, 81pp.

Cuerrier, A. et Elders of Kangirsujuaq. 2010. Le savoir botanique des Inuits de Kangirsujuaq, Nunavik. Institut culturel Avataq, 88 pp.

Danby, R.K., et Hik, D.S. 2007. Variability, contingency and rapid change in recent subarctic alpine tree line dynamics. *J. Ecol.* 95(2): 352–363.

Downing, A., Tang, A., Ahmed, F., Harris, C. S., Saleem, A., Haddad, P. S., Johns, T., Cuerrier, A., Arnason J. T., et Bennett S. A. L. Growth Environment and Organ Specific Variation in Cytoprotective Antidiabetic Activities of *Picea mariana*: A Plant Used for Treatment of Diabetes Symptoms by the Cree of Eeyou Istchee (Quebec, Canada). *BMC Complementary and Alternative Medicine*, in prep.

Dufour-Tremblay, G. et Boudreau, S. 2011. Black spruce regeneration at the treeline ecotone: synergistic impacts of climate change and caribou activity. *Canadian Journal of Forest Research* 41: 460-468.

Dyke, A. S., et Prest, V. K. 1987. Late Wisconsinian and Holocene history of the Laurentide Ice Sheet. *Géographie physique et Quaternaire*, 41: 237-263.

Fahnestock, J. T., Povirk, K. L., et Welker, J. M. 2000. Ecological significance of litter redistribution by wind and snow in arctic landscapes. *Ecography*, 23:623-631.

Fitter, A. H., et Fitter, R. S. R. 2002. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296:1689-1691.

Fitzhugh, W. W. 1977. Population movement and culture change on the central Labrador coast. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 288:481-497.

Fitzhugh, W. W. 1997. Biogeographical Archeology in the Eastern North American Arctic. *Human Ecology* 25:385-418.

Fitzhugh, W. W. 2009. Hamilton Inlet, Coastal Eastern Labrador: Cultural Boundary Shifts Along a Forest-Tundra Frontier. In: *Archaeology in America: an Encyclopedia*. Westport, Connecticut; London: Greenwood Press, p. 4:343-4:348.

Fitzhugh, W. W., et Lamb, H. F. 1985. Vegetation History and Culture Change in Labrador Prehistory. *Arctic and Alpine Research*, 17:357-370.

Fletcher, B. J., Press, M. C., Baxter, R., et Phoenix, G. K. 2010. Transition zones between vegetation patches in a heterogeneous Arctic landscape: how plant growth and photosynthesis change with abundance at small scales. *Oecologia* 163:47-56.

Fraser, M. -H., Cuerrier, A., Haddad, P. Arnason, J. T., Owen, P., et Johns, T. 2007. Medicinal plants of Cree communities (Québec, Canada): Antioxidant activity of plants used to treat Type 2 Diabetes symptoms. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 85:1200-1214.

Galloway, L. F., et Burgess, K. S. 2009. Manipulation of flowering time: phenological integration and maternal effects. *Ecology*, 90:2139-2148.

Gamache, I., et Payette, S. 2005. Latitudinal response of subarctic tree lines to recent climate change in eastern Canada. *Journal of Biogeography*, 32:849-862.

Gérin-Lajoie, J., Cuerrier, A., et Lévesque, E. Inuit perception of climate change and its effect on vegetation and berry species in three communities of Nunavik, Quebec. In prep. for *Human Ecology*.

Gilbert, H., et Payette, S. 1982. Écologie des populations d'aulne vert (*Alnus crispa* (Ait.) Pursh) à la limite des forêts, Québec nordique. *Géographie physique et Quaternaire*, 36:109-124.

Gouvernement du Québec, 2008. Le caribou migrateur : un phénomène naturel de classe mondiale. On line : <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/enligne/faune/reglementation-caribou/caribou/index.asp>.



- Grogan, P., et Chapin, F. S. III. 2000. Initial effects of experimental warming on above- and belowground components of net ecosystem CO₂ exchange in arctic tundra. *Oecologia*, 125:512-520.
- Hallinger, M., Manthey, M., et Wilmking, M. 2010. Establishing a missing link: warm summers and winter snow cover promote shrub expansion into alpine tundra in Scandinavia. *New Phytologist*, DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03223.x.
- Harper, K.A., Danby, R.K., De Fields, D.L., Lewis, K., Trant, A.J., Starzomski, B.M., Savidge, R., et Hermanutz, L. 2011. Tree spatial pattern within the forest tundra ecotone: a comparison of sites across Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 2011, 41:479-489, 10.1139/X10-221.
- Harris, C. S., Lamont, E., Cuerrier, A., Haddad, P. S., Arnason, J. T., Bennett S. A. L., et Johns, T. Investigating wild berries as a dietary approach to reducing the formation of advanced glycation endproducts: Correlation with in vitro antioxidant activity. In prep.
- Harsch, M.A., Hulme, P.E., McGlone, M.S., et Duncan, R.P. 2009. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecol. Lett.* 12(10): 1040-1049.
- Henry, G. H. R., et Molau, U. 1997. Tundra plants and climate change: the International Tundra Experiment (ITEX). *Global Change Biology* 3:1-9.
- Jentsch, A., Kreyling, J., Boettcher-Treschko J., et Beierkuhnlei, C. 2009. Beyond gradual warming: extreme weather events alter flower phenology of European grassland and heath species. *Global Change Biology* 15:837-849.
- Jessen Graae, B., Ejrnæs, R., Marchand, F. L., Milbau, A., Shevtsova, A., Beyens L., et Nijs, I. 2009. The effect of an early-season short-term heat pulse on plant recruitment in the Arctic. *Polar Biology* 32:1117-1126.
- Kahkonen, M. P., Hopia A. I., et Heinonen, M. 2001. Berry Phenolics and Their Antioxidant Activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49: 4076-4082.
- Kellogg, J., Wang, J., Flint, C., Ribnicky, D., Kuhn, P., González De Mejia, E., Raskin, I., et Lila, M.A. 2010. Alaskan wild berry resources and human health under the cloud of climate change. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58:3884-3900.
- Kennedy, C., Laroque, C. P., et Bell, T. 2010. Shifting radial growth-climate relationships across ten tree line sites in northern Labrador. Unpublished report, Mount Allison Dendrochronology Lab report 2010-10, Sackville, New Brunswick.
- Krebs, C. J., Boonstra, R., Kowcill, K., et Kenney, A. J. 2009. Climate determinants of berry crops in the boreal forest of the southwestern Yukon. *Botany*, 87:410-408.
- Lamb, H. F. 1985. Palynological evidence for postglacial change in the position of tree limit in Labrador. *Ecological Monographs*. 55:241-258.
- Lavoie, C., et Payette, S. 1994. Recent fluctuations of the lichen spruce forest limit in sub-arctic Quebec. *Journal of Ecology*, 82:725-734.
- Leiner, R. H., Holloway, P. S., et Neal, D. B. 2006. Antioxidant Capacity and Quercetin Levels in Alaska Wild Berries. *International Journal of Fruit Science*, 6:83-81.
- Lescop-Sinclair, K., et Payette, S. 1995. Recent advance of the arctic treeline along the eastern coast of Hudson Bay. *Journal of Ecology*, 83:929-936.
- Lévesque, E., Gérin-Lajoie, J., Hermanutz, L., Jacobs, J., Cuerrier, A., Siegwart Collier, L., Lavallée, C., et Spiech, C. 2009. Community-based assessment of berry productivity across the Canadian Arctic. Poster presented at ArcticNet Annual Conference in Victoria, B.C. December 2009.
- Malmström, C., et Raffa, K. 2000. Biotic disturbance agents in the boreal forest: considerations for vegetation change models. *Global Change Biology*, 6:35-48.
- McCullogh, D. G., Werner, R. A., et Neumann, D. 1998. Fire and insects in northern and boreal forest ecosystems of North America. *Annual Review of Entomology* 43:107-127.

- Memmott J., Craze, P. G., Waser, N. M., et Price, M. V. 2007. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. *Ecology Letters*, 10:710-717.
- Munier, A., Hermanutz, L., Jacobs, J., et Lewis, K. 2010. Interacting effects of temperature, ground disturbance and herbivory on seedling establishment: implications for treeline advance with climate warming, *Plant Ecology*, DOI 10.1007/s11258-010-9724-y.
- Nickels, S., Furgal, C., Buell M., et Moquin H. 2005. Unikkaaqatigiit – Putting the Human Face on Climate Change: Perspectives from Inuit in Canada. Ottawa: Joint publication of Inuit Tapiriit Kanatami, Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments at Université Laval and the Ajunnginiq Centre at the National Aboriginal Organization.
- Pajunen, A. M. 2009. Environmental and biotic determinants of growth and height of Arctic willow shrubs along a latitudinal gradient. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 41:478-485.
- Payette, S. 1983. The forest tundra and present tree-lines of the northern Québec-Labrador peninsula. *Nordicana*, 47:3-23.
- Payette, S. 2007. Contrasted dynamics of northern Labrador tree lines caused by climate change and migrational lag. *Ecology*, 88:770-780.
- Payette, S., et Fillion, L. 1985. White spruce expansion at the tree line and recent climatic change. *Canadian Journal of Forest Research*, 15:241-251.
- Payette, S., Fortin, M.-J., et Gamache, I. 2001. The subarctic forest-tundra: the structure of a biome in a changing climate. *BioScience*, 51:709-718.
- Payette, S., et Lavoie, C. 1994. The arctic treeline as a record of past and recent climatic change. *Environmental Reviews*, 2:78-90.
- Payette, S., Morneau, C., Sirois L., et Despons, M. 1989. Recent fire history of the Northern Quebec Biomes. *Ecology*, 70:656-673.
- Pomeroy, J. W., Bewley, D. S., Essery, R. L., H. Hedstrom, N.R., Link, T., Granger, R. J., Sicart, J. E., Ellis, C. R., et Janowicz J. R. 2006. Shrub tundra snowmelt. *Hydrological Processes*, 20:923-941.
- Schimel, J. P., Bilbrough, C., et Welker, J. A. 2004. Increased snow depth affects microbial activity and nitrogen mineralization in two Arctic tundra communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 36:217-227.
- Sirois, L. 2000. Spatiotemporal variation in black spruce cone and seed crops along a boreal forest - tree line transect. *Canadian Journal of Forest Research*, 30: 900-909.
- Sirois, L., et Payette, S. 1991. Reduced postfire tree regeneration along a boreal forest-tundra transition zone of north-eastern Canada. *Ecology*, 72:619-627.
- Strack, J. E., Pielke, Sr. R.A., et Liston, G. E. 2007. Arctic tundra shrub invasion and soot deposition: Consequences for spring snowmelt and near-surface air temperatures. *Journal of Geophysical Research*, 112.
- Sturm, M., Douglas, T., Racine, C., et Liston, G. E. 2005a. Changing snow and shrub conditions affect albedo with global implications. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 110:G01004, DOI:10.1029/2005JG000013.
- Sturm, M., McFadden, J.P., Liston, G. E., Chapin, F. S., Racine, C. H., et Holmgren, J. 2001. Snow-shrub interactions in Arctic tundra: A hypothesis with climatic implications. *Journal of Climate*, 14:336-344.
- Sturm, M., Schimel, J. P., Michaelson, G., Welker, J. M., Oberbauer, S. F., Liston, G. E., Fahnestock J., et Romanovsky, V. E. 2005b. Winter biological processes could help convert arctic tundra to shrubland. *Bioscience*, 55:17-26.
- Tremblay, B., Lévesque, E., et Boudreau, S. 2012. Recent expansion of erect shrubs in the Low Arctic: evidence from Eastern Nunavik. *Environ. Res. Lett.* 7 (035501) : 1-11.
- Trindade, M., Bell, T., Laroque, C., Jacobs, J., et Hermanutz, L. 2011. Dendroclimatic response of a coastal alpine treeline ecotone: A multispecies perspective from Labrador. *Canadian Journal of Forest Research* 41: 469-478.

Walker, D. A., Jia, G. J., Epstein, H. E., Raynolds, M. K., Chapin, F. S., Copass, C., Hinzman, L., D., Knudson, J. A., Maier, H. A., Michaelson, G. J., Nelson, F., Ping, C. L., Romanovsky V. E., et Shiklomanov, N. 2003. Vegetation-soil-thaw-depth relationships along a Low-Arctic bioclimate gradient, Alaska: synthesis of information from the ATLAS studies. *Permafrost and Periglacial Processes*, 14:103-123.

Walker, M. D., Wahren, C. H. Hollister, R. D. Henry, G. H. R. Ahlquist, L. E. Alatalo J. M., Bret-Harte, S. M., Calef, M. P., Callaghan, T. V., Carroll, A. B., Epstein, H. E., Jónsdóttir, I. S., Klein, J. A., Magnússon, B., Molau, U., Oberbauer, S. F., Rewa, S. P., Robinson, C. H. Shaver, G. R., Suding, K. N., Thompson, C. C., Tolvanen, A., Totland, Ø., Turner, L. P., Tweedie, C. E., Webber P. J., et Wookey P. A. 2006. Plant community responses to experimental warming across the tundra biome. *Proceedings of the National Academy of Science, USA* 103:1342-1346.

Wheeler, Hermanutz, L., et Marino, P. 2011. Feathermoss seedbeds facilitate black spruce seedling recruitment in the forest-tundra ecotone (Labrador, Canada). *Oikos* DOI: 10.1111/j.1600-0706.2010.18966.x



Chapitre 9. La dynamique des troupeaux de caribou : impacts des changements climatiques sur la récolte sportive et traditionnelle

Auteurs principaux

Steeve D. Côté

Département de biologie, Université Laval, Québec, QC

Coauteurs

M. Festa-Bianchet, C. Dussault, J.-P. Tremblay, V. Brodeur, M. Simard, J. Taillon, C. Hins, M. Le Corre et S. Sharma

Résumé

Le caribou (*Rangifer tarandus*) constitue une espèce importante des écosystèmes arctiques, dont celui du nord du Québec et du Labrador. Cet animal joue un rôle central dans l'écologie des prédateurs et la structure des communautés végétales de l'Arctique, en plus de fournir des avantages socioéconomiques et culturels par le biais des activités de chasse de subsistance et de chasse sportive. Des changements dans la distribution et l'abondance du caribou liés aux changements climatiques mondiaux auraient donc de lourdes incidences sur les plans biologique, sociétal et économique. Les conséquences directes et indirectes des changements climatiques sur les troupeaux de caribou migrateur peuvent inclure des modifications de l'usage de l'habitat, des routes migratoires, du comportement de recherche de nourriture et de la démographie. Par exemple, plusieurs facteurs pourraient provoquer un déplacement de la distribution du caribou vers le nord, notamment de plus longues périodes libres de glace, l'augmentation des chutes de neige et des événements météorologiques extrêmes, des modifications dans le régime des feux et des changements dans la distribution des insectes et des prédateurs. Le groupe Ungava, qui étudie l'écologie du caribou migrateur dans le contexte des changements climatiques, va orienter ses recherches sur les facteurs qui déterminent les variations dans la dynamique des populations de caribou, les implications pour la survie et la reproduction et la réaction de l'habitat du caribou aux différents scénarios de changements climatiques. Il serait possible d'atténuer les éléments de stress sur le caribou migrateur dans la péninsule du Québec-Labrador en axant les efforts de gestion sur l'atténuation des gaz à effet de serre pour réduire les effets potentiels des changements climatiques, la préservation des habitats de grande qualité, la limitation des perturbations anthropiques du paysage et la gestion durable de la chasse.

9.1 Importance du caribou pour la récolte traditionnelle et la chasse sportive

Le caribou (*Rangifer tarandus*) est une espèce importante des écosystèmes arctiques, dont celui du nord du Québec et du Labrador. Il joue un rôle central dans l'écologie des prédateurs et la structure des communautés végétales de l'Arctique (Crête, 1999; Bergerud *et al.*, 2008). De plus, le caribou procure des avantages socioéconomiques et culturels par le biais des activités de chasse de subsistance et de chasse sportive. Des changements dans la distribution et l'abondance du caribou liés aux changements climatiques mondiaux auraient donc de lourdes incidences sur les plans biologique, sociétal et économique (Festa-Bianchet *et al.*, 2011).

9.1.1 Récolte traditionnelle

Le caribou est la plus importante ressource terrestre de subsistance pour les Autochtones en régions arctique et subarctique. Les communautés autochtones traditionnelles ont un profond lien culturel avec le caribou et elles en dépendent économiquement comme source de nourriture (Miller, 2003). À titre d'exemple, pour 24 communautés rurales de l'intérieur de l'Alaska, on a évalué la récolte moyenne de caribou à 3,5 kg par personne par année; la récolte maximale atteignant 22 kg par personne par année (Nelson *et al.*, 2008). Dans le

nord du Québec et du Labrador, on estime que les chasseurs de subsistance récoltent quelque 15 000 caribous chaque année (MRNF, 2009; données non publiées), ce qui donne 347 tonnes de viande (PSEA, 1998). La récolte réelle des Autochtones est toutefois inconnue, car il n'y a ni quota ni exigence d'enregistrement.

Tout impact potentiel des changements climatiques sur les récoltes de caribou aura une incidence directe sur la santé et la survie culturelle des Autochtones. La plupart des troupeaux de caribou migrateur sont en déclin ou ont récemment diminué (Vors et Boyce, 2009). Les nombres actuels de caribous dans le nord du Québec et du Labrador ne sont pas connus avec précision, car le dernier inventaire date de 10 ans, mais les indicateurs biologiques de la taille de la population de même que les observations des chasseurs autochtones et des pourvoyeurs indiquent que le nombre de caribous diminue ou a diminué substantiellement au cours de la dernière décennie. De plus, les conditions météorologiques sont déterminantes dans le choix par le caribou des routes migratoires et des aires d'hivernage, ce qui a une incidence sur le succès de la chasse. Les changements climatiques à long terme peuvent nuire à l'accès aux sites de chasse, en changeant par exemple le moment du gel et du dégel des grands plans d'eau. Si les changements climatiques altèrent la distribution du caribou en l'éloignant des villages nordiques, il deviendra alors de plus en plus difficile de chasser.



9.1.2 Industrie des pourvoiries et chasse sportive

Dans le nord du Québec, on dénombre de 90 à 1 000 pourvoiries et environ 11 000 chasseurs sportifs qui se rendent dans le nord pour chasser le caribou. La chasse sportive se déroule sur deux saisons : en automne (du 1^{er} août au 31 octobre) alors que l'on récolte à partir des camps éloignés de 5 000 à 10 000 bêtes (principalement des mâles « trophées ») (MRNF, 2009; données non publiées) et en hiver (du 15 novembre au 15 février) avec une récolte annuelle moyenne de 12 000 bêtes principalement effectuée par des chasseurs vivant au Québec et dans la région de la baie James. La chasse sportive au caribou génère des revenus annuels de près de 20 millions de dollars, avec des retombées économiques totales dépassant les 30 millions de dollars, excluant les revenus fiscaux des gouvernements.

9.2 La dynamique des troupeaux de caribou

9.2.1 Les troupeaux de caribou dans le nord du Québec et du Labrador

Il existe deux populations de caribou migrateur dans la péninsule du Québec-Labrador : le troupeau de la rivière George (TRG) et le troupeau de la rivière aux Feuilles (TRAF) (Boulet *et al.*, 2007). Ces caribous parcourent jusqu'à 6 000 km par année (Bergerud *et al.*, 2008). Ils occupent la péninsule au nord du 53° N, bien qu'au cours de récents hivers on les ait vus plus au sud jusqu'au 50° 30' N. Bien qu'ils ne soient pas génétiquement différents (Boulet *et al.*, 2007), ces deux troupeaux diffèrent quant à la taille et l'état corporel des bêtes et quant aux fréquences de déplacement et à la démographie du troupeau (Couturier *et al.*, 2010). Le petit troupeau de Tornгат (environ 5 000 têtes), qui appartient à l'écotype montagnoux, migre dans les monts Tornгат au Labrador (Bélanger et Le Hénaff, 1985). Ce troupeau est souvent confondu avec le TRG, car les aires de distribution se chevauchent pendant une partie de l'année (Schaefer et Luttich, 1998).

9.2.2 Variation historique de l'abondance des populations

Les TRG et TRAF ont connu d'impressionnantes fluctuations de population au cours des dernières décennies (Messier *et al.*, 1988; Boudreau *et al.*, 2003). Après un pic d'abondance dans les années 1890 (Low, 1896; Elton, 1942), la population du TRG est demeurée extrêmement basse jusque dans les années 1950, alors qu'on dénombrait seulement quelque 5 000 bêtes (Banfield et Tener, 1958). En 1993, la population avait grimpé à plus de 775 000 bêtes (Couturier *et al.*, 1996), puis elle est redescendue à environ 385 000 en 2001 (Couturier *et al.*, 2004) et 74 000 en 2010. Quant au TRAF, il a été décrit pour la première fois en juin 1975 par Le Hénaff (1976) qui a observé un groupe d'environ 20 000 femelles parturientes près de la rivière aux Feuilles (58° N, 73° O). La taille du TRAF est passée du nombre estimé de 56 000 bêtes en 1975 à 276 000 en 1991 et au moins 628 000 bêtes en 2001 (Couturier *et al.*, 2004). Depuis, le TRAF a décliné. Un inventaire aérien est prévu en juillet 2010.

9.2.3 Distribution, migrations saisonnières et territoires saisonniers

Le territoire du caribou migrateur dans le nord du Québec et du Labrador s'étend sur plus d'un million de kilomètres carrés (figure 1). Les routes migratoires et les territoires saisonniers du caribou des TRG et TRAF font l'objet d'un suivi par télésurveillance radio et satellite depuis les 25 dernières années. De 1986 à 2010, on a muni de colliers émetteurs satellites plus de 300 animaux.

Le caribou migrateur entreprend ses longues migrations saisonnières pour utiliser des habitats précis, exploiter des ressources saisonnières et éviter les prédateurs. Pendant les migrations saisonnières, les animaux parcourent des distances de 15 à 30 km par jour. Ils quittent leur territoire d'hivernage dans la taïga au début du printemps et migrent sur des centaines de kilomètres (TRG : 280 ± 20 km; TRAF : 630 ± 15 km) pour atteindre les aires de mise bas dans la toundra. Les femelles adultes sont celles qui amorcent habituellement la migration

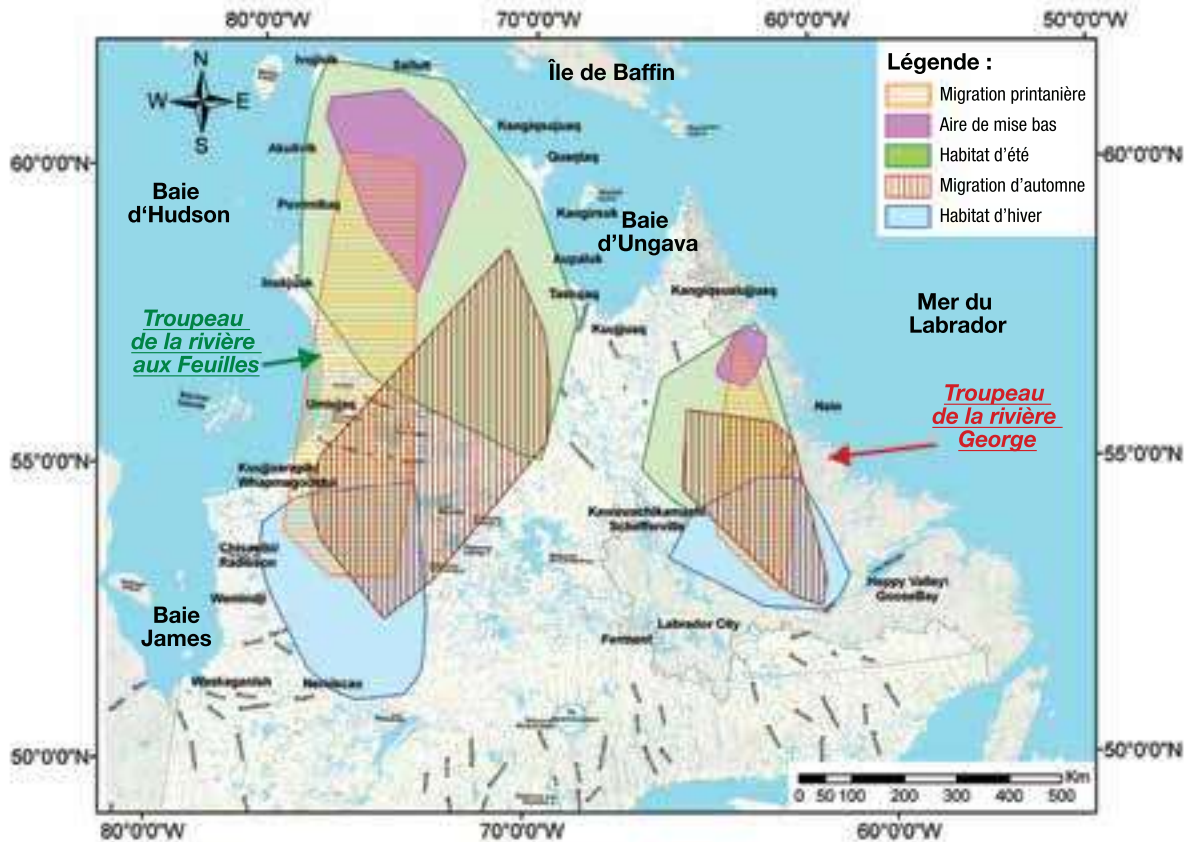


Figure 1. Distribution saisonnière des troupeaux de caribous de la rivière George et de la rivière aux Feuilles dans la péninsule Québec-Labrador.

printanière, suivies des mâles adultes et des jeunes adultes non reproducteurs. Le déclenchement de la migration printanière par les femelles du TRAF se fait plus tôt et est plus variable (en moyenne le 3 avril ± 30 jours) que chez les femelles du TRG (en moyenne le 25 avril ± 10 jours). Les résultats préliminaires semblent indiquer qu'un retard dans le déclenchement de la migration printanière pourrait réduire la masse des faons à la naissance et réduire les taux de recrutement automnal.

Les femelles du TRG mettent bas sur les hauts plateaux de toundra dans l'est de la péninsule du Québec-Labrador (57° N, 65° O), tandis que les femelles du TRAF mettent bas dans la péninsule de l'Ungava (61° N, 74° O; figure 2). Ces aires de mise bas sont à plus de 800 km l'une de l'autre (Boulet *et al.*, 2007) et elles sont utilisées dès le début

du mois de juin (TRG : 1^{er} juin ± 6 jours; TRAF : 4 juin ± 6 jours) jusqu'au début de juillet (TRG : 1^{er} juillet ± 4 jours; TRAF : 2 juillet ± 3 jours). La superficie de l'aire de mise bas du TRAF est demeurée relativement stable depuis les années 1990 (en moyenne 53 700 ± 9 700 km²), tandis que celle du TRG a diminué drastiquement, passant de 46 500 ± 8 800 km² au début des années 1990 à 5 300 ± 1 100 km² au cours des 3 dernières années. Bien que les femelles soient très fidèles à leur aire de mise bas (Boulet *et al.*, 2007), il y a eu déplacement de ces aires avec le temps, et ce pour les deux troupeaux, soit vers le nord pour le TRAF et vers l'est pour le TRG (vers la côte du Labrador) (figure 2).

Les habitats d'été sont plus vastes que les aires de mise bas et sont utilisés du début juillet à la mi-septembre. La superficie

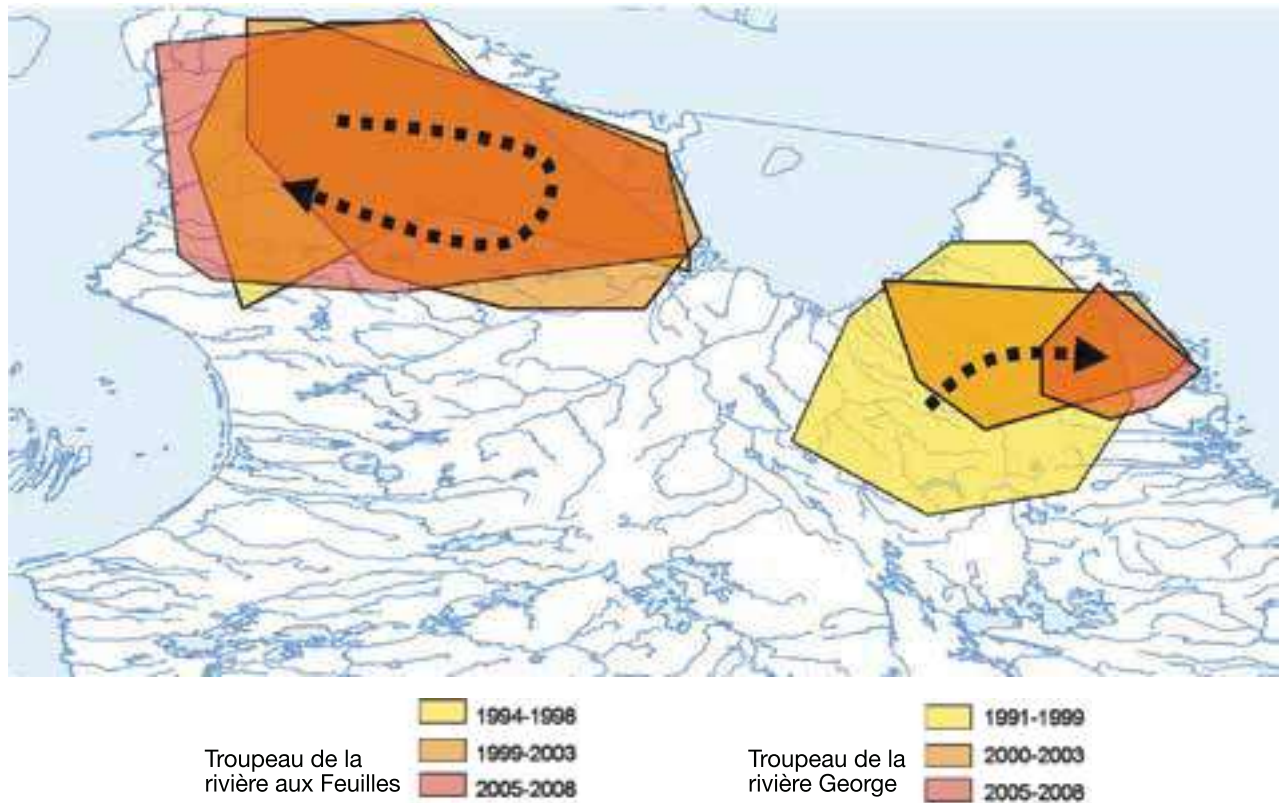


Figure 2. Aires de mise bas des troupeaux de caribous de la rivière George et de la rivière aux Feuilles, de 1991 à 2008, dans la péninsule du Québec-Labrador.

de l'habitat d'été du TRAF est demeurée relativement stable depuis les années 1990 (en moyenne $178\,900 \pm 5\,300 \text{ km}^2$), tandis que celle du TRG a diminué, passant de $234\,600 \pm 12\,800 \text{ km}^2$ au début des années 1990 à $88\,800 \pm 2\,700 \text{ km}^2$ au cours des 3 dernières années. Les caribous peuvent se déplacer sur des centaines voire des milliers de kilomètres alors qu'ils sont dans leur territoire estival (TRG : $970 \pm 35 \text{ km}$; TRAF : $1\,000 \pm 41 \text{ km}$). Il y a une grande variabilité annuelle dans la période d'utilisation de l'habitat estival (de 50 à 90 jours pour les deux troupeaux). Les analyses préliminaires semblent indiquer une corrélation positive entre une période plus longue d'utilisation de l'habitat estival et le recrutement automnal.

À la mi-septembre, les caribous quittent leur habitat d'été et migrent vers le sud. Le début de la migration d'automne est moins variable que pour la migration printanière et il est

le même pour les deux troupeaux (TRAF : en moyenne le 10 septembre ± 6 jours; TRG : en moyenne le 11 septembre ± 9 jours). Pendant la migration d'automne, les femelles et les mâles reproducteurs se rassemblent en grands groupes. On estime que le pic de rut se produit autour du 23 octobre et que la majorité des femelles adultes s'accouplent dans une période de deux semaines.

De novembre à avril, les caribous hivernent dans la taïga et concentrent leurs activités dans les peuplements d'épinettes ayant un épais couvert de lichen au sol. Pendant l'hiver, le TRAF se situe principalement entre les réservoirs de Chibougamau et La Grande Rivière, alors que le TRG hiverne principalement au Labrador. Pendant cette période, les caribous se déplacent de quelque 5 km par jour (TRG : $3,2 \pm 0,1 \text{ km/jour}$; TRAF : $5,7 \pm 0,4 \text{ km/jour}$). L'usage de l'habitat d'hiver est toutefois encore mal compris.

9.2.4 Variations démographiques passées et actuelles

La dynamique des populations de vertébrés longévifs, dont le caribou, est complexe, car elle peut être influencée par de nombreux facteurs écologiques qui peuvent avoir une incidence sur plusieurs indices vitaux (comme la natalité, la survie des faons, la survie des adultes et l'âge lors de la première reproduction) de diverses façons, souvent avec des effets interactifs substantiels. L'importance des divers facteurs déterminants tout comme celle des rôles relatifs des divers indices vitaux peuvent varier avec le temps (Coulson *et al.*, 2005).

Au cours des deux dernières décennies, des études à long terme sur les ongulés ont permis d'élucider les rôles relatifs des divers indices vitaux dans la croissance des populations et les effets possibles de divers facteurs intrinsèques et extrinsèques sur les changements dans la taille des populations. En général, les variations de la survie chez les adultes et de la survie au cours de la première année de vie peuvent être importantes pour déterminer les changements dans les taux de croissance d'une population, tandis que la variabilité de la productivité a souvent une importance moindre, à l'exception des changements possibles dans l'âge à la première reproduction (Gaillard *et al.*, 2000). Les facteurs écologiques qui affectent les populations d'ongulés sont notamment la dépendance à la densité, le climat, les maladies, la chasse et la prédation. Ces facteurs sont souvent en interaction les uns avec les autres. Par exemple, le taux de prédation peut être affecté par la couverture de neige (Hebblewhite, 2005), les effets des parasites et des maladies peuvent être exacerbés par la densité (Gulland, 1992) et les incidences des intempéries sont habituellement plus prononcées lorsqu'il y a une forte densité de population (Jacobson *et al.*, 2004).

Bien qu'il soit probable que la dynamique des populations de caribou migrateur (incluant celles du nord du Québec et du Labrador) soit similaire à celles des autres ongulés, elle peut présenter des différences substantielles pour un certain nombre de raisons. Tout d'abord, les migrations sur de

longues distances changent le rapport entre le caribou et ses prédateurs. La migration des ongulés peut réduire l'impact de la prédation, car les bêtes constituent une ressource saisonnière (Fryxell *et al.* 1988). La plupart des prédateurs du caribou ne sont pas en mesure de suivre leur migration, car ils doivent s'arrêter pour élever leurs petits ou ils doivent respecter les territoires intraspécifiques (Frame *et al.*, 2008). Dans un deuxième temps, les déplacements sur de longues distances, couplés à une fidélité limitée pour certains habitats saisonniers, signifient que la taille de la population de caribous n'est pas nécessairement en corrélation avec sa densité, car les aires utilisées peuvent changer d'une année à une autre (Messier *et al.*, 1988; Couturier *et al.*, 2010).

Les renseignements que l'on détient sur la survie spécifique à l'âge et sur la reproduction du caribou migrateur sont limités, car seulement quelques études ont surveillé des animaux d'un âge connu. Par conséquent, bien que le savoir traditionnel autochtone et les connaissances scientifiques indiquent que les populations de caribous fluctuent grandement au fil des décennies, les changements démographiques qui sous-tendent ces changements sont pour la plupart inconnus.

Survie et mortalité

Les études sur les ongulés d'un âge connu font généralement état d'une survie élevée des femelles adultes qui varie peu d'une année à l'autre, avec des exceptions notables dues à la prédation, la maladie et, bien que rarement, aux événements météorologiques extrêmes (Gaillard *et al.*, 2000). Le taux de survie des adultes diminue fortement à un âge avancé, de sorte que si la survie des femelles âgées de 3 à 6 ans est habituellement de l'ordre de 90 à 95 %, le taux de survie des femelles de plus de 10 ans est normalement inférieur à 60 %. Par conséquent, la structure d'une population par âge a une importante incidence sur son taux prévu de survie (Festa-Bianchet *et al.*, 2003).

Les estimations de la survie des femelles adultes dont on dispose pour le TRG incluent une analyse de la répartition de l'âge de 875 femelles qui se sont noyées dans la

rivière Caniapiscou en 1984. Cette analyse des données transversales est basée sur plusieurs postulats (probabilité égale d'échantillonnage pour toutes les classes d'âge, aucune différence dans la taille initiale des cohortes, taille de la population stationnaire) dont le soutien était improbable. Néanmoins, l'analyse semble indiquer des taux de survie spécifiques à l'âge, ce qui correspond à la plupart des études sur les ongulés : le taux de survie moyen est d'environ 94 à 95 % pour les femelles âgées de 2 à 7 ans; ce taux décroît pour les femelles plus âgées (Messier *et al.*, 1988). Dans le TRG, la surveillance des femelles munies d'un collier radio, âgées de 2 ans et plus, semble indiquer une diminution de la survie, le taux moyen étant passé de 93 % en 1984-1986 à 83 % en 1990-1992 (Crête *et al.*, 1996). Ces estimations ne tiennent toutefois pas compte de la structure par âge. Puisque le recrutement a diminué au cours de cette période, il est probable que la structure par âge des femelles portant un collier radio ait aussi augmenté. Par exemple, l'âge moyen des femelles récoltées pendant la chasse commerciale près de Nain au Labrador est passé de 4 à 5 ans des années 1970 aux années 1980 (Bergerud *et al.*, 2008).

Selon l'analyse préliminaire de la survie des caribous munis d'un collier radio dans les TRG et TRAF de 1996 à 2009, le taux de survie des femelles d'un an n'était que de 69 % (N=65), soit beaucoup moins élevé que le taux de 93 % estimé par Fancy *et al.* (1994) pour les femelles d'un an du troupeau de Porcupine au Yukon. Le taux de survie des femelles adultes était de 82 % et passait à 87 % si l'on excluait la mortalité connue due à la chasse.

On ne dispose pas d'estimations propres à l'âge pour le taux de survie des mâles adultes, bien qu'il soit probable qu'il soit inférieur au taux de survie des femelles du même âge, comme cela est habituel chez les ongulés (Toïgo et Gaillard, 2003). Les comparaisons des rapports des sexes, des fœtus aux adultes, ont révélé un fléchissement de la proportion des mâles (Bergerud *et al.*, 2008). Les données des caribous mâles adultes munis de collier radio dans les deux troupeaux migrateurs du Québec-Labrador depuis 1996 indiquent un faible taux de survie de l'ordre de 51 %, basé sur 61 caribous-années de surveillance de 39 mâles adultes.

En excluant la mortalité due à la chasse, on obtient un taux de survie des mâles adultes de 65 %. Dans le troupeau de caribous migrateurs de Porcupine (Fancy *et al.*, 1994), la survie des adultes était semblable pour les femelles et les mâles (84,2 % et 82,6 % respectivement), mais cela ne prenait pas en compte l'âge exact.

Reproduction

Chez les ongulés, l'âge a une forte incidence sur les taux de reproduction (Gaillard *et al.*, 2000). L'âge lors de la première reproduction augmente souvent si la densité de population augmente et les taux de conception sont plus faibles chez les très jeunes femelles que chez les femelles dans la force de l'âge. Chez la plupart des espèces, les femelles âgées de 3 à 4 ans jusqu'à environ 10 à 12 ans ont des taux de conception très élevés, habituellement de plus de 90 % (Gaillard *et al.*, 2000). La sénescence reproductive commence plus tard que la sénescence de la survie et peu de femelles atteignent l'âge de 13 à 14 ans, au moment où le taux reproducteur fléchit. L'âge de la mère n'a habituellement pas d'effet important sur la survie du jeune, à l'exception des femelles primipares dont les petits tendent à avoir des taux de survie moins bons que ceux des mères ayant mis bas deux fois ou plus.

La productivité dans le nord du Québec-Labrador semble généralement élevée, bien qu'elle ait été plus forte (moyenne de 91 %) pendant les années où les populations étaient en croissance que lorsqu'elles étaient en déclin (environ 69 %) (Couturier *et al.*, 2009a). L'âge de la femelle joue un rôle important dans la façon dont la dynamique des populations peut affecter les taux de conception. Si l'on compare les phases d'augmentation et diminution des effectifs du TRG, on constate que les taux de conception des femelles âgées de 4 ans et plus diminuent de 96 % à 82 %, mais pour les femelles âgées de 2 ou 3 ans, les taux de conception passent de 77 % à 24 % (Bergerud *et al.*, 2008).

Taux de recrutement

Chez le caribou, la meilleure mesure de recrutement est le nombre de jeunes qui survivent jusqu'à l'âge d'un an, car

la mortalité des jeunes peut être importante et très variable autant avant qu'après le sevrage (Bergerud *et al.*, 2008). La survie des jeunes d'un an est habituellement élevée et stable, même si chez la plupart des ongulés elle demeure faible et plus variable que la survie des adultes (Gaillard *et al.*, 2000).

Il existe peu d'information sur la survie des faons de la période du sevrage (octobre) jusqu'au mois de juin suivant. Les comparaisons des rapports faon-femelle à l'automne et au printemps cumulent les erreurs et les biais des deux rapports. Néanmoins, la période de 1974 à 1992 semble indiquer qu'il y a probablement eu réduction de la survie hivernale entre les années où le TRG était en croissance (de 1973 à 1983, taux moyen de survie hivernale des faons de 67,4 %) et celles où le troupeau était en déclin (de 1985 à 1992, taux de survie moyen de 47 %). Le rapport jeune-femelle au cours de ces périodes est passé de 33 % à 16 % (Bergerud *et al.*, 2008). La survie des faons est fortement affectée par l'état corporel, comme le révèle le rapport positif entre la masse à la naissance et le taux de recrutement (mesuré comme étant le rapport faon-mère à l'automne) (Couturier *et al.*, 2009b). Même si les données statistiques de population servent souvent à calculer le recrutement « minimum » (soit au moment du sevrage soit à l'âge d'un an) requis pour maintenir une population stable, il ne s'agit pas d'un très bon paramètre de prédiction de la croissance de la population, car les changements dans la structure des âges ou dans la survie adulte peuvent avoir de grandes répercussions sur la dynamique de la population. Néanmoins, une série d'années de faible recrutement mènera inévitablement à un déclin de population. Couturier *et al.* (2009b) ont estimé que lorsque la masse moyenne des faons à la naissance est inférieure à 6,0 kg, le recrutement des faons peut être insuffisant pour maintenir une population stable. Une série chronologique de dénombrements classifiés effectués à l'automne laissent croire que les rapports faon-mère ont été plus faibles dans les dernières années pour les deux troupeaux, comparativement aux rapports observés dans le TRG pendant la phase de croissance de population au cours des années 1980 (figure 3).

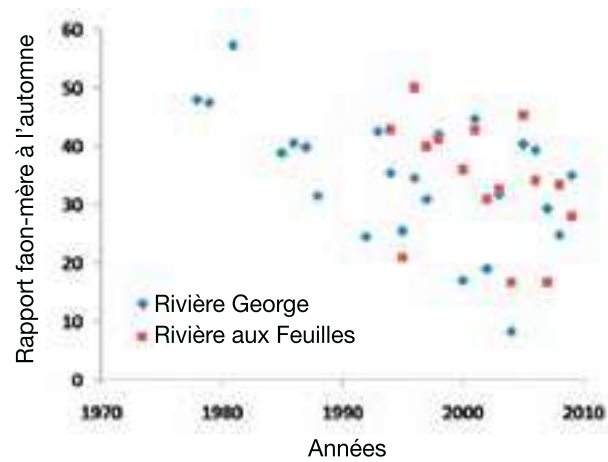


Figure 3. Rapports faon-mère relevés en octobre pour les troupeaux de la rivière George et de la rivière aux Feuilles dans le nord du Québec Labrador.

9.3 Impacts des changements climatiques prévus sur la dynamique des troupeaux

9.3.1 Impacts sur les routes migratoires

Pour les grands herbivores, la migration constitue un comportement important de choix d'habitat. Ces déplacements à grande échelle permettent aux animaux de suivre la phénologie des plantes (voir la section 9.3.2), de s'adapter aux changements saisonniers dans la disponibilité de la nourriture ou de restreindre les risques de prédation pendant des périodes critiques, comme la mise bas (Bolger *et al.*, 2008). Au printemps, les caribous migrent vers le nord dans les aires de mise bas où le risque de prédation est faible (Fancy et Whitten, 1991) et où il y a présence de pâturages de qualité. L'arrivée des caribous aux aires de mise bas correspond habituellement à un pic de productivité végétale (Post *et al.*, 2003). Toutefois, la migration comporte aussi de très grandes dépenses d'énergie (Wikelski *et al.*, 2003) et il s'agit d'une période critique de l'année. Les variations environnementales liées aux changements climatiques pourraient avoir de graves répercussions sur les espèces migratrices comme le caribou.

Moment de la migration et formation de glace en eau douce : risque accru de mortalité massive associée à la traversée de rivières et de réservoirs

La migration printanière se produit habituellement juste avant la débâcle des lacs et des réservoirs hydroélectriques, alors que la migration d'automne a lieu à peu près au moment où se fait l'englacement des lacs et des réservoirs. Les caribous en migration traversent les rivières et les lacs gelés pour faciliter leur déplacement. Cependant, avec les changements climatiques, on prévoit une période plus longue libre de glace (voir le chapitre 2; Magnuson *et al.*, 2000) avec des dégels se produisant plus tôt et des englacements se produisant plus tard. Les caribous risquent donc davantage de trouver des rivières et des lacs sans glace le long de leur parcours. Les grands plans d'eau qui ont déjà été utiles aux caribous pourraient devenir des obstacles, forçant les caribous à les contourner, comme on l'a déjà remarqué depuis quelques années. La mortalité accidentelle, associée aux traversées sur de la glace mince, devrait probablement augmenter.

Dans les Territoire du Nord-Ouest, Miller et Gunn (1986) ont observé que les caribous de la toundra en migration qui se trouvent devant une couche de glace trop mince pour supporter leur poids hésitaient à traverser sur la glace recouverte de neige et que certains individus, principalement des taureaux, passaient à travers la glace mince. Même si certains s'extirpaient de la glace, les risques de mourir de noyade, d'hypothermie ou d'épuisement étaient élevés. Les animaux morts avaient de graves blessures aux pattes antérieures, qu'ils s'étaient infligées en tentant de s'extirper de la glace brisée (Miller et Gunn, 1986; S. Côté, observation personnelle). Les caribous blessés et épuisés sont vulnérables à la prédation. Les caribous peuvent nager dans une eau libre de glace, mais les précipitations accrues prévues dans le contexte du réchauffement climatique (voir le chapitre 2; Maxwell, 1992) pourraient augmenter les débits dans les grandes rivières, augmentant ainsi le risque de noyade en grand nombre. Ainsi, la mort de 10 000 caribous qui ont tenté de traverser la rivière Caniapiscou (nord du Québec) en 1984 a été principalement attribuée à un débit d'eau anormalement élevé (Nault et Le Hénaff, 1988). Un report de la migration

pour éviter les plans d'eau sans glace pourrait réduire le succès reproducteur, car les femelles pourraient ne pas atteindre les aires de mise bas à temps et seraient forcées de mettre bas dans des sites moins favorables (Fancy et Whitten, 1991). À moins que les populations de caribou se déplacent vers des latitudes plus nordiques (Sharma *et al.*, 2009), elles pourraient devoir amorcer leur migration printanière plus tôt et leur migration automnale plus tard (Brotton et Wall, 1997) afin de pouvoir traverser sans danger les grands plans d'eau.

Épaisseur de neige et dépenses énergétiques

Avec les changements climatiques planétaires, on prévoit une augmentation des températures et des chutes de neige (Maxwell, 1992), ce qui va modifier la qualité de la neige. Selon le Modèle régional canadien du climat (MRCC), les chutes de neige au Nunavik pourraient augmenter de 30 à 50 % d'ici 2050, comparativement à la moyenne de 1960 à 1990 (RCSCC, 2009). L'épaisseur de la neige et la fréquence des dégels pourraient aussi augmenter, ce qui donnerait lieu à une couche de neige plus dense et plus mouillée. En plus de réduire l'accès aux pâturages (Miller et Gunn, 2003; section 9.3.3.1), ces changements vont augmenter les coûts énergétiques des déplacements pendant les périodes critiques.

Les températures plus élevées au printemps pourraient provoquer une fonte plus hâtive de la neige. La couverture de neige pourrait demeurer en place plus longtemps à cause des accumulations plus importantes. Cela pourrait forcer les caribous à migrer dans un épais couvert de neige, augmentant ainsi le coût énergétique de la migration. Parker *et al.* (1984) ont démontré que les coûts énergétiques des déplacements des cervidés augmentaient de façon exponentielle avec la profondeur de l'enfoncement. La neige lourde et mouillée peut entraver davantage la locomotion. L'effet combiné des dépenses énergétiques accrues et d'une moins grande disponibilité des ressources pourrait réduire l'état corporel des animaux et affecter en fin de compte la dynamique des populations, puisque la majorité des caractères biologiques sont étroitement liés à l'état corporel. Couturier *et al.* (2009b) ont démontré que les chutes de neige hivernales qu'avaient

subi les mères avaient une incidence négative sur la masse de leur progéniture.

Les changements dans le régime des précipitations sous forme de neige à l'automne, contrairement au printemps, pourraient être utiles aux caribous pendant leur migration. Le report des chutes de neige automnales jusqu'à 16 jours au Nunavik et au Nunatsiavut (voir le chapitre 2) va faciliter les déplacements et l'accès aux ressources, ce qui devrait limiter les dépenses énergétiques (Brotton et Wall, 1997). Cette épargne énergétique pourrait toutefois être réduite par les coûts associés aux déplacements sur de plus grandes distances, si les caribous doivent contourner des plans d'eau non gelés.

9.3.2 Décalage entre le moment de la mise bas et le moment de la disponibilité des ressources et influence sur le taux de recrutement

Par le biais de processus hormonaux complexes, le caribou suit la variation dans la durée du jour afin de se préparer aux changements saisonniers dans les conditions des pâturages (Bronson, 2009). Normalement, cette adaptation garantit une synchronisation entre la mise bas et le début de la saison de croissance des plantes. Le contenu nutritionnel et la digestibilité des plantes sont optimaux peu après leur émergence et cela diminue rapidement par la suite (Klein, 1990; Albon et Langvatn, 1992). La synchronisation de la mise bas avec la qualité optimale des pâturages est donc cruciale pour la reproduction, puisque les besoins énergétiques des femelles augmentent de 65 à 215 % pendant le premier mois après la mise bas (Robbins, 1993).

Les changements climatiques vont probablement affecter le rapport entre le moment de mise bas et la disponibilité des pâturages en changeant le moment du verdissement et la durée de la saison de croissance des plantes (Bradshaw et Holzapfel, 2006). Les changements de température sont le principal élément de déclenchement du développement des plantes et de leur croissance; les plantes commençant à pousser plus tôt lors de printemps plus chauds (Parmesan et

Yohe, 2003). La période annuelle de mise bas est bien moins variable que celle de la croissance des plantes, car elle est partiellement liée à la photopériode (Post et Forchhammer, 2008) ce qui provoque un décalage entre le moment du verdissement de la végétation au printemps et la mise bas des caribous. Dans l'ouest du Groenland, on a établi un lien entre une avance de deux semaines dans le début de la croissance des plantes et une diminution de quatre fois de la production de faons (Post et Forchhammer, 2008; Post *et al.*, 2008).

9.3.3 Impacts des changements climatiques sur l'accès aux pâturages

Pâturages d'hiver

Les lichens qui poussent sur le sol (terricoles) et dans les arbres (arboricoles) forment la base du régime alimentaire du caribou en hiver (Crête *et al.*, 1990a). Ils contiennent une grande quantité d'énergie digestible (Côté 1998), fournissant le carburant dont le caribou a besoin pour se déplacer, chercher sa nourriture dans la neige épaisse et maintenir sa température corporelle. Les pâturages d'hiver permettent au caribou de ne pas utiliser ses réserves de gras et de protéines accumulées pendant la période sans neige et requises pour la croissance des fœtus des femelles gravides. Le couvert de lichen est en diminution partout dans l'Arctique en réaction aux changements climatiques. En Alaska, le nombre accru de feux et la compétition des graminées et des arbustes induite par les changements climatiques ont causé un déclin à grande échelle des lichens au cours des dernières décennies (Joly *et al.*, 2009).

Les événements météorologiques extrêmes associés aux changements climatiques peuvent changer la dynamique des troupeaux de caribou par le biais de leur effet sur les pâturages d'hiver. Des événements de pluie verglaçante sur neige ont entraîné la mort massive de caribous de Peary dans l'Extrême Arctique canadien (Miller et Gunn, 2003) et à Svalbard (Solberg *et al.*, 2001; voir aussi Tyler, 2010). Les couches de neige glacée affectent la capacité des ongulés à se déplacer et à trouver de la nourriture. Certains scénarios climatiques suggèrent une augmentation de la prévalence

de pluie ou de neige dans les habitats d'hiver des TRG et TRAF (Rennert *et al.*, 2009). On envisage également que la présence de neige mouillée et lourde dans l'habitat d'hiver du caribou migrateur puisse augmenter la chute de litière des lichens arboricoles et fournir ainsi une source de nourriture additionnelle (Tremblay *et al.*, 2005).

Pâturages de printemps et d'été

Au printemps et en été, le caribou dépend des pâturages de qualité pour la reproduction, la croissance et la reconstitution de ses réserves corporelles. Puisque le régime hivernal est principalement composé de lichens à faible teneur en protéines, le bilan protéique du caribou est négatif pendant sept mois de l'année (Gerhart *et al.*, 1996). Le besoin en protéines augmente fortement à la fin de l'hiver alors que jusqu'à 80 % de la masse foetale est en place (Robbins, 1993), utilisant les protéines stockées au cours de l'été précédent. Après la mise bas, les femelles utilisent les protéines obtenues des plantes en croissance pour produire du lait. Le régime alimentaire d'été riche en protéines est aussi essentiel pour les mâles qui doivent regagner la masse corporelle perdue pendant l'hiver et atteindre une condition optimale pour le rut d'automne.

Au mois de juillet, le contenu du rumen des caribous du TRAF était composé à 70 % de feuilles d'arbustes décidus comme le bouleau glanduleux (*Betula nana*) et les saules (*Salix* spp.) (Crête *et al.*, 1990b). Les arbustes répondent de façon impressionnante au réchauffement des écosystèmes arctiques. En Alaska, Tape *et al.* (2006) ont signalé une augmentation de 33 à 160 % dans l'abondance relative des arbustes à feuilles caduques, de 1945 à 2002. Une étude similaire réalisée près de Kangiqsualujjuaq a révélé une augmentation relative de 29 % du couvert d'arbustes érigés de 1964 à 2003 (Tremblay et Lévesque, données non publiées). Une augmentation du couvert arbustif (discuté plus amplement au chapitre 8) pourrait accroître les pâturages d'été pour le caribou, mais un début plus hâtif de la saison de croissance de la végétation (selon les prévisions mentionnées au chapitre 2) peut réduire la digestibilité des feuilles à cause de l'accumulation de lignine, de tannins et

de phénols (Herfindal *et al.*, 2006). La réponse des plantes au réchauffement varie selon les espèces (voir le chapitre 8), les substances nutritives dans le sol et l'importance du réchauffement. Dans des sols pauvres, comme ceux que l'on trouve au Nunavik, on s'attend à une diminution des teneurs en protéines (Turunen *et al.*, 2009).

9.3.4 Changements dans l'abondance et la distribution des compétiteurs, des prédateurs, des parasites et des maladies

Au Nunavik, le bœuf musqué (*Ovibos moschatus*) est le seul mammifère pouvant entrer en compétition avec le caribou (Wilkinson *et al.*, 1976). La population introduite de bœuf musqué occupe une petite partie du territoire du caribou, à des densités modérées. Principalement située le long de la côte au nord-ouest de Kuujuaq, cette population ne compte que quelques milliers de bêtes (Jean *et al.*, 2004). Il est peu probable que les changements climatiques affectent leur abondance à un point où cela nuirait au caribou. Les principaux prédateurs du caribou dans le nord du Québec et du Labrador sont les loups (*Canis lupus*) et les ours noirs (*Ursus americanus*). Il n'existe pratiquement aucune information sur ces prédateurs dans la péninsule nordique du Québec-Labrador et on ne connaît pas l'impact potentiel des changements climatiques sur leur dynamique des populations.

Les maladies du caribou dans les TRG et TRAF ne sont pas surveillées sur une base régulière, mais les impacts possibles des changements climatiques sur les maladies du caribou sont bien documentés ailleurs au pays (Bradley *et al.*, 2005; Hoberg *et al.*, 2008). Des changements directs, comme une augmentation du harcèlement par les insectes, peuvent causer des infections secondaires et une perte de la condition corporelle (Weladji *et al.*, 2002). Une étude réalisée dans le TRG a montré que les femelles gravides réduisent leur temps de recherche de nourriture et se déplacent vers les endroits enneigés pendant la période du harcèlement des insectes (Toupin *et al.*, 1996). Les taux d'infection peuvent aussi augmenter en raison d'une augmentation des mouches



piqueuses qui sont vectrices de parasites. Par exemple, le protozoaire *Besnoitia tarandi* peut causer de graves infections de la peau et des organes reproducteurs chez le caribou et on soupçonne qu'il est transmis par des insectes piqueurs (Wobeser, 1976; Glover *et al.*, 1990). On a relevé un nombre supérieur de kystes de *B. tarandi* dans le TRAF que dans le TRG et dans d'autres troupeaux échantillonnés dans l'Ouest (p. ex., Bathurst, Bluenose West, Porcupine, Southampton) (J. Ducrocq, communication personnelle). Les températures élevées raccourcissent le temps de développement des larves de nématode (du groupe des strongylidés) dans les limaces et les escargots, augmentant conséquemment l'abondance du parasite dans les caribous qui les ingèrent accidentellement en se nourrissant (Kutz *et al.*, 2001; Kutz *et al.*, 2005; Jenkins *et al.*, 2006; Ball *et al.*, 2001). Les escargots sont aussi l'hôte de la grande douve américaine (*Fascioloides magna*), un trématode présent dans les deux troupeaux (TRG et TRAF), surtout dans le TRG (Choquette *et al.*, 1971; Lankester et Lutich, 1988).

La transmission du protozoaire parasite *Toxoplasma gondii* dépend de facteurs environnementaux comme une

température chaude, laquelle est optimale pour le développement des ookystes (œufs). Les précipitations abondantes augmentent le ruissellement et le transport des parasites et par conséquent le risque d'infection lorsque les animaux s'abreuvent ou se nourrissent (Meerburg et Kijlstra, 2009). Dans l'Est du Canada, le lynx du Canada (*Lynx canadensis*) est le seul félin que le caribou peut croiser. Le lynx est le seul animal dans lequel *Toxoplasma gondii* peut se reproduire et produire des ookystes qui peuvent être déposés dans l'environnement. Le lynx est présent au nord jusqu'à la hauteur de Kuujjuaraapik et Kuujuaq (Anderson et Lovallo, 2003). S'il change d'habitat, le lynx pourrait étendre sa distribution vers le nord et infecter de nouvelles espèces fauniques de l'Arctique ou bien accroître l'abondance des parasites dans l'environnement. Le dernier inventaire réalisé fait état de 0,8 % des caribous du Nunavik qui ont été exposés à *Toxoplasma gondii* (Leclair et Doidge, 2001). L'abondance de *Giardia sp* et du protozoaire parasite *Cryptosporidium sp* peut aussi être influencée par les événements de pluies torrentielles et les changements dans les modes de ruissellement des ruisseaux. Les bactéries, comme *Leptospira sp* et *Coxiella burnetti* (fièvre Q), peuvent aussi

persister dans l'environnement lorsque les eaux de surface sont plus chaudes ou pendant des périodes de dessiccation et de sécheresse (Hoberg *et al.*, 2008). On a trouvé des preuves d'infection par ces bactéries dans le bœuf musqué du Nunavik (M. Simard, communication personnelle). De plus, ces cinq derniers pathogènes sont préoccupants pour la santé des Inuits dans l'Est du Canada (Messier *et al.*, 2008).

9.4 Modélisation de la dynamique des populations et distribution spatiale

9.4.1 Présence prévue des troupeaux de la rivière George et de la rivière aux Feuilles

L'on prévoit que les changements planétaires affecteront de nombreux écosystèmes en modifiant la distribution des

espèces (Walther *et al.*, 2002; Parmesan et Yohe, 2003). Les écosystèmes arctiques sont particulièrement vulnérables aux changements des régimes de température et de précipitations. Nous avons comparé la présence actuelle et la présence future potentielle des TRG et TRAF en vertu du scénario de changements climatiques du modèle de circulation générale pour la péninsule du Québec-Labrador, en utilisant des variables prévisionnelles du climat et de l'habitat (Sharma *et al.*, 2009). Nos modèles se fondent sur les données de collier satellite Argos de plus de 200 caribous, de 1988 à 2003. Nous avons constitué une base de données composée de données climatiques (température, précipitations, chutes de neige, déclenchement et durée de la saison de croissance) et de données d'habitat obtenues des capteurs par satellite de SPOT VÉGÉTATION.

Le caribou migrateur démontre une variation spatiale et temporelle dans son usage de l'habitat (figures 4 et 5). L'habitat de grande qualité en particulier est un élément de prédiction fiable de la distribution du caribou (O'Brien *et al.*,

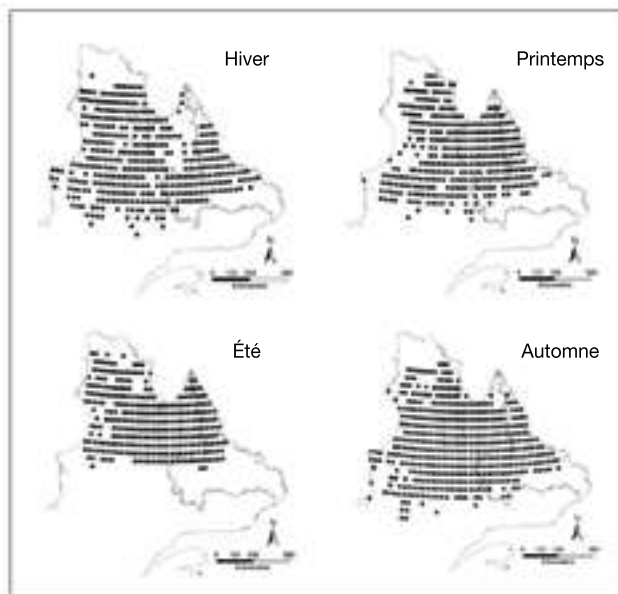


Figure 4. Présence des caribous migrateurs de la rivière George de 1988 à 2003 dans la péninsule du Québec-Labrador (tiré de Sharma *et al.*, 2009). Les points représentent au moins une détection de caribou muni d'un collier satellite pendant la période de 1988 à 2003.

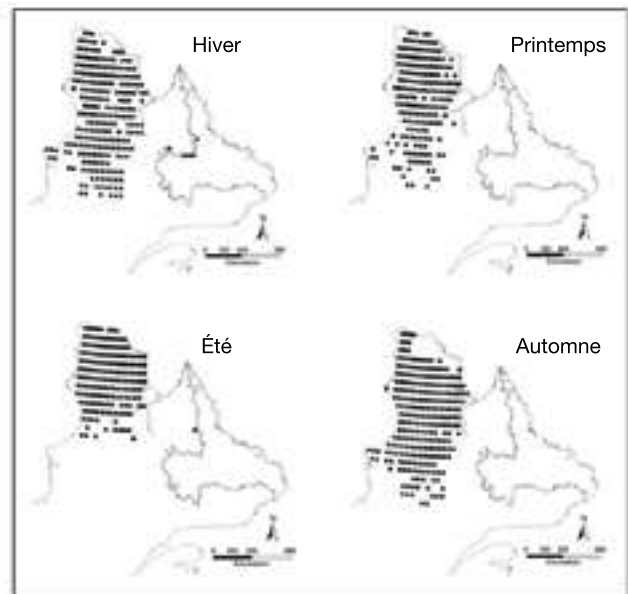


Figure 5. Présence des caribous migrateurs de TRAF de 1994 à 2003 dans la péninsule du Québec-Labrador (tiré de Sharma *et al.*, 2009). Les points représentent au moins une détection de caribou muni d'un collier satellite pendant la période de 1988 à 2003.

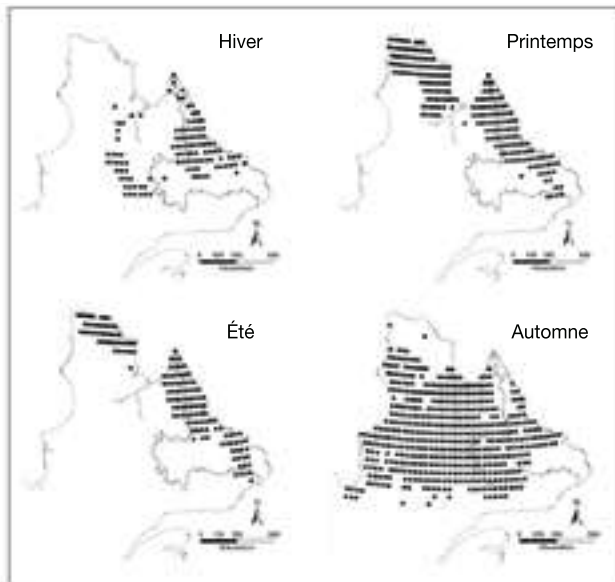


Figure 6. Distribution prévue du caribou de la TRG pour la période de 2040-2069 en vertu d'un scénario de changements climatiques pour la péninsule du Québec Labrador (tiré de Sharma et al., 2009).

2006). Le caribou migrateur semble préférer les régions ayant les plus fortes chutes de neige et la plus grande disponibilité de lichen en automne et en hiver (Sharma *et al.*, 2009). En été, le caribou préfère les secteurs plus frais qui correspondent probablement à une faible prévalence d'insectes et il évite les secteurs perturbés et récemment incendiés. À l'aide des projections du scénario de changements climatiques du modèle de circulation générale pour la période de 2040-2069, nous avons prédit que la présence hivernale, printanière et estivale des caribous du TRG se limitera à la portion nord-est du nord du Québec et du Labrador (figure 6). À l'automne, les conditions climatiques vont probablement être adéquates pour le TRG dans la majorité de son territoire. La présence des caribous du TRAF au printemps et en été devrait demeurer la même (figure 7). Cependant, en hiver et à l'automne, les conditions climatiques devraient être adéquates pour le TRAF dans la majorité de la région à l'étude. On prévoit que le TRG étendra son aire de distribution en toute saison, mais jusqu'à 47,4 % en hiver. De plus, on s'attend à ce que le chevauchement spatial entre les deux troupeaux migratoires augmente au printemps et à l'automne et diminue en hiver

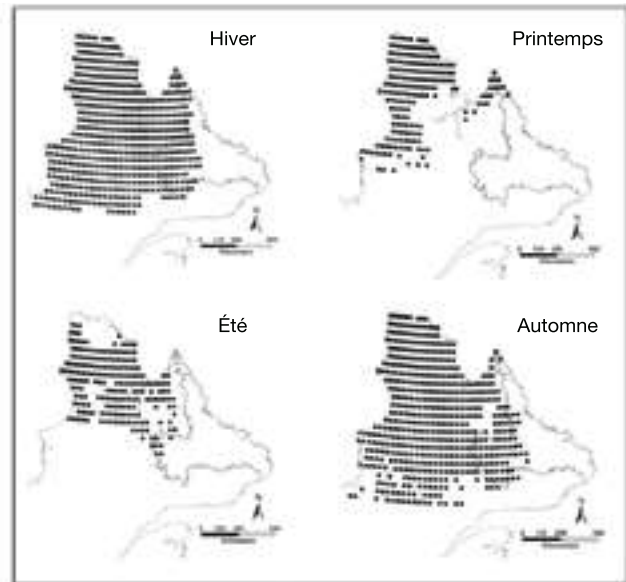


Figure 7. Distribution prévue du caribou de la TRAF pour la période de 2040-2069 en vertu d'un scénario de changements climatiques pour la péninsule du Québec Labrador (tiré de Sharma et al., 2009).

et en été. Un chevauchement plus grand pourrait accroître la compétition pour les aires de mise bas, mais cela pourrait aussi affecter leur emplacement. Au cours des deux ou trois dernières décennies, les aires de mise bas des TRG et TRAF ont été séparées d'environ 800 km et la grande majorité des femelles sont demeurées fidèles à des aires de mises bas très précises (Boulet *et al.*, 2007).

9.4.2 Conséquences des changements dans la présence du caribou

Les conséquences directes et indirectes des changements climatiques sur les troupeaux de caribou migrateur peuvent inclure des modifications dans l'usage de l'habitat, les modes de migration, le comportement de recherche de nourriture et la démographie des animaux, de même qu'un stress social et économique pour les populations autochtones. En plus des effets directs des changements climatiques sur la présence du caribou selon le modèle utilisé dans cette étude (Sharma *et al.*, 2009), l'aire de distribution du caribou pourrait se déplacer encore plus au

nord à cause de plusieurs facteurs comme les périodes plus longues sans glace, l'augmentation des chutes de neige et le nombre accru d'événements météo extrêmes, les modifications dans le régime de feux et les changements dans la distribution des insectes et des prédateurs. Des réductions dans les aires de distribution prévues pour ces deux troupeaux pourraient provoquer des changements dans la taille des populations, ce qui affecterait davantage la distribution du caribou (Bergerud *et al.*, 2008; Couturier *et al.*, 2010). Il faut toutefois souligner que ces projections sont basées sur le climat actuel et l'usage de l'habitat pendant une période où les deux troupeaux étaient abondants. Si le nombre de caribous migrateurs diminuait, il pourrait y avoir des resserrements des aires de distribution qui soient indépendants des changements climatiques (Messier *et al.*, 1988; Bergerud *et al.*, 2008), ce qui met en évidence la difficulté de modéliser l'usage du territoire et la dynamique des populations de grands troupeaux d'animaux migrateurs dans un contexte en évolution.

9.5 Capacité d'adaptation aux changements dans les populations de caribou

9.5.1 Surveillance et évaluation des populations

La conservation et la récolte du caribou requièrent des connaissances sur la taille et la structure de la population. Les changements rapides dans les tendances de population et la variabilité annuelle du recrutement et de la survie du caribou exigent une surveillance constante. La télémétrie par satellite guide les opérations sur le terrain et fournit des renseignements précieux sur les paramètres démographiques et de comportement. On a besoin d'individus d'âge connu pour surveiller les taux de survie des différentes classes d'âge (Festa-Bianchet *et al.*, 2003). Le but premier de la télémétrie est de surveiller les composantes spatiales de l'écologie du caribou, comme le choix de l'habitat, les modes de migration et la distribution. Le maintien



d'un échantillon d'animaux munis de collier détecteur représentatif de la population requiert un investissement et des efforts soutenus, surtout pour répondre aux besoins des recensements aériens (Rettie, 2008).

Les recensements photographiques aériens sont largement utilisés pour estimer l'abondance des populations de caribou en Amérique du Nord (Fisher *et al.*, 2009), d'après les rassemblements saisonniers d'animaux dans des aires ouvertes. Les populations peuvent être estimées à partir du nombre de femelles qui se rassemblent aux aires de mise bas ou dans les territoires après la mise bas, là où la population entière se réunit pendant la période du harcèlement par les mouches (Couturier *et al.*, 2004). Au cours des vingt dernières années, deux recensements de population ont été faits pendant les rassemblements après la mise bas au Québec et au Labrador (Couturier *et al.*, 2004). Le plus récent date de 2010 et documente le déclin rapide du troupeau de la rivière George. Les recensements sont souvent limités en fonction du budget et ils ont lieu à une fréquence variant de cinq à dix ans.

La surveillance de la structure de la population de caribou est essentielle pour évaluer les tendances de la population entre les recensements. La classification annuelle effectuée en automne fournit de l'information sur la proportion de mâles, de femelles, de jeunes et de faons dans la population.

Encadré 1. Le site web de Caribou-Ungava**Un outil efficace pour le transfert des connaissances**

(www.caribou-ungava.ulaval.ca)

Caribou Ungava est un vaste programme de recherche portant sur l'écologie et la dynamique des populations du caribou migrateur de la péninsule du Québec-Labrador, dans le contexte de changements climatiques et du développement industriel. Le programme est supervisé par des chercheurs de l'Université Laval, de l'Université de Sherbrooke et du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Il a été lancé en 2009 en vue de rehausser nos connaissances sur l'écologie du caribou et de répondre à plusieurs préoccupations des gens de l'industrie, des pourvoyeurs et des Autochtones. Pour rapidement diffuser les nouvelles connaissances, l'équipe se sert d'un outil très efficace et accessible : son site web! Le site est le moyen de communication le plus important entre l'équipe de recherche, ses partenaires, les gestionnaires et les usagers de la ressource. N'importe qui peut suivre les progrès du programme de recherche en visitant la section « Nouvelles » (page d'accueil) où toutes les activités sur le terrain, les conférences, les photos, les publications et les activités à venir sont fréquemment mises à jour. Il y a aussi des capsules d'information présentant diverses composantes du programme de recherche et diffusant les nouveaux résultats (page des publications). Ces capsules résument les résultats en langage clair et simple. Le site web est dynamique, accessible et continuellement mis à jour selon les besoins de chaque intervenant. Quiconque ayant un intérêt pour le caribou migrateur peut obtenir de l'information et trouver des réponses à bon nombre de questions à des fins personnelles, scientifiques ou de gestion.



Le rapport faon-mère à l'automne est un indicateur du recrutement annuel (Couturier *et al.*, 2009b). L'observation minutieuse du caribou pendant la classification (à l'automne) permet aux biologistes de distinguer les mâles de différentes catégories d'âge d'après la taille des bois. Ces résultats sont combinés aux rapports des récoltes et aux estimations de population pour calculer les taux de récolte.

Les changements dans l'abondance de la population influencent la condition corporelle du caribou (Couturier *et al.*, 2010). Les indices de l'état corporel fournissent de l'information sur les conditions environnementales passées et récentes. Des indicateurs comme les réserves saisonnières de gras, le ratio de protéines, la taille corporelle et la charge parasitaire sont utiles pour mieux comprendre la dynamique des populations (Morellet *et al.*, 2007). L'état corporel du caribou varie en fonction des conditions environnementales et de la qualité de l'habitat (Couturier *et al.*, 2009a).

9.5.2 Gestion et conservation du caribou migrateur dans le contexte des changements climatiques

Au Québec, le caribou migrateur est soumis à un plan précis de gestion élaboré après consultation de tous les intervenants afin d'assurer des récoltes commerciales, sportives et de subsistance durables (Jean et Lamontagne, 2004). Le gouvernement du Québec a conçu le plan de gestion en étroite collaboration avec le Comité conjoint de chasse, de pêche et de piégeage (CCCPP) dont le mandat est d'intégrer les droits des peuples autochtones signataires à la gestion des espèces fauniques dans le territoire couvert par la Convention de la Baie James et du Nord québécois et de la Convention du Nord-Est québécois.

Le TRG est présent au Québec et à Terre-Neuve-et-Labrador. Il est géré par des compétences et des modalités

de chasse différentes selon l'endroit et le moment de l'année. L'organisation spatiale de la gestion de la chasse est basée sur les aires de distribution saisonnière connues. Les changements climatiques pourraient modifier la distribution saisonnière du caribou et l'on devrait alors apporter des changements aux plans de conservation et de gestion (Sharma *et al.*, 2009).

Le plan de gestion actuel pour le caribou migrateur au Québec n'a pas été élaboré en collaboration avec Terre-Neuve-et-Labrador. Il sera révisé à la fin de 2011 d'après les estimations de population obtenues de l'inventaire aérien effectué en juillet 2010 pour le TRG et celui planifié pour le TRAF. La collaboration entre les deux provinces, le CCCPP, les Innus du Labrador et du Québec et les Inuits du Nunatsiavut est essentielle à la gestion durable du caribou. La communication est fondamentale pour adapter les lignes directrices de gestion en fonction des populations de caribou et de l'environnement en évolution.

9.5.3 Conservation et protection de l'habitat du caribou

La protection de l'habitat du caribou peut contribuer à la conservation de l'espèce en limitant la perte d'habitat et l'exposition aux stress provoqués par les humains. Les aires de mise bas sont des secteurs critiques où le caribou est le plus vulnérable. Les aires de mise bas du TRAF et du TRG sont actuellement les seules zones protégées par la législation québécoise comme étant un habitat pour le caribou migrateur (*Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune*, L.R.Q., c. C-61.1, r.18). Ces secteurs sont protégés uniquement du 15 mai au 1^{er} juillet, alors que la plupart des activités sont interdites ou doivent être autorisées par le ministre.

Il est difficile de définir d'un point de vue légal l'habitat du caribou migrateur, car le territoire en question est extrêmement vaste et il change au fil du temps. Les variations dans les modes de migration et dans la distribution des deux troupeaux exigent une approche souple. Par exemple, l'emplacement des aires de mise bas

pour le TRG a changé substantiellement au fil du temps (voir la figure 2) et la zone à protéger doit aussi pouvoir être adaptée avec le temps. Cette tâche difficile va exiger de vastes zones tampons autour des aires de mise bas actuelles afin de permettre de futurs déplacements.

Nos connaissances accrues de l'écologie du caribou et des effets potentiels des changements climatiques sur la végétation nous permettront de mieux protéger l'habitat du caribou des activités industrielles.

9.5.4 La chasse au caribou dans le futur

Les analyses préliminaires de la mortalité par la chasse des caribous munis de collier radio au cours des dernières années semblent indiquer que les taux de récolte peuvent être substantiels. En particulier, la mortalité annuelle liée à la chasse des mâles pourrait dépasser 20 % et la récolte des femelles munies de collier radio dans le TRG est de plus de 10 %. Nous offrons plusieurs recommandations afin d'améliorer la gestion de l'exploitation du caribou migrateur. Elles sont dictées par deux considérations fondamentales : les récoltes devraient être durables (sur les plans de l'écologie et de l'évolution) et fondées sur la science. De plus, la collecte d'information provenant des caribous récoltés devrait être améliorée.

Pour que les récoltes soient durables, il faut de l'information sur la taille et la composition de la population, ou au moins sur les taux de récolte. Une surveillance continue des taux de récolte des caribous marqués fournira aux gestionnaires des renseignements essentiels sur le troupeau, le sexe des animaux et jusqu'à un certain point sur les taux de récolte en fonction de l'âge. À cet égard, des efforts pour décourager la récolte des caribous marqués seraient contre-productifs, puisque cela imposerait un biais négatif à l'estimation du taux de récolte.

On met actuellement énormément d'importance sur la taille des bois des mâles récoltés et au cours des dernières années la proportion des grands mâles semble avoir décliné

de façon précipitée. Alors que les gestionnaires se rendent compte de l'importance évolutionnaire et écologique des grands mâles matures, il est à souhaiter que les récoltes futures ne soient pas principalement basées sur la taille des bois. Des changements socioculturels dans l'attitude des chasseurs de caribou pourraient s'avérer aussi efficaces que des changements dans la réglementation visant à améliorer le caractère durable de la chasse au caribou.

Pour que la récolte continue du caribou migrateur soit durable, que ce soit par la chasse de subsistance ou la chasse sportive, il faut des renseignements sur ce qui est disponible et sur ce que l'on peut récolter. Les grandes récoltes annuelles de caribou des deux sexes et de tout âge pendant la chasse hivernale pourraient ne pas être durables et la chasse aux trophées en automne pourrait retirer une très grande proportion de mâles matures avant le rut. La récolte d'information sur le nombre, le sexe

et l'âge des caribous récoltés en automne et en hiver et récoltés par les Autochtones permettrait aux gestionnaires d'évaluer les impacts de ces différentes récoltes, surtout si l'on recueille ces renseignements sur une période de plusieurs années.

9.6 Conclusion

Les troupeaux de la rivière George et de la rivière aux Feuilles sont deux des plus grands troupeaux de caribou migrateur au monde (Vors et Boyce 2009) et les déclinés de leurs effectifs pourraient avoir des conséquences sociales et économiques négatives, tout particulièrement pour les peuples Inuits et des premières Nations des régions arctique et subarctique qui dépendent du caribou pour leur subsistance (Miller, 2003). On prévoit des changements prochains dans la distribution du caribou, comme un déplacement du TRG au Labrador (Sharma *et al.*, 2009)



et des diminutions en abondance. Nous estimons que les effets négatifs des changements sur la distribution des animaux et la diminution du nombre de caribous seront plus forts que les effets positifs d'une période de croissance de la végétation plus hâtive et plus longue. Les données probantes disponibles semblent indiquer que l'abondance du caribou et sa distribution changeront prochainement. Les gestionnaires, les intervenants et les communautés devraient se préparer à une moins grande abondance d'animaux et peut-être à une distribution moins prévisible, plus éloignée des villages. D'autres recherches réalisées par Caribou Ungava (encadré), un groupe de recherche sur l'écologie du caribou migrateur dans le contexte des changements climatiques, vont se pencher sur les facteurs qui déterminent les variations dans la dynamique des populations de caribou, les conséquences sur la survie et la reproduction et la réponse de l'habitat du caribou aux divers scénarios de changements climatiques. Il serait possible d'atténuer les éléments de stress sur le caribou migrateur dans la péninsule du Québec-Labrador en axant les efforts de gestion sur l'atténuation des gaz à effet de serre pour réduire les effets potentiels des changements climatiques, la préservation des habitats de grande qualité, la limitation des perturbations anthropiques du paysage et la gestion durable de la chasse.

9.7 Remerciements

Nous souhaitons remercier les organismes de financement du projet Caribou Ungava (www.caribou-ungava.ulaval.ca) ainsi que les gouvernements du Québec et du Labrador qui ont financé une partie des études sur les troupeaux du Québec-Labrador dont les résultats sont présentés dans ce chapitre. Merci également à J. Ducrocq, S. Lair et S. Kutz pour leurs commentaires sur la section 9.3.4.

9.8 Références

- Albon, S. D., and Langvatn, R. 1992. Plant phenology and the benefits of migration in a temperate ungulate. *Oikos*, 65:502-513.
- Anderson, E. M., et Lovallo, M. J. 2003. Bobcat and lynx. In Feldhamer, G. A., Thompson, B. C., et Chapman, J. A. (Eds), *Wild mammals of North America*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, p. 758-786.
- AMAP. 1998. *The AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues*. Arctic monitoring and Assessment Programme, Oslo, 859 pp.
- Ball, M. C., Lankester, M. W., et Mahoney, S. P. 2001. Factors affecting the distribution and transmission of *Elaphostrongylus rangiferi* (Protostrongylidae) in caribou (*Rangifer tarandus caribou*) of Newfoundland, Canada. *Canadian Journal of Zoology* 79:1265-1277.
- Banfield, A. W. F., et Tener, J. S. 1958. A preliminary study of the Ungava Caribou. *Journal of Mammalogy*, 39:560-573.
- Bélanger, M., et Le Hénaff, D. 1985. Distribution, abundance and regulation of caribou hunting in Québec. *Proceedings of the Second North American Caribou Workshop*, Val Morin, Québec. McGill Subarctic Research Paper, 40:3-13.
- Bergerud, A. T., Luttich, S. N., et Lodewijk, C. 2008. The return of caribou to Ungava. McGill-Queen's University Press, Montréal, 656 pp.
- Bolger, D. T., Newmark, W. D., Morrison, T. A., et Doak, D. F. 2008. The need for integrative approaches to understand and conserve migratory ungulates. *Ecology Letters*, 11:63-77.
- Boudreau, S., Payette, S. Morneau, C., et Couturier, S. 2003. Recent decline of the George River caribou herd as revealed by tree-ring analysis. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 35:187-195.
- Boulet, M., Couturier, S., Côté, S. D., Otto, R., et Bernatchez, L. 2007. Integrative use of spatial, genetic, and demographic analyses for investigating genetic connectivity between migratory, montane, and sedentary caribou herds. *Molecular Ecology*, 16:4223-4240.
- Bradley, M. J., Kutz, S. J., Jenkins, E., et O'Hara T. M. 2005. The potential impact of climate change on infectious diseases of Arctic fauna. *International Journal of Circumpolar Health*, 64:468-477.

- Bradshaw, W. E., et Holzapfel, C. M. 2006. Evolutionary response to rapid climate change. *Science*, 312:1477-1478.
- Bronson, F. H. 2009. Climate change and seasonal reproduction in mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 364:3331-3340.
- Brotton, J., et Wall, G. 1997. Climate change and the Bathurst caribou herd in the Northwest Territories, Canada. *Climatic Change*, 35:35-52.
- CCCSN. 2009. Ensemble scenarios for Canada, 2009. In Comer, N. (Ed), Produced by the Canadian Climate Change Scenarios Network. Adaptation and Impacts Research Division, Environment Canada.
- Choquette, L. P. E., Gibson, G. G., et Simard, B. 1971. *Fascioloides magna* (Bassi, 1875) Ward 1917 (Trematoda) in woodland caribou, *Rangifer tarandus caribou* (Gmelin), of northeastern Québec, and its distribution in wild ungulates in Canada. *Canadian Journal of Zoology*, 49:280-281.
- Côté, S. D. 1998. In vitro digestibilities of summer forages utilized by the Rivière George caribou herd. *Arctic*, 51:48-54.
- Coulson, T., Gaillard, J. -M., et Festa-Bianchet, M. 2005. Decomposing the variation in population growth into contributions from multiple demographic rates. *Journal of Animal Ecology*, 74:789-801.
- Couturier, S., Courtois, R., Crépeau, H., Rivest, L.-P., et Luttich S. 1996. Calving photocensus of the Rivière George Caribou Herd and comparison with an independent census. Proceeding of the Sixth North American Caribou Workshop, Prince George, BC. *Rangifer Special Issue*, 9:283-296.
- Couturier, S., Jean, D., Otto, R., et Rivard S. 2004. Démographie des troupeaux de caribous m http://www.caribou-ungava.ulaval.ca/fileadmin/documents/Articles_PDF/Festa-Bianchet_et_al._2011_CanJZool.pdf igrateurs-toundriques (*Rangifer tarandus*) au Nord-du-Québec et au Labrador. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de l'aménagement de la faune du Nord-du-Québec et Direction de la recherche sur la faune, Québec, 71 pp.
- Couturier, S., Côté, S. D., Huot, J., et Otto, R. D. 2009a. Body condition dynamics in a northern ungulate gaining fat in winter. *Canadian Journal of Zoology*, 87:367-378.
- Couturier, S., Côté, S. D., Otto, R. D., Weladji, R. B., et Huot, J. 2009b. Variation in calf body mass in migratory caribou: the role of habitat, climate, and movements. *Journal of Mammalogy*, 90:442-452.
- Couturier, S., Otto, R. D., Côté, S. D., Luther, G., et Mahoney, S. P. 2010. Body size variations in caribou ecotypes and relationships with demography. *Journal of Wildlife Management*, 74:395-404.
- Crête, M., Morneau, C., et Nault, R. 1990a. Biomasse et espèces de lichens terrestres disponibles pour le caribou dans le nord du Québec. *Canadian Journal of Botany*, 68:2047-2053.
- Crête, M., Huot, J., et Gauthier L. 1990b. Food selection during early lactation by caribou calving on the tundra in Québec, *Arctic* 43:60-65.
- Crête, M., Couturier, S., Hearn, B. J., et Chubbs T. E. 1996. Relative contribution of decreased productivity and survival to recent changes in the demographic trend of the Rivière George caribou herd. *Rangifer Special Issue*, 9:27-36.
- Crête, M. 1999. The distribution of deer biomass in North America supports the hypothesis of exploitation ecosystems. *Ecology Letters*, 2:223-227.
- Elton, C. 1942. Voles, mice and lemmings: Problems in population dynamics. Clarendon Press, Oxford, 496 pp.
- Fancy, S. G., et Whitten, K. R. 1991. Selection of calving sites by Porcupine herd caribou. *Canadian Journal of Zoology*, 69:1736-1743.
- Fancy, S. G., Whitten, K. R., et Russell, D. E. 1994. Demography of the Porcupine caribou herd, 1983-1992. *Canadian Journal of Zoology*, 72:840-846.
- Festa-Bianchet, M., Gaillard, J. -M., et Côté, S. D. 2003. Variable age structure and apparent density-dependence in survival of adult ungulates. *Journal of Animal Ecology*, 72:640-649.

- Festa-Bianchet, M., Ray, J. C., Boutin, S., Côté, S. D., et Gunn, A. 2011. Caribou conservation in Canada: an uncertain future. *Canadian Journal of Zoology*, 89:419-434.
- Fisher, J. T., Roy, L. D., et Hiltz, M. 2009. Barren-ground caribou management in the Northwest Territories: an independent peer review. Alberta Research Council, Sustainable Ecosystems Unit, Ecological Conservation Management Program, Vegreville, 53 pp.
- Frame, P. F., Cluff, H. D., et Hik, D. S. 2008. Wolf reproduction in response to caribou migration and industrial development in the central barrens of mainland Canada. *Arctic*, 61:134-142.
- Fryxell, J. M., Greever, J., et Sinclair, A. R. E. 1988. Why are migratory ungulates so abundant? *American Naturalist*, 131:781-798.
- Gaillard, J. -M., Festa-Bianchet, M., Yoccoz, N.G. Loison, A., et Toïgo, C. 2000. Temporal variation in fitness components and population dynamics of large herbivores. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31:367-393.
- Gerhart, K. L., White, R. G., Cameron, R. D., et Russell, D. E. 1996. Body composition and nutrient reserves of arctic caribou. *Canadian Journal of Zoology*, 74:136-146.
- Glover, G. J., Swendrowski, M., et Cawthorn, R. J. 1990. An epizootic of Besnoitiosis in captive caribou (*Rangifer tarandus caribou*), reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) and mule deer (*Odocoileus hemionus hemionus*). *Journal of Wildlife Diseases*, 26:186-195.
- Gulland, F. M. 1992. The role of nematode parasites in Soay sheep (*Ovis aries L.*) mortality during a population crash. *Parasitology*, 105:493-503.
- Hebblewhite, M. 2005. Predation by wolves interacts with the North Pacific Oscillation (NPO) on a western North American elk population. *Journal of Animal Ecology*, 74:226-233.
- Herfindal, I., Solberg, E. J., Sæther, B. -E., Høgda, K. A., et Andersen, R. 2006. Environmental phenology and geographical gradients in moose body mass. *Oecologia*, 150:213-224.
- Hoberg, E. P., Polley, L., Jenkins, E. J., Kutz, S. J., Veitch, A. M., et Elkin, B. T. 2008. Integrated approaches and empirical models for investigation of parasitic diseases in northern wildlife. *Emerging Infectious Diseases*, 14:10-17.
- Jacobson, A. R., Provenzale, A., von Hardenberg, A., Bassano, B., et Festa-Bianchet, M. 2004. Climate forcing and density-dependence in a mountain ungulate population. *Ecology*, 85:1598-1610.
- Jean, D., et Lamontagne, G. 2004. Northern Québec caribou (*Rangifer tarandus*) Management Plan 2004-2010. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune – secteur Faune Québec, Direction de l'aménagement de la faune du Nord-du-Québec, Québec, 80 pp.
- Jean, D., Rivard, S., et Bélanger M. 2004. Inventaire et structure de population du boeuf musqué (*Ovibos moschatus*) au sud-ouest de la baie d'Ungava, août 2003. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de l'aménagement de la faune du Nord-du-Québec, Québec, 22 pp.
- Jenkins, E. J., Veitch, A. M., Kutz, S. J., Hoberg, E. P., et Polley, L. 2006. Climate change and the epidemiology of protostrongylid nematodes in northern ecosystems: *Parelaphostrongylus odocoilei* and *Protostrongylus stilesi* in Dall's sheep (*Ovis d. dalli*). *Parasitology*, 132:387-401.
- Joly, K., Jandt, R. R., et Klein, D. R. 2009. Decrease of lichens in Arctic ecosystems: the role of wildfire, caribou, reindeer, competition and climate in North-Western Alaska. *Polar Research*, 28:433-442.
- Klein, D. R. 1990. Variation in quality of caribou and reindeer forage plants associated with season, plant part, and phenology. *Rangifer Special Issue*, 3:123-131.
- Kutz, S. J., Elkin, B. T., Panay, D., et Dubey, J. P. 2001. Prevalence of *Toxoplasma gondii* antibodies in barren-ground caribou (*Rangifer tarandus groenlandicus*) from the Canadian Arctic. *Journal of Parasitology*, 87:439-442.
- Kutz, S. J., Hoberg, E. P., Polley, L., et Jenkins E. J. 2005. Global warming is changing the dynamics of Arctic host-parasite systems. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 272:2571-2576.

- Lankester, M. W., et Luttich, S. 1988. Fascioloides magna (Trematoda) in woodland caribou (Rangifer tarandus caribou) of the George River herd, Labrador. Canadian Journal of Zoology, 66:475-479.
- Leclair, D., et Doidge, D. W. 2001. Seroprevalence survey for Toxoplasma gondii in Arctic wildlife from Nunavik. Progress report submitted to Nunavik Regional Board of Health and Social Services, Nunavik Research Centre. Makivik Corporation, Kuujuaq, 4 pp.
- Le Hénaff, D. 1976. Inventaire aérien des terrains de vèlage du caribou dans la région nord et au nord du territoire de la municipalité de la Baie James (mai-juin 1975). Service de la recherche biologique, Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Québec, 28 pp.
- Low, A. P. 1896. Report on explorations in the Labrador Peninsula along the Eastmain, Koksoak, Hamilton, Manicouagan, and portions of others rivers, in 1892-95. Geological Survey of Canada, 8:1-387.
- Magnuson, J. J., Robertson, D. M., Benson, B. J., Wynne, R. H., Livingstone, D. M., Arai, T., Assel, R. A., Barry, R. G., Card, V., Kuusisto, E., Granin, N. G., Prowse, T. D., Stewart, K. M., et Vuglinski. V. S. 2000. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. Science, 289:1743-1746.
- Maxwell, B. 1992. Arctic Climate: Potential for change under global warming. In Chapin F. S. III, Jefferies, R.L., Reynolds, J. F., Shaver, G. R., et Svoboda J. (Eds), Arctic Ecosystems in a Changing Climate: An Ecophysiological Perspective. Academic Press, San Diego, p. 11-34.
- Meerburg, B. G., et Kijlstra, A. 2009. Changing climate-changing pathogens: Toxoplasma gondii in North-Western Europe. Parasitology Research, 105:17-24.
- Messier, F., Huot, J., Le Henaff, D., et Luttich, S. 1988. Demography of the George River caribou herd: evidence of population regulation by forage exploitation and range expansion. Arctic, 4:279-287.
- Messier, V., Lévesque, B., Proulx, J., Rochette, L., Libman, M., Ward, B., Serhir, B., Couillard, M., Ogden, N., Dewailly, E., Hubert, B., Déry, S., Barthe, C., Murphy, D., et Dixon B. 2008. Seroprevalence of Toxoplasma gondii among Nunavik Inuit (Canada). Zoonoses and Public Health, 56:188-197.
- Miller, F. L. 2003. Caribou. In Feldhamer, G. A., Thompson, B. C., et Chapman J. A. (Eds), Wild Mammals of North America, Johns Hopkins University Press, Baltimore, p. 965-997.
- Miller, F. L., et Gunn, A. 1986. Observations of barren-ground caribou travelling on thin ice during autumn migration. Arctic, 39:85-89.
- Miller, F. L., et Gunn, A. 2003. Catastrophic die-off of Peary Caribou on the Western Queen Elizabeth Islands, Canadian High Arctic. Arctic, 56:381-390.
- Morellet, N., Gaillard, J. -M., Hewison, A. J. M., Ballon, P., Boscardin, Y., Duncan, P., Klein, F., et Maillard, D. 2007. Indicators of ecological change: new tools for managing populations of large herbivores. Journal of Applied Ecology, 44:634-643.
- Nault, R., et Le Hénaff, D. 1988. Validation des sites potentiellement dangereux pour le caribou sur le territoire du Nouveau-Québec. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Québec, Canada.
- Nelson, J. L., Zavaleta, E. S., et Chapin, F. S. 2008. Boreal fire effects on subsistence resources in Alaska and adjacent Canada. Ecosystems, 11:156-171.
- O'Brien, D., Manseau, M., Fall, A., et Fortin, M. -J. 2006. Testing the importance of spatial configuration of winter habitat for woodland caribou: an application of graph theory. Biological Conservation, 13:70-83.
- Parker, K. L., Robbins, C. T., et Hanley, T. A. 1984. Energy expenditures for locomotion by mule deer and elk. Journal of Wildlife Management, 48:474-488.
- Parnesan, C., et Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature, 421:37-42.
- Post, E., Bøving, P. S., Pedersen, C., et MacArthur M. A. 2003. Synchrony between caribou calving and plant phenology in depredated and non-depredated populations. Canadian Journal of Zoology, 81:1709-1714.

- Post, E., et Forchhammer, M. C. 2008. Climate change reduces reproductive success of an Arctic herbivore through trophic mismatch. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 363:2369-2375.
- Post, E., Pedersen, C., Wilmers, C. C., et Forchhammer M. C. 2008. Warming, plant phenology and the spatial dimension of trophic mismatch for large herbivores. *Proceedings of The Royal Society B- Biological Sciences*, 275:2005-2013.
- Rennert, K. J., Roe, G., Putkonen, J., et Bitz, C. M. 2009. Soil thermal and ecological impacts of rain on snow events in the circumpolar Arctic. *Journal of Climate*, 22:2302-2315.
- Rettie, J. 2008. Determining optimal radio-collar sample sizes for monitoring barren-ground caribou populations. Report to the Department of Environment and Natural Resources, Government of the Northwest Territories, Yellowknife, 32 pp.
- Robbins, C. T. 1993. *Wildlife feeding and nutrition*. Academic Press, San Diego, 352 pp.
- Schaefer, J. A., et Luttich, S. N. 1998. Movements and activity of caribou, *Rangifer tarandus caribou*, of the Torngat Mountains, Northern Labrador and Québec. *Canadian Field-Naturalist*, 112:486-490.
- Sharma, S., Couturier, S., et Côté, S. D. 2009. Impacts of climate change on the seasonal distribution of migratory caribou. *Global Change Biology*, 15:2549-2562.
- Solberg, E. J., Jordhøy, P., Strand, O., Aanes, R., Loison, A., Sæther, B. E., et Linnell J. D. C. 2001. Effects of density-dependence and climate on the dynamics of a Svalbard reindeer population. *Ecography*, 24:441-451.
- Tape, K., Sturm, M., et Racine, C. 2006. The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic. *Global Change Biology*, 12:686-702.
- Tremblay, J. -P., Thibault, I., Dussault, C., Huot, J., et Côté, S. D. 2005. Long-term decline in white-tailed deer browse supply: can lichens and litterfall act as alternate food sources that preclude density-dependent feedbacks? *Canadian Journal of Zoology*, 83: 1087-1096.
- Toïgo, C., et Gaillard, J. M. 2003. Causes of sex-biased adult survival in ungulates: sexual size dimorphism, mating tactic or environment harshness? *Oikos*, 101:376-384.
- Toupin, B., Huot, J., et Manseau, M. 1996. Effect of insect harassment on the behaviour of the Rivière George caribou. *Arctic*, 49:375-382.
- Turunen, M., Soppela, P., Kinnunen, H., Sutinen, M. L., et Martz, F. 2009. Does climate change influence the availability and quality of reindeer forage plants? *Polar Biology*, 32:813-832.
- Tyler, N. J. C. 2010. Climate, snow, ice, crashes, and declines in populations of reindeer and caribou (*Rangifer tarandus L.*). *Ecological Monographs*, 80:197-219.
- Vors, L. S., et Boyce M. S. 2009. Global declines of caribou and reindeer. *Global Change Biology*, 15:2626-2633.
- Walther, G. -R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. -M., Hoegh-Guldberg, O., et Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416:389-395.
- Weladji, R. B., Klein, D. R., Holand, Ø., et Mysterud, A. 2002. Comparative response of *Rangifer tarandus* and other northern ungulates to climatic variability. *Rangifer*, 22:29-46.
- Wikelski, M., Tarlow, E. M., Raim, A., Diehl, R. H., Larkin, R. P., et Visser, G. H. 2003. Costs of migration in free-flying songbirds. *Nature*, 423:704-704.
- Wilkinson, P. F., Shank, C. C., et Penner, D. F. 1976. Muskox-caribou summer range relations on Banks Island, N.W.T. *Journal of Wildlife Management*, 40:151-162
- Wobeser, G. 1976. Besnoitiosis in woodland caribou. *Journal of Wildlife Diseases*, 12:566-571.



Chapitre 10. Un premier aperçu des écosystèmes des *kangidualuk* (fjords) du Nunatsiavut

Auteurs principaux

Tanya Brown^{1,2,3}, Ken Reimer³, Tom Sheldon⁴ et Trevor Bell⁵

¹Département de biochimie et de microbiologie, Université de Victoria, Victoria (C.-B.); ²Institut des sciences de la mer, Pêcherie et Océans Canada, Sidney (C.-B.); ³Groupe des sciences de l'environnement, Collège militaire royal du Canada, Kingston (Ont.); ⁴Gouvernement du Nunatsiavut, Nain (T.-N.); ⁵Université Memorial de Terre-Neuve, St. John's (T.-N.)

Coauteurs

S. Bentley, R. Pienitz, M. Gosselin, M. Blais, M. Carpenter, E. Estrada, T. Richerol, E. Kahlmeyer, S. Luque, B. Sjøare, A. Fisk et S. Iverson

Résumé

Le littoral du Labrador est échanuré par de longs bras de mer que l'on classifie comme étant des fjords ou des fjards. Le long de la côte nord montagneuse, c'est un paysage de fjords classique qui domine, avec de profonds bassins aux fonds vaseux (jusqu'à ~ 300 m) séparés par des seuils rocheux et flanqués de hautes parois abruptes (jusqu'à 1 000 m). Par contre, le long du littoral centre et sud du Labrador, les bras de mer sont généralement peu profonds (150 m), de formes irrégulières avec des parois à pente douce et de vastes zones intertidales; ce sont des fjards. Ces fjords et fjards sont d'importants sites d'alimentation pour les mammifères marins et les oiseaux de mer et ils sont communément utilisés par les Inuits pour la chasse et les déplacements. Malgré leur importance écologique et socioculturelle, ces écosystèmes marins sont grandement sous-étudiés. Le but premier du projet Nunatsiavut-Nuluak est d'entreprendre des inventaires de base et des évaluations comparatives des écosystèmes marins représentatifs au Labrador, dont la composition, la distribution et l'abondance des communautés benthiques et pélagiques, les processus des fjords et les conditions océanographiques. On se penche aussi sur une étude de cas démontrant la résilience de l'écosystème aux perturbations anthropiques. Cette information fournit une base pour les recherches et la surveillance à faire alors que les changements climatiques et les pressions exercées par l'homme modifient les conditions actuelles.



10.1 Introduction

Le littoral du Labrador est échancré par des fjords spectaculaires. Ces fjords sont influencés par les masses d'eau de l'Atlantique et de l'Arctique et reçoivent de l'eau douce, des substances nutritives et des sédiments provenant des glaciers et des rivières. Les fjords sont généralement de longs bras de mer étroits sculptés par la glace des glaciers. Les fjords classiques sont de profonds bassins aux fonds vaseux séparés par des seuils rocheux et flanqués de hautes parois abruptes. Par contre, le littoral au centre du Labrador est dominé par des bras de mer peu profonds, de formes irrégulières avec des parois à pente douce et de vastes zones intertidales. Ces bras de mer moins spectaculaires, bien qu'aussi sculptés par les glaciers, sont appelés des fjards.

Les fjords et fjards du Labrador hébergent une faune et une flore arctiques et boréales et ils sont des lieux d'alimentation importants pour les mammifères marins et les oiseaux de mer. Les hommes se sont installés le long de ces bras de mer depuis des millénaires, attirés par la richesse et la diversité des ressources et par le climat favorable. Les Inuits du Labrador dépendent de ces milieux pour la récolte traditionnelle, les déplacements et le développement économique; ils reconnaissent aussi les pressions accrues auxquelles sont soumis ces systèmes sensibles à cause des changements naturels (c.-à-d. le climat) et anthropiques (p. ex., les industries).

Bien que ces zones côtières soient extrêmement importantes pour la santé et le bien-être des Inuits, elles demeurent sous-étudiées et relativement peu connues d'un point de vue scientifique. Par exemple, seuls de maigres détails sont disponibles sur leur écologie, l'océanographie physique et les liens entre terre et mer. Afin d'évaluer les impacts potentiels des facteurs de stress nouveaux ou accrus, il est nécessaire d'établir les conditions de base à partir desquelles nous pourrions mesurer les changements prédits ou observés. Par conséquent, depuis 2006 notre équipe pluridisciplinaire, constituée de chercheurs des universités, de l'industrie et des gouvernements, a entrepris des inventaires de base et des évaluations comparatives de quatre écosystèmes marins représentatifs au Labrador.

L'objectif général du programme est d'aborder les préoccupations des Inuits concernant l'intégrité écologique de ces milieux marins confrontés aux changements climatiques, à l'extraction et à la contamination des ressources naturelles. Les quatre écosystèmes marins étudiés sont : le fjord de Nachvak – un fjord vierge du nord du Labrador entouré du parc national du Canada des Monts-Torngat (PNMT); le fjord de Saglek – un fjord avec une source ponctuelle de contamination, situé également dans le nord du Labrador; la baie d'Okak – un fjard dans la partie centrale du littoral du Labrador fréquemment utilisé pour la récolte et les déplacements par les Inuits de Nain, le village le plus proche situé à environ 100 km au sud; la baie Anaktalak – un autre fjard situé dans la partie centrale du littoral du Labrador qui est la route de navigation d'une mine et d'une usine de concentration de minerai au fond de la baie (figure 1). Les fjords de Nachvak et de Saglek sont situés au-delà de la latitude 58° N, au nord de la limite forestière et au sein de l'écorégion arctique, tandis que les baies d'Okak et d'Anaktalak sont situées entre les latitudes 56° et 58° N, au sein de l'écorégion subarctique, au sud de la limite forestière.

Avant l'ère moderne, les seuls établissements permanents le long de la côte nord du Labrador étaient des postes de traite de la Compagnie de la Baie d'Hudson (HBC) et les sites des missions moraves (Fitzhugh, 1980). Au cours des XIX^e et XX^e siècles, la baie d'Okak hébergeait la plus grande population inuite du littoral du Labrador. Nutak, située à Okak, était une mission morave et plus tard un poste de la HBC de 1920 à 1956 (Kleivan, 1966). Il y a aussi des vestiges de sites de missions et de postes de la HBC dans les fjords de Saglek et de Nachvak. Hebron, le dernier établissement permanent dans le nord du Labrador, a été fermé en 1959 quand les Inuits ont été forcés à se réinstaller dans des villages plus au sud. Le développement industriel et les établissements à grande échelle sont généralement absents du fjord de Nachvak et de la baie d'Okak. Le PNMT a été établi en 2005 et la recherche effectuée dans le fjord de Nachvak est un des éléments importants du programme de recherche et de suivi environnemental du parc.

Les sites à l'extérieur du fjord de Saglek (baie de Saglek) et à l'intérieur de la baie d'Anaktalak sont des sites d'activités

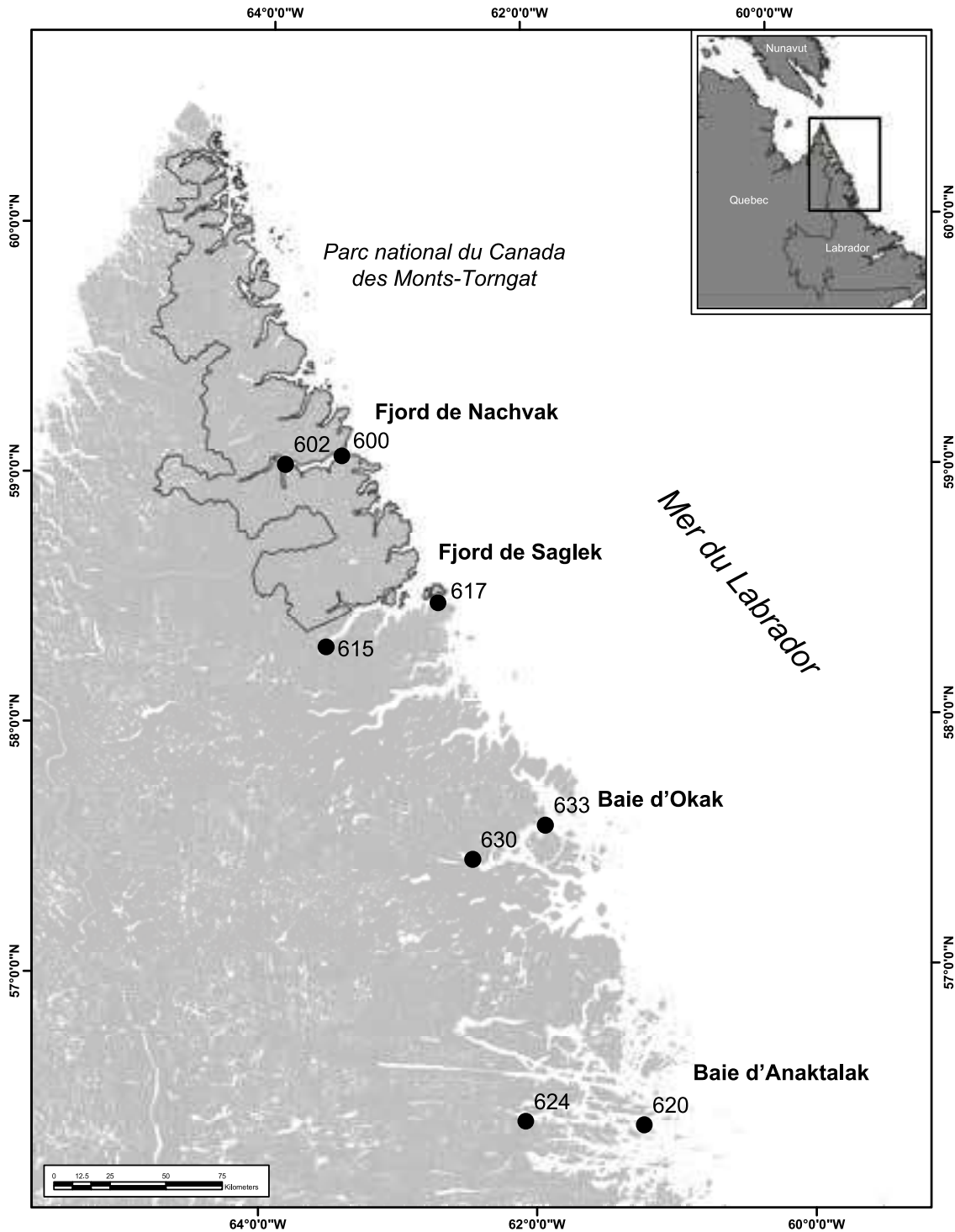


Figure 1. Emplacement des aires d'études marines au Nunatsiavut (Nachvak, Saglek, Okak et Anaktalak). La carte indique les stations océanographiques à la tête et à l'embouchure des fjords et des fjards.

humaines modernes et industrielles. La baie de Saglek a été largement utilisée dans les années 1960 lors de la construction et de l'entretien de la station radar militaire de Saglek. Les opérations passées y ont causé une importante contamination du sol au biphényle polychloré (BPC) (Brown *et al.*, 2009; Kuzyk *et al.*, 2005) et avant la restauration des sols en 1997-1999, la contamination initiale s'est étendue dans le milieu marin. On a mesuré des concentrations élevées de BPC dans les sédiments marins et dans la chaîne alimentaire du littoral à plus de 7,5 km du lieu d'origine de la contamination (Kuzyk *et al.*, 2005). Le camp de base kANGIDLUASUK, également situé dans la baie de Saglek, se trouve en territoire inuit à la limite sud du PNMT; c'est un camp d'été pour les jeunes. Au fond de la baie d'Anaktalak se trouvent la mine et le concentrateur de nickel-cuivre-cobalt que Vale NL (anciennement Voisey's Bay Nickel Company) exploite depuis 2005. Les Inuits du Labrador sont préoccupés par les impacts environnementaux potentiels de la mine et du concentrateur, tout particulièrement en ce qui concerne l'expédition par bateau en hiver à partir des installations portuaires de l'anse Edward, le long de la baie d'Anaktalak jusqu'à la mer du Labrador, et les effluents traités de la mine qui sont rejetés dans la baie.

Nous présentons ici ce que nous avons appris de ces quatre écosystèmes au cours des cinq dernières années et nous cernons les lacunes de connaissances essentielles qu'il faudra combler au cours des prochaines années. Le travail de base effectué dans ces écosystèmes marins comprend : la configuration de la structure des communautés, la distribution et l'abondance de la faune et de la flore benthiques et pélagiques, des analyses sédimentologiques, paléocéanographiques et paléolimnologiques pendant les périodes des établissements inuits et européens et pendant la période de modernisation et, finalement, l'étude de la résilience de l'écosystème arctique aux perturbations anthropiques.

10.2 Caractéristiques physiques

Le fjord de Nachvak est une fosse d'origine glaciaire de 45 km de long qui pénètre jusqu'au coeur des monts Torngat, produisant des parois d'une hauteur de 1 000 m et des bassins d'une profondeur de 200 m. Le fjord a une largeur de 2 à

4 km, s'élargissant graduellement vers l'est jusque dans la baie de Nachvak qui s'ouvre sur la mer du Labrador (Bell et Josenhans, 1997). Les bassins du fjord deviennent de plus en plus profonds vers l'embouchure, leur profondeur variant de 90 à 210 m (Copeland *et al.*, 2008). Les bassins sont séparés par des seuils d'une hauteur de 10 à 180 m sous le niveau de la mer, composés de substrat rocheux ou de dépôts glaciaires. Les profils sismiques des bassins ont révélé des sédiments non consolidés de plus de 180 m d'épaisseur qui s'étendent sur deux épisodes glaciaires (Rogerson *et al.*, 1986; Bell et Josenhans, 1997). Le fjord de Nachvak reçoit la plupart de ses sédiments actuels du ruisseau Ivitak, une rivière nourrie par un glacier qui draine la partie centre-sud du bassin versant du fjord. La charge annuelle moyenne de sédiments dans les bassins varie de 35 000 à 100 000 tonnes (Kahlmeyer, 2009).

Le grand système d'embranchements du fjord et de la baie de Saglek est d'une longueur 65 km (Fitzhugh, 1980). Le fjord de Saglek décrit strictement la fosse d'origine glaciaire de morphologie classique représentée par le bras ouest et ses tributaires les bras nord et sud-ouest. Plus à l'est, le fjord s'ouvre dans la baie de Saglek, laquelle est d'une largeur de 14 km et parsemée de petites et grandes îles. Les parois du fjord sont en général abruptes, s'élevant verticalement à plus de 800 m au-dessus du niveau de la mer. Les bassins du fjord deviennent de plus en plus profonds à l'approche de l'embouchure, variant en profondeur d'eau de 80 à 256 m. Des seuils de 45 à 96 m de hauteur sous le niveau de la mer séparent les bassins. Le fjord de Saglek reçoit la majorité de ses sédiments du ruisseau Nachvak, une rivière alimentée par la fonte des neiges qui draine la partie centre-nord du bassin versant du fjord. La charge annuelle moyenne de sédiments dans les bassins varie de 16 000 à 380 000 tonnes (Kahlmeyer, 2009).

La baie d'Okak (fjard) est un bras de mer de forme irrégulière d'une longueur de 50 km avec des entrées au nord et au sud de chaque côté de l'île Okak. Le bassin versant entourant la baie est un terrain ondulé et peu élevé (en moyenne 100 à 200 m) avec seulement quelques sommets locaux de plus de 400 m. Sous l'eau, la profondeur moyenne est de 40 à 80 m, avec des bassins au fond plat séparés par des seuils de bas relief. Le

fond de la baie est relativement peu profond (45 à 50 m de profondeur d'eau) avec deux principales entrées d'eau douce, la rivière Saputit et la rivière North. Les bassins de loin les plus profonds sont ceux du côté nord-est de l'île Okak le long de l'entrée nord, là où les profondeurs d'eau atteignent 200 m. L'entrée sud est étroite et peu profonde, bordée au sud par la péninsule Ubilik et au nord par l'île Okak. Le ruisseau Siorak se jette du nord dans la baie centrale, à l'ouest de l'île Okak.

La baie d'Anaktalak est un fjard long, étroit et droit qui s'étire sur 65 km de long et mesure en majeure partie 2 km de large. Les parois du fjard sont peu élevées et discontinues, composées de nombreuses îles de tailles diverses. La majorité de la baie forme un large bassin de 100 à 120 m de profondeur qui remonte jusqu'à un seuil d'une profondeur de 85 m dans la baie extérieure. La charge moyenne de sédiments dans le bassin Anaktalak varie de 1 300 à 14 000 tonnes par année (Kahlmeyer, 2009).

10.3 Océanographie

Les observations de l'océanographie physique des fjords et des fjards se limitent à quelques stations CTP (mesures de la conductivité, de la température et de la profondeur) dans chaque bras de mer où des mesures sont prises une fois par an ou par deux ans. Malheureusement, cela est insuffisant pour nous renseigner sur les modes d'échange et la circulation de l'eau. On peut néanmoins faire certains commentaires sur les caractéristiques de la colonne d'eau. La stratification des eaux de surface des fjords et des fjards est favorisée par le ruissellement d'eau douce et par la fonte de glace. Pendant l'été, on observe une forte pycnocline (là où le gradient de densité de l'eau est à son maximum) alors que l'eau douce en surface recouvre une couche intermédiaire d'eau salée. À l'automne, la colonne d'eau est plus homogène (moins stratifiée). En été, la couche de surface de la baie d'Anaktalak est saumâtre (salinité ~ 28 ‰) et s'étend jusqu'à une profondeur de 15 m (figure 2). De la même façon, les valeurs de salinité les plus basses dans les fjords de Nachvak et de Saglek sont aussi enregistrées en été (29,0 et 30,4 ‰, respectivement; figure 2). La circulation verticale ou le renversement de

la colonne d'eau stratifiée se produit vraisemblablement dans chaque bras de mer, car les eaux de surface (moyenne = 8,07 ml/l; plage = 7,24 – 8,86 ml/l) et les eaux de fond (moyenne = 6,77 ml/l; plage = 5,88 – 8,00 ml/l) ont des teneurs semblables en oxygène.

10.4 La présence de BPC dans la baie de Saglek : les mesures d'atténuation fonctionnent, mais certaines préoccupations subsistent pour les organismes au sommet de la chaîne trophique

Une station de radar militaire a été installée sur un promontoire bordant la baie de Saglek à la fin des années 1950 (Brown *et al.*, 2009; Kuzyk *et al.*, 2005). Lors d'une étude environnementale du site radar LAB-2 à Saglek en 1996, on a constaté une importante contamination par les BPC dans le sol, dans les sédiments près de la plage locale et dans les biotes de la baie adjacente, le mouillage de Saglek. Les concentrations totales de BPC dans la chaîne alimentaire à base de benthos dans la baie étaient significativement supérieures aux niveaux naturels jusqu'à une distance d'au moins 7,5 km de la plage contaminée. Des concentrations relativement élevées de BPC ont aussi été découvertes dans certaines espèces à distribution plus vaste, comme le goéland marin (*Larus marinus*) et le phoque annelé (*Pusa hispida*) (Kuzyk *et al.*, 2005). La présence de tels composés dans un milieu marin était plutôt préoccupante étant donné leur tendance à la bioaccumulation et à la bioamplification dans la chaîne alimentaire (Addison, 1982; Addison *et al.*, 2005; Muir *et al.*, 1988; 1992).

De 1997 à 1999, conjointement à l'excavation et au retrait du sol contaminé par les BPC en milieu terrestre (Brown *et al.*, 2009; Kuzyk *et al.*, 2005) (figure 3), une vaste étude a été entreprise afin d'évaluer la contamination des sédiments et des biotes marins dans la baie de Saglek. Les chercheurs ont effectué une évaluation des risques écologiques (ERE) basée sur les impacts observés afin de cerner les dangers potentiels pour les biotes locaux (ESG, 2002; Kuzyk *et*

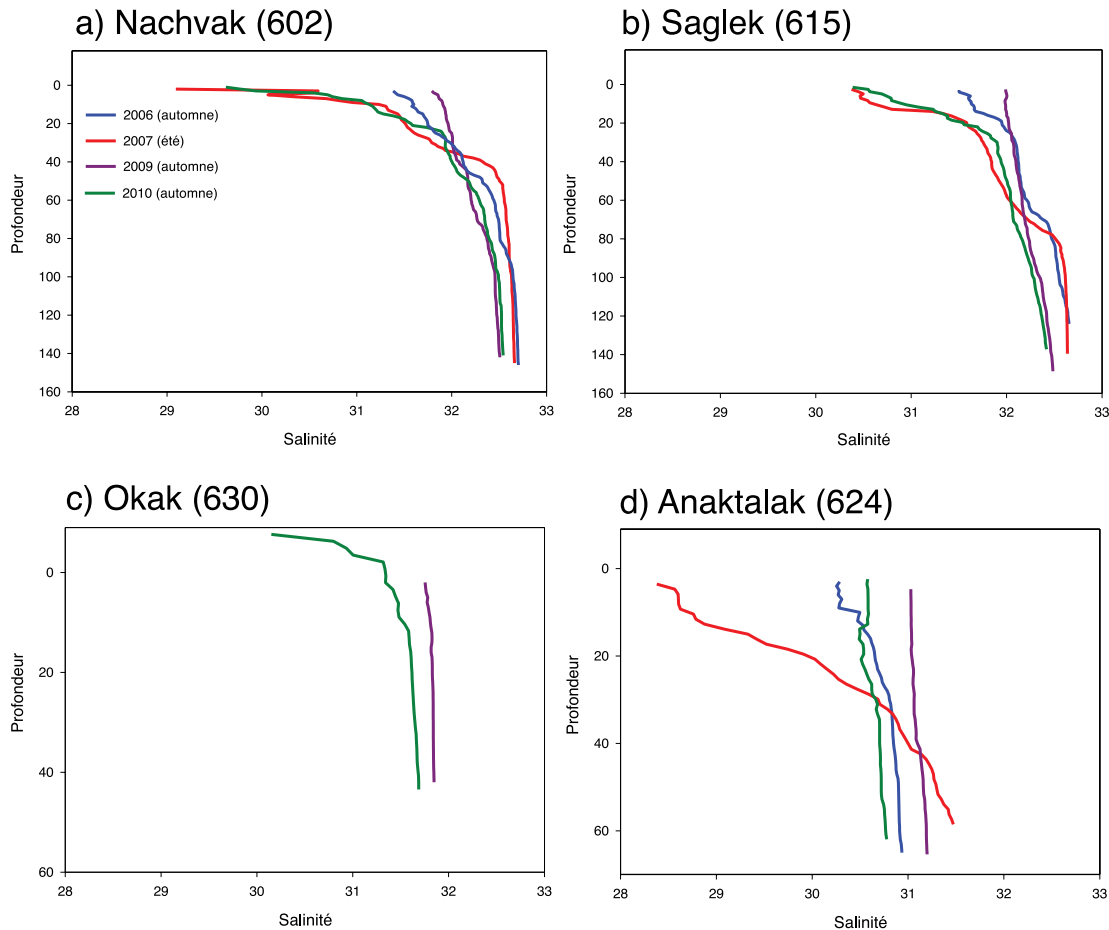


Figure 2. Profils verticaux de la salinité (%) mesurée aux stations intérieures des fjords et des fjards.

al., 2003; 2005; Brown *et al.*, 2012). Les concentrations moyennes de BPC dans les sédiments marins près de la rive dépassaient de 41 fois les lignes directrices canadiennes en matière de qualité des sédiments (21,5 parties par milliard de poids sec (ppb p.s.) et les concentrations de BPC dans diverses espèces fauniques étaient aussi de beaucoup supérieures aux concentrations naturelles dans l'Arctique (Kuzyk *et al.*, 2005). Les résultats de l'ERE indiquaient qu'il existait des risques pour la survie et la reproduction du chaboisseau à épines courtes (*Myoxcephalus scorpius*) et des oisillons du guillemot à miroir (*Cepphus grylle*) (ESG, 2002; Kuzyk *et al.*, 2003, 2005; Brown *et al.*, 2012) (figure 4). En reliant les concentrations qui ont des effets sur la reproduction et la survie aux concentrations de BPC relevées dans les sédiments,

on a estimé que des concentrations de BPC dans les sédiments de 777 ppb (p.s.) constituaient un danger pour le guillemot à miroir et des concentrations de BPC dans les sédiments de 355 ppb (p.s.) constituaient un danger pour le chaboisseau (ESG, 2002; Brown *et al.*, 2012). Par conséquent, on a choisi l'estimation la plus prudente (77 ppb) comme seuil de danger propre à ce site. Puisque les guillemots à miroir occupent un niveau trophique assez élevé dans la chaîne alimentaire, qu'ils ont un territoire plutôt restreint et qu'ils se nourrissent localement, le seuil de danger pour ce site (77 ppb) protégera probablement toutes les espèces d'oiseaux et de poissons dans le secteur. Tout comme le chaboisseau à épines courtes, le guillemot à miroir est généralement associé aux eaux peu profondes où ses proies benthiques sont relativement



Figure 3. Secteur de la plage du mouillage de Saglek avant (photo supérieure, 1996) et après (photo inférieure, 1999) l'excavation et le retrait des sédiments contaminés. Le volume de sédiments retirés était de 16 240 m³ (les flèches indiquent les endroits où les sédiments ont été retirés), assez pour couvrir un terrain de football à une profondeur d'environ 4 m). Le ruissellement et l'érosion des sédiments transportaient les BPC au large dans la baie.

abondantes. Il se nourrit la plupart du temps dans des eaux de moins de 18 m de profondeur et rarement dans des eaux de plus de 40 m de profondeur (Cairns, 1982; 1987). Sur le plan écologique, ces conditions se retrouvent dans toutes les portions sublittorales peu profondes du mouillage de Saglek, autour de l'ancienne plage contaminée ainsi qu'à l'ouest et à l'est sur une distance de 1 à 1,5 km. Ce secteur précis, représenté par ces deux paramètres – des concentrations de BPC supérieures à 77 ng/g (p.c.) et des profondeurs d'eau de moins de 40 m – est illustré à la figure 5. Puisque le guillemot à miroir est le récepteur le plus sensible examiné dans le cadre de l'ERE, ce secteur représente aussi la meilleure estimation d'une zone de risque écologique dans la baie de Saglek, soit là où la contamination des sédiments représentait un risque écologique important pendant la période d'étude (1997-1999).

En 2002, des chercheurs de l'unité de recherche en santé publique du Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ) ont effectué une évaluation des risques pour la santé des humains (ERSH) afin d'obtenir de l'information sur les risques potentiels pour la santé associés à la récolte et à la consommation d'aliments traditionnels dans la baie de Saglek (Ayotte *et al.*, 2002). Cette évaluation a déterminé que les récoltes effectuées dans un rayon de 5 km de la plage contaminée donneraient des expositions à long terme aux BPC supérieures à ce que donneraient des récoltes n'importe



Figure 4. Oisillon du guillemot à miroir (*Cepphus grylle*) (à gauche); chaboisseau à épines courtes (*Myoxocephalus scorpius*) (à droite).

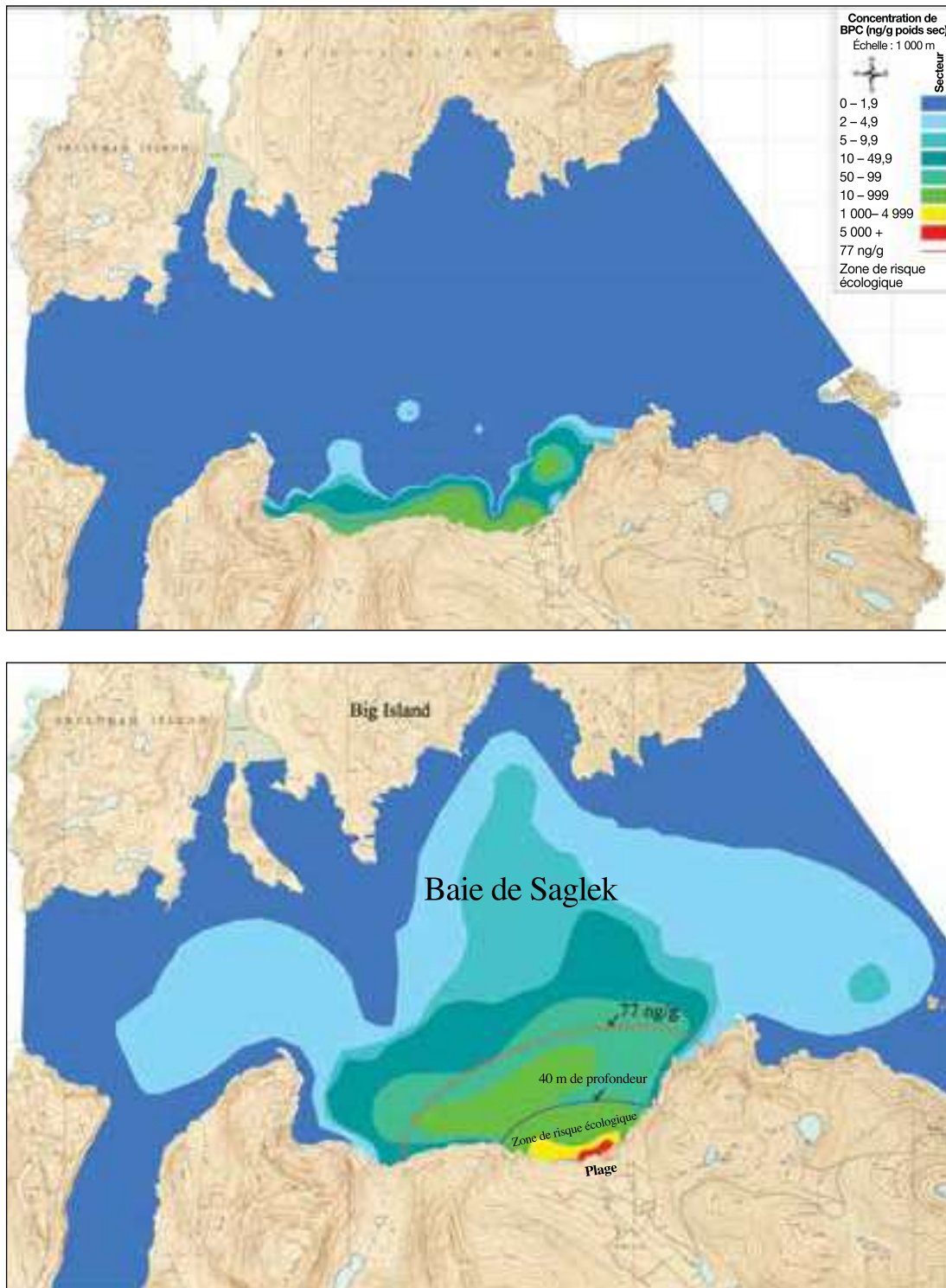


Figure 5. Cartes des panaches de BPC dans les sédiments de surface du mouillage de Saglek (concentration en ppb/poids sec) : carte supérieure, 2006; carte inférieure, 1998 (modifié de Brown et al., 2009).

où ailleurs au Labrador, au Nunavik ou au Nunavut. Par conséquent, les Inuits du Labrador ont été avisés par leur commissaire à la santé d'éviter la récolte des espèces les plus affectées dans une zone d'exclusion de 5 km (Ayotte *et al.*, 2002).

En 2006-2007, on a mesuré à nouveau les concentrations de BPC dans les sédiments et les biotes du mouillage de Saglek pour déterminer si l'écosystème local avait récupéré depuis le retrait de la source de BPC sur la plage et afin de mieux comprendre l'étendue de la contamination aux BPC dans la baie adjacente (Brown *et al.*, 2009). Il y a eu une importante diminution des concentrations de BPC dans les sédiments et les deux espèces à risque (chaboisseau à épines courtes et oisillons et œufs de guillemot à miroir) de 1999 à 2006-2007 (Brown *et al.*, 2009; figure 5). Plus récemment, la surveillance environnementale effectuée de 2008 à 2011 a démontré que les concentrations de BPC dans les sédiments dans la zone d'exclusion avaient rapidement diminué et que les concentrations moyennes étaient sous le seuil de danger propre au site établi en fonction des effets probables sur les oisillons du guillemot à miroir. D'ailleurs, ces concentrations de BPC dans les oisillons étaient sous les concentrations préalablement associées aux risques de problèmes de reproduction et survie (Brown *et al.*, 2009; ESG 2002; Kuzyk *et al.*, 2005). Les concentrations de BPC dans le foie du chaboisseau indiquaient aussi une tendance similaire à la récupération; toutefois, elles sont encore au-dessus de la plage des seuils que l'on estime nuisibles pour la reproduction du poisson (50 ppb poids frais (p.f.) (Kime, 1995). Une nouvelle ERSH est en cours utilisant des données récentes pour les espèces marines et terrestres du mouillage de Saglek et des scénarios d'exposition qui sont pertinents aux usages actuels et prévus de ce site. Le but de l'ERSH à ce site est de veiller à ce que les usagers actuels et futurs du site soient adéquatement protégés.

Même si les concentrations de BPC dans les sédiments de surface et dans le chaboisseau à épines courtes et le guillemot à miroir ont diminué de façon très importante dans la baie de Saglek au cours des dix dernières années (Brown *et al.*, 2009), des concentrations de BPC relativement élevées persistent dans les phoques annelés (figure 6). Pour les chercheurs,

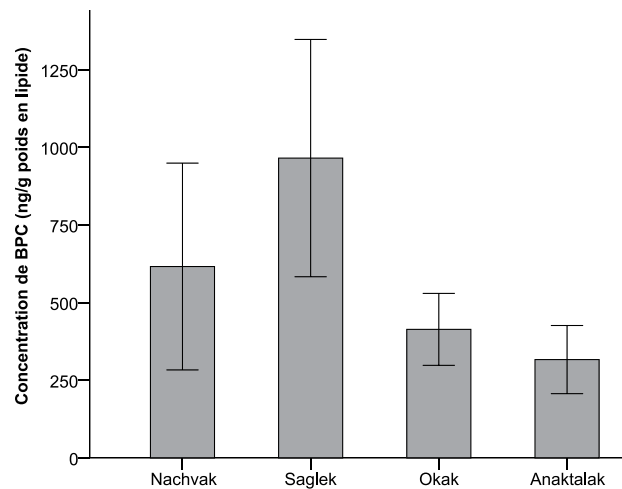


Figure 6. Moyenne arithmétique des concentrations de BPC (ligne verticale = limite de confiance de 95 %) pour les phoques annelés mâles et femelles des quatre bras de mer du nord du Labrador.

cette persistance des BPC dans les phoques annelés soulève deux questions : 1) la contamination aux BPC au mouillage de Saglek contribue-t-elle aux teneurs élevées retrouvées dans les phoques annelés, parfois appelés phoques « spéciaux »; 2) comment se fait-il que les concentrations dans les phoques demeurent relativement élevées alors qu'elles déclinent dans d'autres biotes? L'âge et le sexe ne semblent pas être des facteurs qui contribuent aux concentrations élevées, car des phoques de même sexe et du même âge environ ont des concentrations significativement inférieures à ces phoques dits « spéciaux ». On sait que le territoire des phoques annelés peut s'étendre sur des centaines de kilomètres et pour cette raison on ne s'attend pas à ce qu'ils soient fortement influencés par des sources locales de contamination (Smith, 1987). Il est possible toutefois que les phoques qui ont des teneurs élevées en BPC demeurent plus longtemps dans un secteur beaucoup plus localisé dans la baie de Saglek. Une autre explication serait que ces phoques « spéciaux » ont un régime alimentaire différent. On pourrait concevoir que les phoques qui ont des concentrations élevées de BPC se nourrissent de préférence dans les zones les plus contaminées et de poissons comme le chaboisseau plutôt que dans des secteurs moins contaminés ou de proies moins contaminées (Kuzyk *et al.*, 2005). Une

étude de l'écologie de l'alimentation du phoque annelé, de ses mouvements et de son comportement de recherche de nourriture conjointement aux tendances et concentrations des BPC contaminants est en cours pour mieux comprendre ce qui explique les taux élevés de BPC dans les phoques annelés.

Écologie d'alimentation : les isotopes stables du carbone et de l'azote ont été utilisés pour évaluer les transferts des BPC dans la chaîne alimentaire aquatique (Fisk *et al.*, 2001). Le rapport entre les isotopes stables d'azote plus lourds à plus légers (p. ex., $15\text{N}/14\text{N}$), exprimé en rapport à une norme, augmente habituellement avec le niveau trophique dans la chaîne alimentaire aquatique, fournissant une variable continue avec laquelle évaluer le niveau trophique et le transfert dans la chaîne alimentaire (Fisk *et al.*, 2001). Le recours aux isotopes stables d'azote a des avantages par rapport aux méthodes traditionnelles, comme l'analyse du contenu du tube digestif, car il permet d'établir une moyenne de l'assimilation alimentaire sur une plus longue période (Hoekstra *et al.*, 2003). Cependant, les isotopes stables d'azote ne permettent pas d'identifier précisément la proie et la proportion relative de l'ingestion (Hoekstra *et al.*, 2003). Par ailleurs, les ratios d'isotopes stables du carbone ($13\text{C}/12\text{C}$) dans les biotes peuvent aider à élucider des interactions trophiques en établissant la contribution relative du carbone de source marine (ou pélagique) par rapport au carbone de source côtière (ou benthique) (France et Peters, 1997).

En plus des isotopes stables, les acides gras sont depuis peu un outil puissant pour l'évaluation quantitative des régimes alimentaires des prédateurs (Budge *et al.*, 2006; Iverson *et al.*, 2004). Les études qui ont comparé les acides gras trouvés dans les réserves de graisse des prédateurs à ceux trouvés dans leurs proies ont permis de faire des comparaisons qualitatives et quantitatives des échelles de recherche de nourriture d'un point de vue spatial et temporel (Iverson *et al.*, 2004; Falk-Petersen *et al.*, 2004). Cela est rendu possible car les acides gras consommés par les prédateurs dont l'estomac n'a qu'un seul compartiment sont déposés dans les tissus adipeux sans être grandement modifiés ou modifiés d'une façon prévisible, ce qui

fournit un registre intégré de la prise alimentaire avec le temps (Budge *et al.*, 2006). Les distributions d'acides gras ou « signatures » peuvent permettre de répondre aux questions qualitatives concernant les variations spatiales ou temporelles dans les régimes alimentaires, autant entre les phoques que chez des phoques individuels ou une population de phoques (Iverson *et al.*, 1997).

En résumé, la quantification des rapports des isotopes stables du C et de N et les signatures des acides gras servent à fournir des renseignements utiles sur l'écologie de l'alimentation des phoques annelés dans le nord du Labrador en général et à Saglek plus particulièrement. Les résultats de l'étude sur la chaîne alimentaire côtière semblent indiquer qu'il pourrait y avoir des différences dans les modes d'alimentation des phoques annelés dans les quatre bras de mer et que cela peut avoir des incidences sur les taux de contamination dans cette espèce.

Déplacements et comportement de recherche de nourriture : On avait déjà marqué des phoques annelés avec des émetteurs satellites dans le sud de la baie d'Hudson afin d'étudier leurs déplacements et leur comportement de recherche de nourriture. Depuis 2008, on a entrepris une étude similaire des phoques annelés capturés dans le secteur de Saglek afin de mieux comprendre les raisons de la présence de phoques dits « spéciaux ». En particulier, l'étude de marquage des phoques annelés permet d'apporter des réponses aux questions suivantes : 1) à quels endroits les phoques annelés concentrent-ils leurs efforts de recherche de nourriture? et 2) comment les phoques annelés cherchent-ils leur nourriture dans ces secteurs? En tout, 13 phoques annelés (2 adultes, 11 jeunes adultes) ont été capturés en août et en septembre (2008-2011) et munis d'émetteurs satellites. Le suivi des déplacements montre qu'il y a des différences distinctes de mouvements et de comportement parmi les phoques annelés marqués. Pendant leur période de marquage, les phoques annelés ont eu des comportements de résidence (c.-à-d. qu'ils sont restés dans le fjord de Saglek) et de non-résidence (figure 7).



Figure 7. Suivis par satellite des déplacements et sites inférés de recherche de nourriture (points rouges) pour deux des treize phoques annelés marqués dans le fjord de Saglek (à gauche; SAGB-2008-0002; à droite : SAGB-2009-0005). On peut voir que le phoque marqué SAGB-2008-0002 (gauche) est demeuré dans le fjord de Saglek.

Concentrations et tendances des contaminants : pour mieux comprendre la présence de phoques « spéciaux », nous étudions non seulement les taux de BPC dans les phoques annelés et leurs proies, mais aussi des EDP (éthers diphenyliques polybromés) qui ont un comportement similaire aux concentrations et aux tendances des BPC. Il n'y a aucune source locale connue d'EDP dans la baie de Saglek; les phoques qui cherchent davantage leur nourriture au mouillage de Saglek devraient donc avoir des taux élevés de BPC comparativement aux EDP. Il y avait une corrélation importante entre les concentrations de BPC et d'EDP dans les phoques annelés provenant des bras de mer de référence (Nachvak, Okak et Anaktalak), mais aucune pour les phoques du fjord de Saglek (figure 8).

L'analyse des congénères de BPC peut aussi servir à déterminer des signatures « locales » par rapport aux signatures « générales ». On compte 209 composés distincts de BPC (appelés congénères) identifiés par le numéro et la position des atomes de chlore sur la molécule de biphenyle. La source des BPC à Saglek est le mélange commercial Aroclor 1260, la composition des congénères étant dominée par les congénères à forte teneur en chlore. Cette signature locale

peut être distinguée de la signature naturelle « générale » des congénères découlant du transport atmosphérique sur de longues distances. Les congénères 138, 183 et 187, qui contribuent dans une proportion importante à l'Aroclor 1260 et sont fortement chlorés, étaient relativement abondants

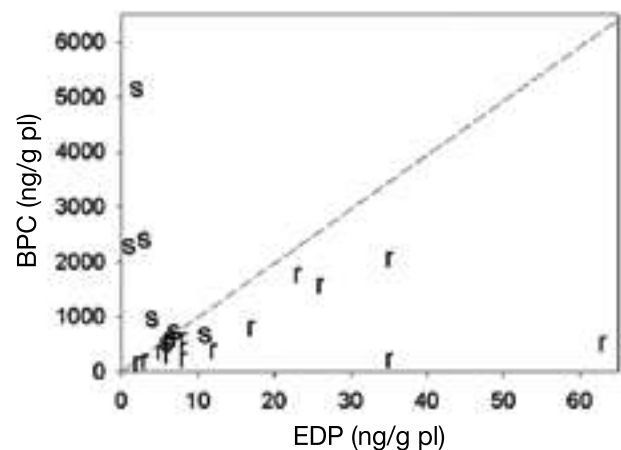


Figure 8. Concentrations totales de BPC et d'EDP chez les phoques annelés mâles et femelles du fjord de Saglek (s) et des fjords de référence (r). Concentrations dans les fjords de référence ($R^2 = 0,90$; $p < 0,001$); concentrations dans le fjord de Saglek ($R^2 = 0,43$; $p = 0,16$).

chez les phoques ayant des concentrations élevées en BPC comparativement aux phoques ayant de faibles concentrations. Ces résultats semblent bien indiquer que les phoques annelés du fjord de Saglek ont été exposés à des sources locales de BPC. En plus des BPC et des EDP associés au transport sur de grandes distances (c.-à-d. les teneurs de bruit de fond), des études en cours évaluent aussi les dangers pour la santé associés aux BPC des phoques annelés du Labrador.

10.5 Les processus dans les fjords

Les rivières apportent des substances nutritives dans les eaux marines des fjords et elles sont utilisées par une foule d'espèces animales pendant les mois où l'eau est libre de glace. Les sédiments charriés par les rivières vers la mer recèlent dans leurs dépôts une certaine histoire du territoire d'où ils proviennent. Les rivières fournissent de l'eau potable. Comment ces rivières changent-elles avec le temps? Le débit d'eau douce est-il plus important ou plus faible? La qualité de l'eau est-elle meilleure ou a-t-elle diminué avec le temps? Ces questions sont au centre de l'étude des fonds marins dans les fjords de Nachvak et de Saglek, afin d'évaluer les modes de transport des sédiments de la terre à la mer et comment ces modes peuvent nous renseigner sur les interactions passées, présentes et futures entre les rivières et les fjords.

Les fjords modernes sont le produit de l'avancée et du retrait de la glace de glacier et des fluctuations relatives du niveau de la

mer (Syvitski et Shaw, 1995). Ils contiennent habituellement un ou deux seuils sous-marins modelés dans le substrat rocheux ou le till (figure 9) qui réduisent les échanges avec la circulation océanique sous le niveau du seuil. La circulation restreinte en eau profonde et les faibles courants, les concentrations réduites en oxygène et la bioturbation réduite qui en résultent font des bassins bordés par des seuils dans les fjords d'excellents pièges naturels de sédiments.

Pour les fjords influencés par une rivière, les apports fluviaux sont composés principalement des produits de l'érosion issus de l'effritement des dépôts glaciaires soulevés et remaniés et aussi de farine glaciaire fraîchement produite (Syvitski et Shaw, 1995). Les sédiments les plus gros transportés dans les fjords par les rivières se déposent rapidement, mais les sédiments les plus fins sont transportés vers la mer au sein des panaches fluviaux, leurs concentrations augmentant de façon exponentielle avec l'augmentation du débit d'eau. Par conséquent, un changement dans l'écoulement fluvial aura des répercussions sur le dépôt des sédiments. C'est ainsi que les dépôts sédimentaires d'un fjord recèlent d'excellents registres des processus terrestres, tout en enregistrant aussi l'influence des processus marins (Howe *et al.*, 2010). Les eaux profondes et tranquilles des bassins des fjords retiennent ces sédiments enfouis dont l'âge, la composition et la texture constituent un registre détaillé des processus environnementaux.

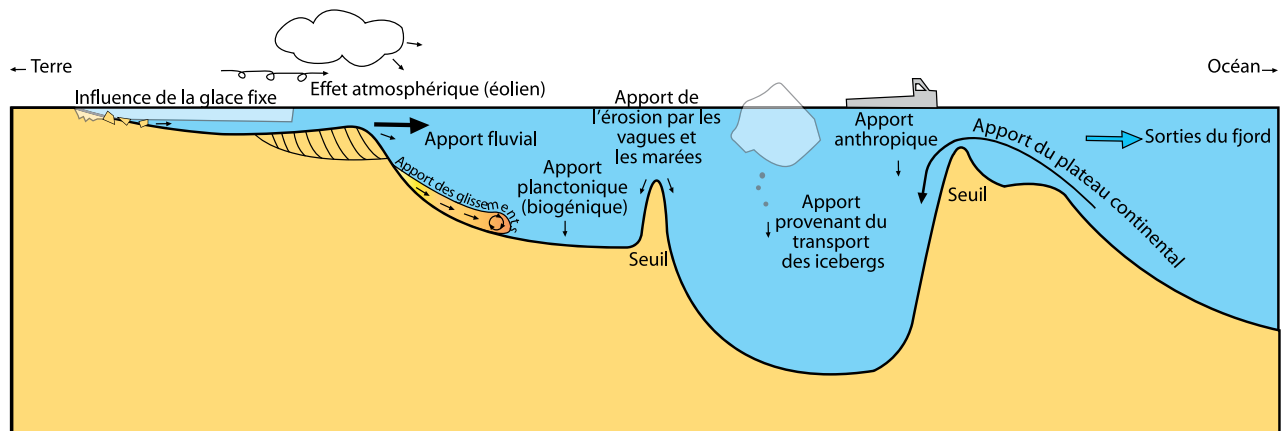


Figure 9. Apport de sédiments dans les fjords. Modifié de Syvitski et Shaw (1995).

10.5.1 Les fjords du Labrador et leurs rivières

Notre projet vise trois grands objectifs : 1) déterminer le taux actuel d'apport en sédiments dans les fjords de Saglek et de Nachvak; 2) faire le lien entre l'apport sédimentaire actuel et l'apport actuel en eau; 3) étudier le passé sédimentaire des derniers siècles pour savoir si l'apport en eau des rivières, représenté par le flux de sédiments, a changé au fil du temps en association avec les fluctuations climatiques. À ce jour, nous avons atteint les deux premiers objectifs et nous travaillons à atteindre le troisième, soit en apprendre davantage sur le passé récent de la région. Pour ce faire, nous avons dû mesurer les débits d'eau des rivières (figure 10), cartographier la taille des bassins versants des ruisseaux et rivières, cartographier l'épaisseur, l'étendue et l'âge des dépôts sédimentaires dans les fjords, et ensuite combiner ces résultats pour obtenir des perspectives temporelles et spatiales. Aucune de ces mesures n'avait été prise auparavant dans les fjords le long des côtes du Labrador ou de l'Ungava.

10.5.2 Ce que nous avons appris

Les rivières qui aboutissent dans les fjords de Saglek et de Nachvak déchargent la majorité de leur eau et probablement de leurs sédiments aussi dans les fjords pendant les courtes périodes de crue, pendant la période de la fonte des neiges et pendant les tempêtes de pluie en été (figure 10). La capacité de transport de sédiments augmente de façon exponentielle avec la vitesse du débit, ce qui semble indiquer que les événements de tempêtes et de fonte sont responsables de l'apport de la majeure partie des sédiments des fonds marins que nous avons cartographiés dans ces fjords. Il est donc vraisemblable que les dépôts de sédiments soient davantage des registres des impacts d'événements de forts débits (crues printanières et estivales) que des conditions moyennes.

Nous avons identifié d'importants dépôts sédimentaires épais dans les bassins en forme de baignoire des fjords de Saglek et de Nachvak et nous avons commencé à déterminer leur âge. Les couches supérieures de sédiments visibles à la figure 11 (identifiés comme étant des sédiments postglaciaires) ont été

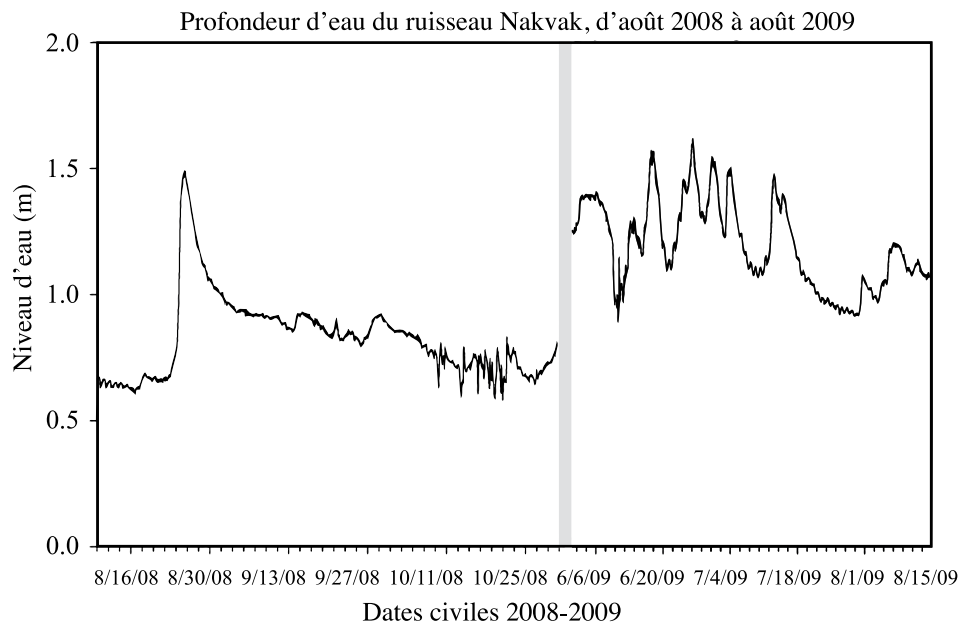


Figure 10. Données des niveaux d'eau du principal embranchement du ruisseau Nakvak pendant la période d'août 2008 à août 2009. Les données pour la période où les températures de l'eau sont sous le point de congélation ont été exclues (zone ombragée).

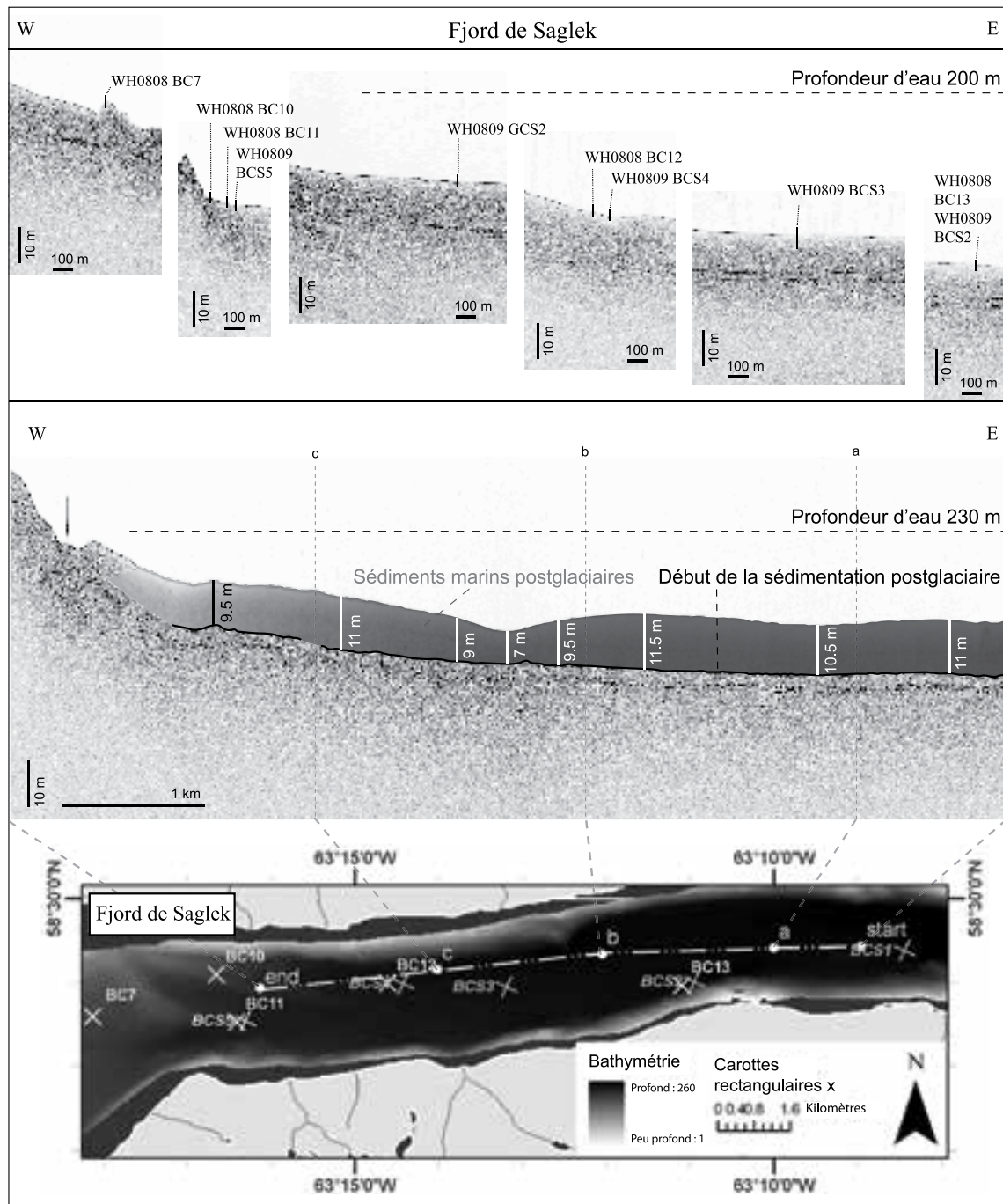


Figure 11. Le panneau inférieur est une carte ombragée des profondeurs d'eau indiquant les endroits de prélèvement des carottes. Les deux panneaux supérieurs illustrent l'emplacement de la coupe transversale par sonar de l'épaisseur des sédiments dans le fjord de Saglek, du sud vers l'est du ruisseau Nakvak. La période postglaciaire représente les 8 000 dernières années. Pendant cette période, le climat ressemblait davantage aux conditions climatiques subarctiques actuelles (avec une couverture de glace saisonnière) qu'à la période glaciaire pendant laquelle des calottes glaciaires permanentes recouvraient le Labrador.

déposées au cours des 8 000 dernières années ou moins. Notre analyse plus détaillée des couches plus fines au sein de cette masse de sédiments nous a permis de mesurer le taux d'apport en sédiments des rivières au cours des 150 dernières années et de comparer les conditions dans les fjords de Saglek et de Nachvak.

Le taux d'apport en sédiments par superficie de terrain depuis le territoire entourant le fjord de Nachvak est d'environ cinq fois celui du fjord de Saglek (approximativement 262 tonnes de sédiments transportés dans l'océan par kilomètre carré par année dans le bassin fluvial du fjord de Nachvak comparativement à ~ 47 tonnes de sédiments par kilomètre carré dans le fjord de Saglek). Les bassins fluviaux des rivières qui se jettent dans le fjord de Saglek, caractérisées par le ruisseau Nakvak, ont tendance à être plus vastes mais ils sont moins nombreux que dans le fjord de Nachvak, lequel a des bassins fluviaux plus petits et de pentes plus prononcées. Il y a aussi davantage de glaciers à la tête des bassins fluviaux du fjord de Nachvak que dans le bassin-versant du fjord de Saglek. La différence dans l'apport de sédiments des deux fjords peut être liée aux pentes plus prononcées des cours d'eau et aux influences glaciaires du fjord de Nachvak, conjointement aux roches plus dures et plus résistantes à l'érosion du paysage entourant Saglek.

10.5.3 Prochains objectifs

Notre prochain objectif est de déterminer les tendances de changement dans le dépôt des sédiments au fil du temps, aux fins de comparaisons avec le présent. Nous espérons tout particulièrement voir si les tendances climatiques enregistrées dans les sédiments peuvent nous renseigner sur les conditions pendant les périodes d'établissement et de migration des humains le long des côtes et comment les rivières ont réagi dans le passé aux périodes de températures relativement élevées, semblables à ce que la région commence à connaître dans le cadre de ce régime climatique en évolution. Ce travail est en cours et devrait donner des résultats d'ici les deux prochaines années.

10.6 Conditions paléocéanographiques dans les fjords et fjards subarctiques

Afin de documenter les cycles climatiques à long terme dans l'Arctique, les registres géologiques archivés dans les sédiments océaniques peuvent aider à établir des liens entre les paramètres historiques (instrumentaux) et préhistoriques à la surface de la mer. Les kystes de dinoflagellés (dinokystes) servent comme indicateurs substituts des paramètres à la surface de la mer (température, salinité, couverture de glace de mer, productivité primaire). En utilisant des fonctions de transfert et une base de données moderne de référence sur les dinokystes, on peut reconstruire l'évolution des conditions à la surface de la mer à des échelles décennales et millénaires (Rochon *et al.*, 1999; de Vernal *et al.*, 2001; 2005; Mudie et Rochon, 2001; Voronina *et al.*, 2001; Kunz-Pirrung, 2001; Grøsfjeld et Harland, 2001; Boessenkool *et al.*, 2001; Radi *et al.*, 2001; Radi et de Vernal, 2008; Richerol *et al.*, 2008a, b).

Les dinoflagellés sont un groupe de protistes biflagellés unicellulaires microscopiques. Certaines espèces peuvent être toxiques, formant ce que l'on appelle les marées rouges (Taylor *et al.*, 2008). Le cycle de vie de certaines espèces comprend une phase de dormance pendant laquelle les stades végétatifs forment des kystes. La membrane du kyste est faite de polymère très résistant, la dinosporine, qui permet la conservation du kyste dans les sédiments (Richerol *et al.*, 2008a).

10.6.1 Ce que nous avons appris

La distribution des dinokystes modernes

Les chercheurs à bord du NGCC *Amundsen* ont recueilli des échantillons de sédiments de surface (les cinq premiers millimètres de sédiments) en 2009 et 2010 et les ont analysés pour documenter la distribution régionale des assemblages de dinokystes et leurs liens avec les

conditions environnementales actuelles (température de la mer en surface en été et salinité, durée de la couverture de glace). Les résultats indiquent que leurs concentrations augmentent de l'intérieur vers l'extérieur de chaque fjord de même que du nord (fjords de Nachvak et de Saglek) vers le sud (fjords d'Okak et d'Anaktalak; figure 12). En 2010, on a observé la même tendance régionale que l'année précédente, avec une augmentation globale de productivité d'un ordre de grandeur (c.-à-d. X 10) par endroits. Cette augmentation remarquable de productivité a été confirmée par des analyses correspondantes des communautés de phytoplancton dans la colonne d'eau des fjords et des fjards (voir la section 10.9). La biodiversité des dinokystes augmente également du nord vers le sud, avec la présence et la dominance de dinokystes d'espèces autotrophes dans les deux fjards situés les plus au sud (figure 12).

On retrouve trois assemblages distincts de dinokystes dans les sédiments de surface des fjords et fjards du Labrador; ils sont, du nord au sud :

- L'assemblage 1 (fjords de Nachvak et de Saglek) : il est dominé par des dinoflagellés qui dépendent fortement

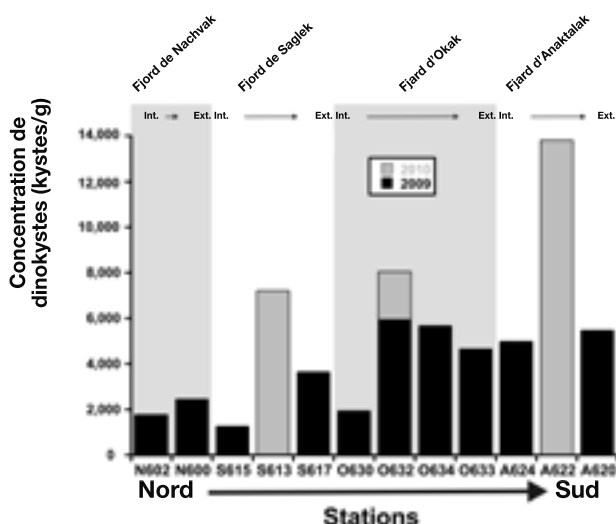


Figure 12. Distribution des concentrations totales de dinokystes dans les échantillons de sédiments de surface prélevés dans les fjords en 2009 et 2010. N : stations dans le fjord de Nachvak; S : fjord de Saglek; O : baie d'Okak; A : baie d'Anaktalak.

de la disponibilité des substances nutritives et de la présence de proies (hétérotrophes). Il semble que cet assemblage soit caractéristique des fjords qui sont sous l'influence de la glace de mer et des conditions d'eaux arctiques.

- L'assemblage 2 (fjord d'Okak) : il est caractéristique d'un fjord moins influencé par les conditions de la glace de mer, mais davantage par la salinité et la température de l'eau de mer en surface et le manque de substances nutritives (autotrophes).
- L'assemblage 3 (fjord d'Anaktalak) : il est contrôlé par la température et la salinité de l'eau de mer en surface et l'éclairement énergétique de la colonne d'eau (autotrophes). Ce fjord, soit le moins arctique des fjords et fjards étudiés, est celui qui a la moins grande abondance de l'espèce arctique *I. minutum s.l.* (figure 13). On retrouve le kyste du taxon de dinoflagellé calcaire *Scrippsiella* cf. *S. crystallina* dans les sédiments de surface de la baie d'Anaktalak, tout près de l'anse Edward (installation de transbordement de Vale Inco et lieu où les effluents traités de la mine sont rejetés dans la baie). Ce taxon pourrait être un indicateur utile de la pollution par les effluents miniers ou le transport dans les eaux de ballast rejetées par les navires. Des données additionnelles sont requises pour confirmer ces hypothèses.

La reconstruction paléocéanographique

En novembre 2006, les chercheurs à bord du NGCC *Amundsen* ont prélevé une carotte courte dans le fjord de Nachvak, le fjord de Saglek et la baie d'Anaktalak. Ils ont effectué la reconstruction des anciens paramètres à la surface de la mer pour ces trois bras de mer. Les trois relevés sédimentaires ont révélé une diminution générale régulière de la productivité marine au cours des 30 à 50 dernières années, avec un retour à une plus grande productivité au cours des 10 dernières années. En général, les reconstructions paléocéanographiques semblent indiquer que le climat était relativement stable. On déduit qu'il y a eu une légère diminution de la température et une légère

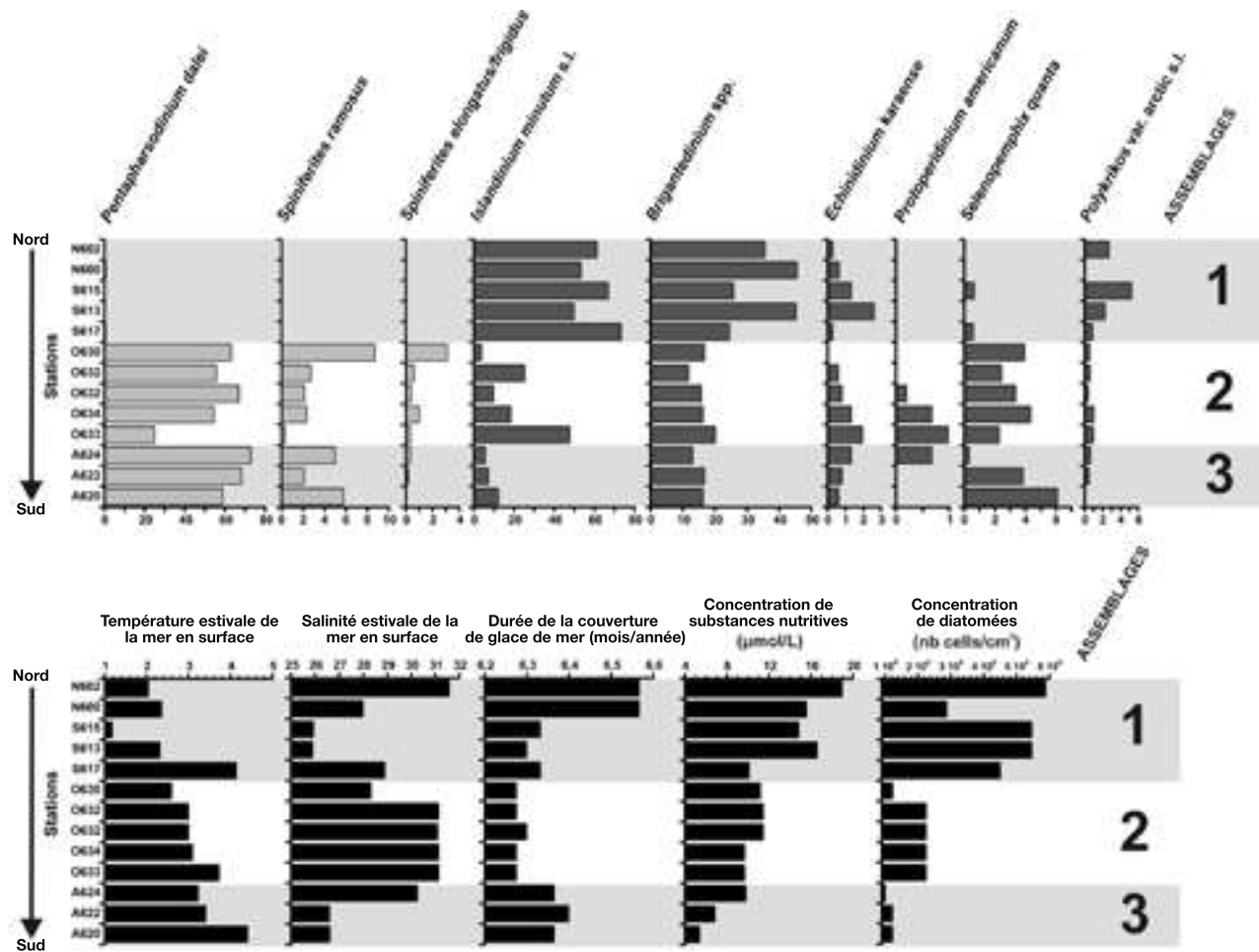


Figure 13. Abondance relative des principaux taxons de dinokystes, paramètres hydrographiques (température, salinité, couvert de glace, substances nutritives et diatomées) et assemblages modernes de dinokystes. À noter : la différence des assemblages de dinokystes entre les fjords du nord (Nachvak et Saglek) et les fjords du sud (Okak et Anaktalak).

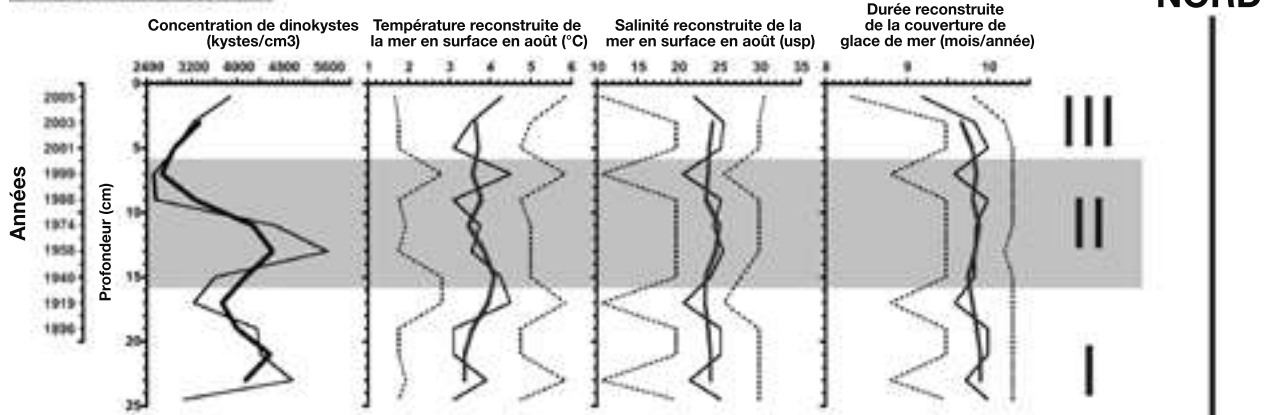
augmentation de la salinité entre ~1980 et 2000 de notre ère dans le fjord de Nachvak (zone II) et que cela pourrait être lié à l'intrusion dans le fjord d'une eau froide et salée provenant de la mer du Labrador (figure 14). On a pu reconstruire une diminution continue de la durée annuelle de la couverture de glace de mer (~1 mois/an au total) depuis ~1940 dans la baie de Saglek. Le fjord d'Anaktalak est celui qui montre la plus grande stabilité climatique, à l'exception d'un pic des températures reconstruites de ~1987 à 1990 se produisant en même temps qu'une réduction importante de la couverture inférée de glace (dans la zone II, figure 14).

10.6.2 Prochains objectifs

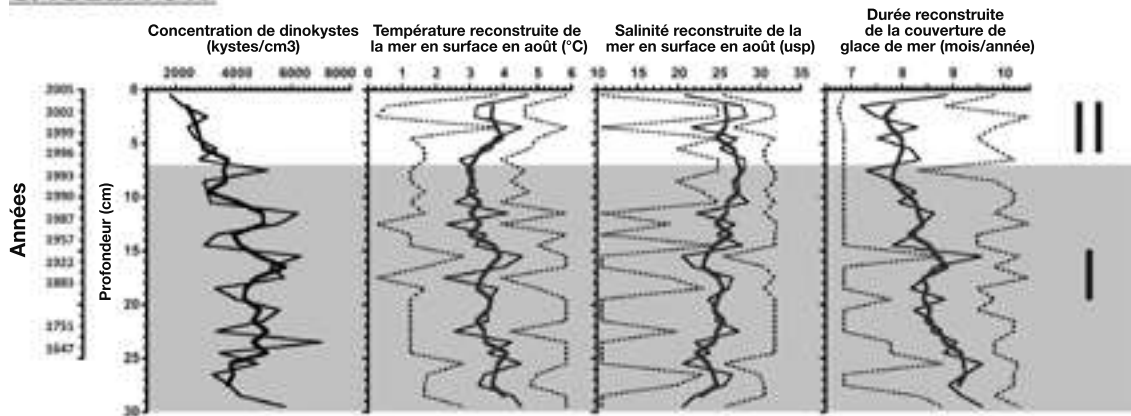
Reconstruction paléocéanographique de l'holocène dans le fjord de Nachvak

En novembre 2009, on a récupéré par piston une carotte d'une longueur de 812 cm d'un bassin profond dans le fjord de Nachvak. Nous allons utiliser cette carotte et les assemblages de dinokystes fossiles pour reconstruire l'historique à long terme des conditions paléocéanographiques dans le nord du Nunatsiavut afin d'aider à déterminer les changements climatiques passés dans la région sur une période remontant à environ 6 000 ans.

NACHVAK 602-1



SAGLEK 617



VOISEY'S BAY 624

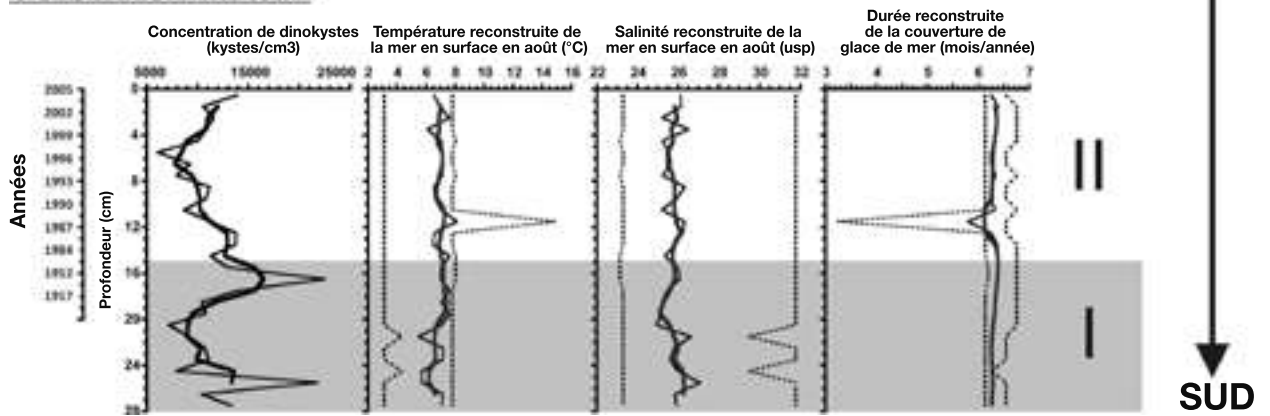


Figure 14. Évolution de la concentration de dinokystes (kystes/cm³) et des trois paramètres océanographiques reconstruits pour les carottes de sédiments Nachvak 602-1, Saglek 617 et Voisey's Bay 624: Températures de la mer en surface en août (°C), Salinité de la mer en surface en août (usp) et durée de la couverture de glace de mer (mois/année). Les traits épais représentent l'évolution moyenne du paramètre et les traits pointillés représentent l'intervalle de confiance pour la reconstruction.

10.7 Cartographie de l'habitat benthique

Les connaissances des habitats marins benthiques dans les régions subarctiques et arctiques sont relativement limitées et on possède très peu d'information sur les habitats marins du littoral du Labrador. La cartographie des fonds marins est une façon précise et efficace de recueillir des renseignements de base sur la nature et la distribution des habitats benthiques au sein des milieux côtiers. On utilise pour ce faire une méthode de classification supervisée à l'aide de données sonar multifaisceaux vérifiées sur le terrain par des échantillons de biote et de substrat. Le sonar multifaisceaux prélève deux sortes de données, soit la profondeur et la rétrodiffusion. La rétrodiffusion est la mesure de la force avec laquelle le signal acoustique retourne au senseur et elle reflète le type de substrat. En échantillonnant le substrat et l'habitat, les données de rétrodiffusion peuvent servir à établir par interpolation une carte de l'habitat pour tout le fond marin, procurant ainsi de l'information sur la nature et la distribution des habitats benthiques.

Dans le passé, les cartes des habitats benthiques ont aidé à la gestion des pêcheries, aux pratiques de surveillance à long terme et à l'instauration de politiques concernant les aires marines protégées. Il s'agit d'une importante première étape pour la gestion des ressources côtières, tout particulièrement la gestion écosystémique car elle fournit des renseignements de base sur l'environnement côtier au niveau du fond sous-marin.

10.7.1 Habitats benthiques dans les fjords et fjards du Labrador

Voici les principaux objectifs de ce projet : 1) recueillir des renseignements de base et approfondir notre compréhension des habitats benthiques au sein des fjords et des fjards du nord du Labrador; 2) déterminer les tendances dans la biodiversité au sein de la région côtière et identifier les habitats qui peuvent être sensibles aux impacts naturels et anthropiques. À ce jour, on a abondamment échantillonné le fjord de Nachvak, le fjord de Saglek et la baie d'Okak à des profondeurs variant

de 7 à 210 m et on dispose d'une cartographie partielle. Les figures 15 et 16 illustrent la couverture de l'échantillonnage dans ces trois bras de mer. Les méthodes d'échantillonnage comprennent des échantillons vidéo et des prélèvements de carottes rectangulaires pour les substrats et les biotes. Les données d'échantillonnage conjointement aux méthodes existantes de cartographie de l'habitat seront utilisées pour produire des cartes des substrats et des habitats pour les quatre bras de mer à l'étude. Les figures 17 et 18 illustrent les cartes interpolées de substrats et d'habitats pour la baie d'Okak, respectivement.

10.7.2 Ce que nous avons appris

La macrofaune benthique se retrouve à toutes les profondeurs, mais la diversité et l'abondance des espèces individuelles varient en fonction de la profondeur et du substrat. Les résultats initiaux montrent que les deux fjords les plus au nord (Nachvak et Saglek) sont caractérisés par des habitats largement homogènes qui sont de nature répétitive de la tête du fjord jusqu'à son embouchure. Les habitats sont fortement influencés par la bathymétrie typique de seuil et de bassin des fjords, avec des régions plates et sablonneuses à l'extrémité supérieure des bras (là où il y a d'importantes arrivées d'eau douce), des bassins dominés par les boues et des substrats grossiers sur les seuils. Les tendances biotiques distinctes incluent un grand nombre d'espèces de bivalves juvéniles (comme *Astarte borealis*, *Macoma calcarea*, *Nucula delphinodonta* et *Portlandia arctica*) sur le fond marin sablonneux à l'embouchure de tous les bras. Le bivalve *Macoma calcarea* a aussi été retrouvé dans les substrats boueux peu profonds avec quelques espèces de polychètes (*Pectinaria granulata* et *Maldane sarsi*). Les assemblages biotiques sont constants dans l'ensemble des régions, avec une tendance à l'augmentation de la biodiversité à l'embouchure, ce qui reflète la salinité accrue.

La baie d'Okak diffère des deux fjords nordiques sur les plans physiographiques et biologiques. La baie a en effet une forme irrégulière, généralement peu profonde, avec un estuaire typique d'un fjard. Les secteurs avec des pentes abruptes ne sont pas aussi communs que dans les fjords et

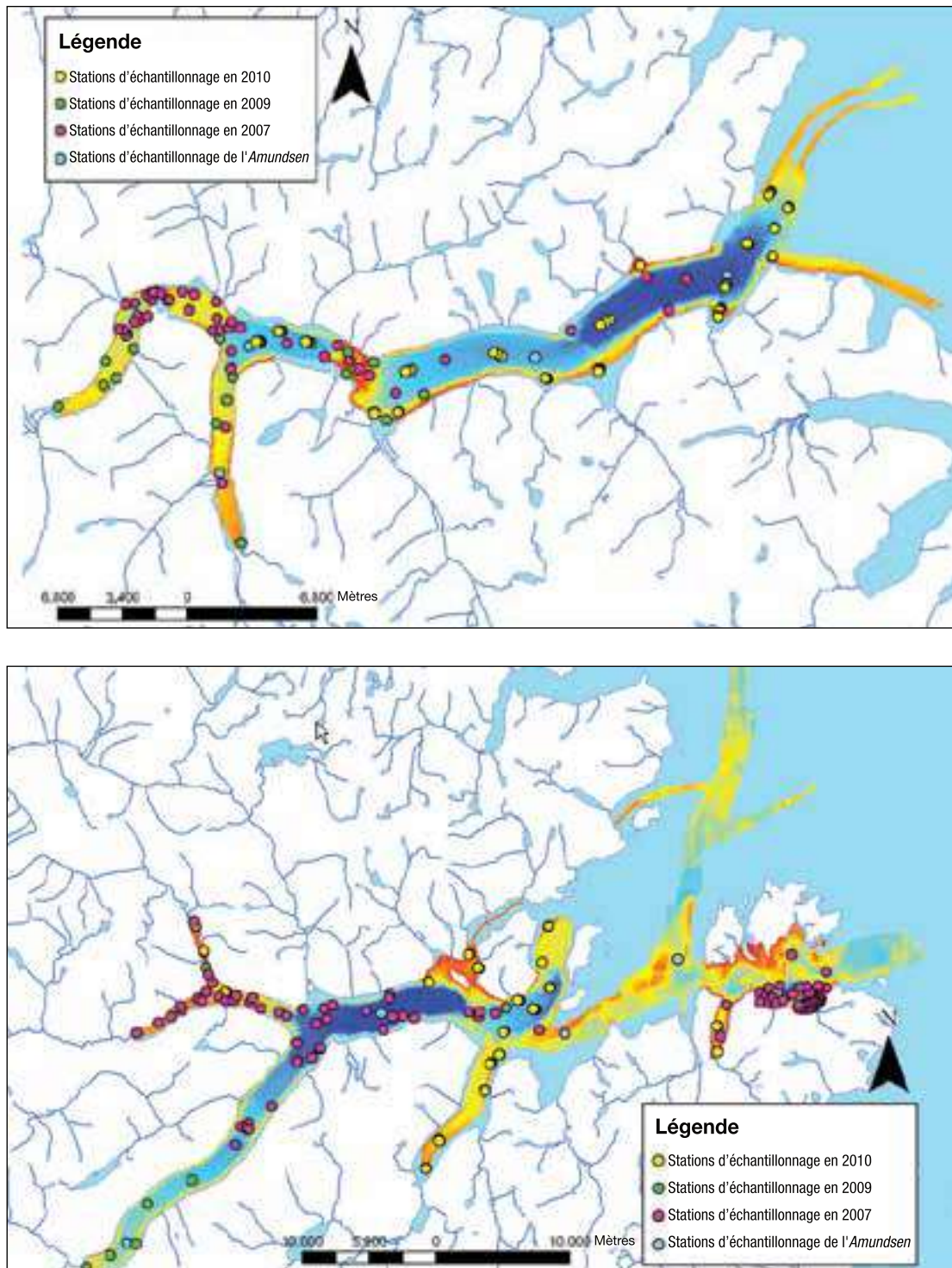


Figure 15. Cartes bathymétriques multifaisceaux du fjord de Nachvak (panneau supérieur; profondeurs variant de 5 à 180 m) et du fjord de Saglek (panneau inférieur; profondeurs variant de 5 à 256 m) indiquant les stations d'échantillonnage benthique.

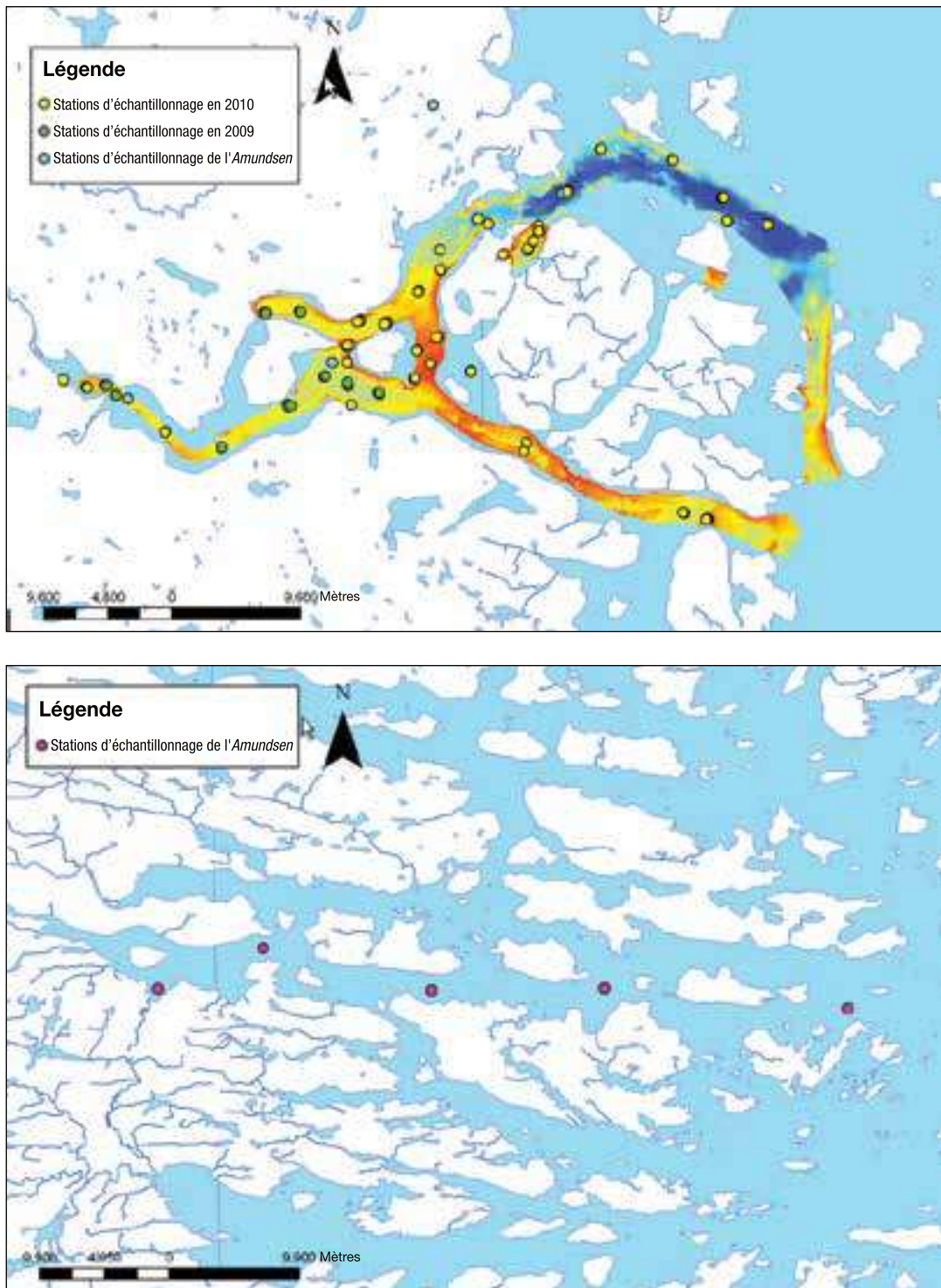


Figure 16. Cartes bathymétriques multifaisceaux de la baie d'Okak (panneau supérieur, profondeurs variant de 5 à 200 m) et de la baie d'Anaktalak (panneau inférieur) indiquant les stations d'échantillonnage benthique.

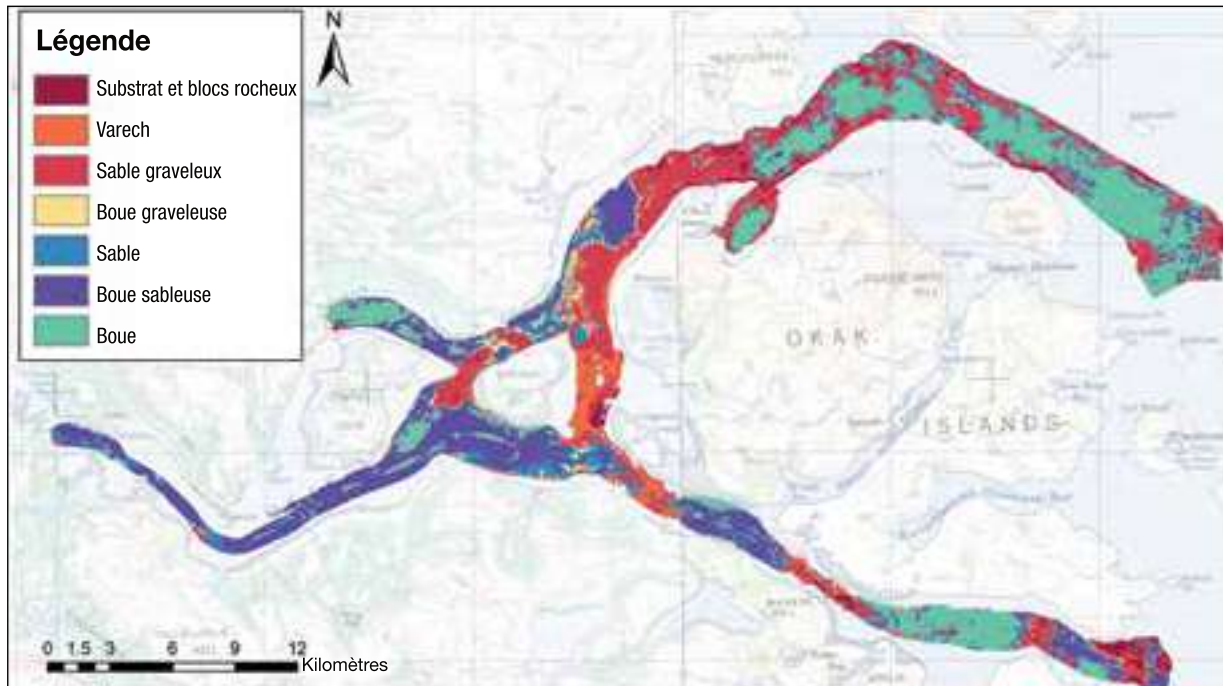


Figure 17. Carte des habitats de la baie d'Okak en fonction du type de substrat, de la profondeur et de la rétrodiffusion.

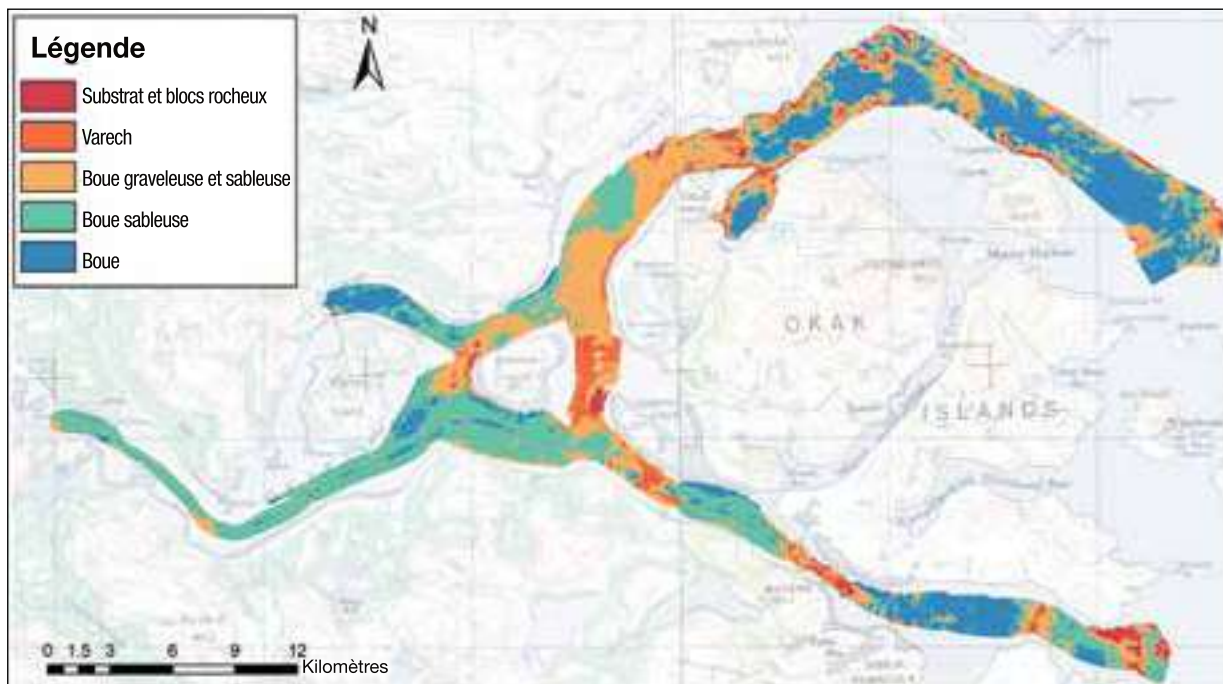


Figure 18. Carte des habitats de la baie d'Okak. Cinq habitats benthiques de couleur différente en fonction du type de substrat, de l'assemblage benthique, de la rétrodiffusion et de la profondeur.

les parois rocheuses sont rares. Même s'il existe certaines similitudes dans le type et la distribution des genres de substrat, comme des zones plates et sablonneuses de forte sédimentation près des entrées d'eau douce, il existe aussi des différences importantes, comme la présence de substrats grossiers sur les seuils et dans les bassins peu profonds. Des espèces similaires se retrouvent aussi dans les bras de mer du nord et du sud, mais dans les fjards du sud, il y a présence d'espèces plus typiques de l'écosystème marin « boréal ».

Les gradients de biodiversité ne sont pas les mêmes dans les fjords et les fjards. Au lieu d'avoir un gradient de biodiversité qui augmente progressivement vers l'embouchure du fjord, dans un fjard les zones de biodiversité sont centrées et confinées à certaines caractéristiques bathymétriques précises. Cela a d'importantes répercussions sur les activités futures de cartographie à Anaktalak, là où la bathymétrie du bras de mer est similaire à la baie d'Okak.

10.7.3 Prochains objectifs

Au cours des prochaines étapes, nous allons terminer la classification et la cartographie des habitats dans les trois bras de mer au nord et l'acquisition et l'échantillonnage de données dans le bras de mer le plus au sud (baie d'Anaktalak). Lorsque la cartographie sera terminée, nous pourrons faire d'importantes comparaisons entre les régions et cerner les habitats qui sont importants pour le fonctionnement de l'écosystème.

10.8 Le zooplancton

Le zooplancton est une composante importante de la chaîne alimentaire marine dans l'Arctique, transférant l'énergie de la production primaire aux poissons et aux mammifères marins aux niveaux trophiques supérieurs. Son rôle central dans la chaîne alimentaire en fait un excellent indicateur de l'état de l'écosystème marin. La présente étude donne une description générale des communautés de zooplancton dans les fjords et les fjards du Labrador, y compris la composition des espèces et une estimation de leur biomasse dans le zooplancton pour chaque fjord. En 2006 et 2007, les chercheurs ont étudié trois bras de mer : le fjord de Nachvak, le fjord de Saglek et la

baie d'Anaktalak, et en 2009 ils ont inclus le quatrième bras de mer (baie d'Okak). L'échantillonnage a été effectué dans huit stations, soit deux stations (une à l'entrée et l'autre à l'embouchure) à chaque fjord et fjard (figure 1). La possibilité d'échantillonner le zooplancton sur une base annuelle permet d'établir des conditions de base pour la surveillance future et la détection des récents changements climatiques. Les échantillons ont été prélevés par tranche de profondeur à l'aide d'un filet de type Hydrobios Multinet (figure 19), à mailles de 200 µm. Les prélèvements ont été pris à des intervalles de deux à cinq mètres selon la profondeur de la station.

10.8.1 Ce que nous avons appris

Ce sont les copépodes qui dominent largement la communauté de zooplancton dans les fjords. En ce qui a trait à l'abondance, les espèces les plus communes relevées sont les copépodes calanoïdes du genre *Pseudocalanus* (principalement



Figure 19. Filet vertical Hydrobios Multinet.

P. minutus et *P. elongatus* et dans une proportion moindre *P. acuspes*) et le copépode cyclopoïde *Oithona similis* (figure 20). Des études arctiques du même genre signalent aussi que *Pseudocalanus sp.* et *O. similis* sont les espèces les plus communes dans d'autres régions, comme au sud-est de la mer de Beaufort (Darnis *et al.*, 2008).

Les espèces qui contribuent le plus à la biomasse du zooplancton sont les copépodes calanoïdes, surtout les grandes espèces *Calanus hyperboreus* et *Calanus glacialis* et le chétognathe *Parasagitta elegans*. Le bras de mer le plus productif de l'étude était le fjord de Nachvak avec des valeurs de biomasse de 6 à 27 g C m⁻². Le fjord d'Anaktalak était le bras de mer le moins productif avec des valeurs de biomasse de 0,3 à 17 g C m⁻².

10.8.2 Prochains objectifs

Nos prochains objectifs sont d'identifier quelle est l'influence de la variation des conditions de l'eau (température,

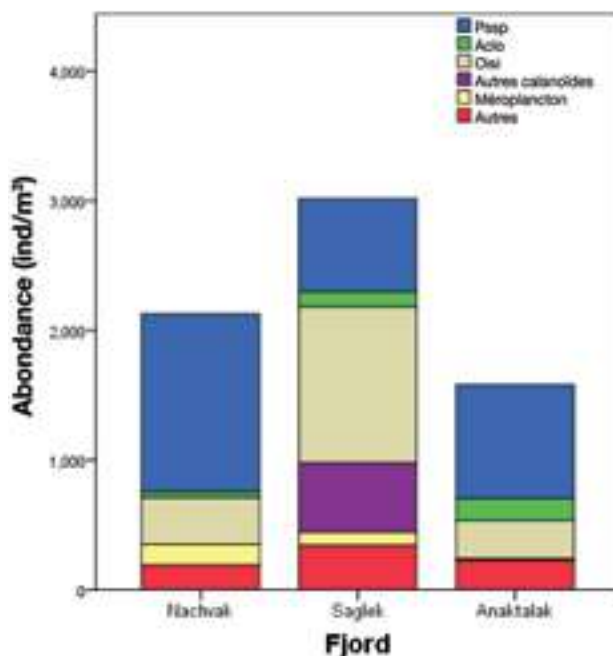


Figure 20. Valeurs moyennes de l'abondance des espèces dans chaque bras de mer au cours de la période d'étude. Abréviations de la légende : Pssp = *Pseudocalanus sp.*; Oisi = *Oithona similis*; Aclo = *Acartia longiremis*.

salinité et disponibilité de nourriture) sur les populations de zooplancton des fjords et des fjards. Cela nous aidera à comprendre comment les changements climatiques dans la région peuvent affecter les écosystèmes marins.

10.9 Le phytoplancton

Les producteurs primaires jouent un rôle clé dans les océans, car ils fournissent la matière organique (nourriture) aux niveaux trophiques supérieurs, y compris au zooplancton, aux larves de poissons et aux animaux benthiques. Les écosystèmes marins polaires sont particulièrement sensibles à tout changement dans la production primaire à cause du petit nombre de relations trophiques (Grebmeier *et al.*, 2006; Moline *et al.*, 2008; Post *et al.*, 2009; Wassmann *et al.*, 2011). Les milieux marins arctiques et subarctiques changent, comme on peut le constater avec la diminution de l'épaisseur et de l'étendue de la glace de mer (Stroeve *et al.*, 2007; Kwok *et al.*, 2009), la fonte hâtive et la prise tardive de la glace marine (Markus *et al.* 2009) et l'accélération du cycle hydrologique (Peterson *et al.*, 2006; Serreze *et al.*, 2006). Ces changements environnementaux ont déjà modifié la composition taxonomique et la production de phytoplancton marin dans le Haut Arctique canadien (Li *et al.*, 2009; Arrigo et van Dijken, 2011; Comeau *et al.*, 2011; Tremblay *et al.*, 2011). Dans ce contexte, les objectifs de l'étude au Nunatsiavut sont de : 1) déterminer la variabilité spatiale et temporelle dans la production de phytoplancton, la biomasse, la structure cellulaire selon la grosseur, et la composition des communautés dans les fjords et fjards du nord du Labrador; 2) évaluer le rôle des facteurs environnementaux dans la dynamique du phytoplancton et sa variabilité. Il s'agit de la toute première étude sur la dynamique du phytoplancton dans les écosystèmes des fjords et fjards du Nunatsiavut.

L'échantillonnage sur le terrain s'est fait au cours de l'automne 2006 et de l'été 2007 dans le fjord de Nachvak, le fjord de Saglek et la baie d'Anaktalak et au cours des automnes 2009 et 2010 dans le fjord de Nachvak, le fjord de Saglek, la baie d'Okak et la baie d'Anaktalak. Les échantillons ont été prélevés à la tête et à l'embouchure de chaque fjord et fjard (figure 1). À chaque station, nous avons

déterminé les profils verticaux d'irradiance, de température, de salinité, de concentration en nitrates, de transmissiométrie et de fluorescence de la chlorophylle *in vivo*, à l'aide de sondes attachées à un système CTP-rosette. Les échantillons d'eau ont été prélevés à différentes profondeurs dans la zone euphotique avec des bouteilles de type Niskin de 12 L pour déterminer la composition taxonomique des protistes de $> 2 \mu\text{m}$ (microscope inversé), l'abondance du picophytoplancton ($\leq 2 \mu\text{m}$) et du nanophytoplancton (de 2 à $20 \mu\text{m}$) (cytométrie de flux), la biomasse de chlorophylle du phytoplancton (fluorométrie) et sa production primaire (méthode d'assimilation du ^{14}C à l'aide d'incubations *in situ* simulées en 2007 et 2010 et des courbes de photosynthèse-irradiance en 2009). Les méthodes utilisées dans le cadre de cette étude sont décrites en détail dans Ardyna *et al.* (2011). Les résultats présentés ici sont tirés des données recueillies pendant l'été 2007 et les automnes 2009 et 2010 seulement.

10.9.1 Ce que nous avons appris

Pendant l'été 2007, un total de 86 taxons de protistes ont été observés dans la zone euphotique des 3 bras de mer étudiés (soit le fjord de Nachvak, le fjord de Saglek et la baie d'Anaktalak), dont 41 taxons de flagellés, 245 taxons de diatomées centriques, 14 taxons de dinoflagellés et 7 taxons de diatomées pennées. Trente et un taxons étaient communs aux trois fjords, et la plupart étaient des flagellés. Les protistes les plus abondants appartenaient aux genres *Chaetoceros* (une diatomée centrique) et *Chrysochromulina* (un prymnésiophyte). Le nombre d'espèces de protistes, un indice de la diversité des espèces, s'élevait à 66 dans le fjord de Nachvak, à 61 dans le fjord de Saglek et à 65 dans la baie d'Anaktalak. On peut donc dire que la diversité des espèces était similaire dans les trois fjords pendant l'été.

Au cours des automnes 2009 et 2010, les nombres de taxons de protistes variaient de 67 dans la baie d'Okak à 117 dans le fjord de Saglek, avec un nombre moyen de 92 taxons. Le nombre d'espèces variait de 38 dans la baie d'Okak à 70 dans la baie d'Anaktalak, avec un nombre moyen de 54 (figure 21). En général, il y avait diminution du nombre de taxons et du nombre d'espèces de la tête à l'embouchure de chaque bras

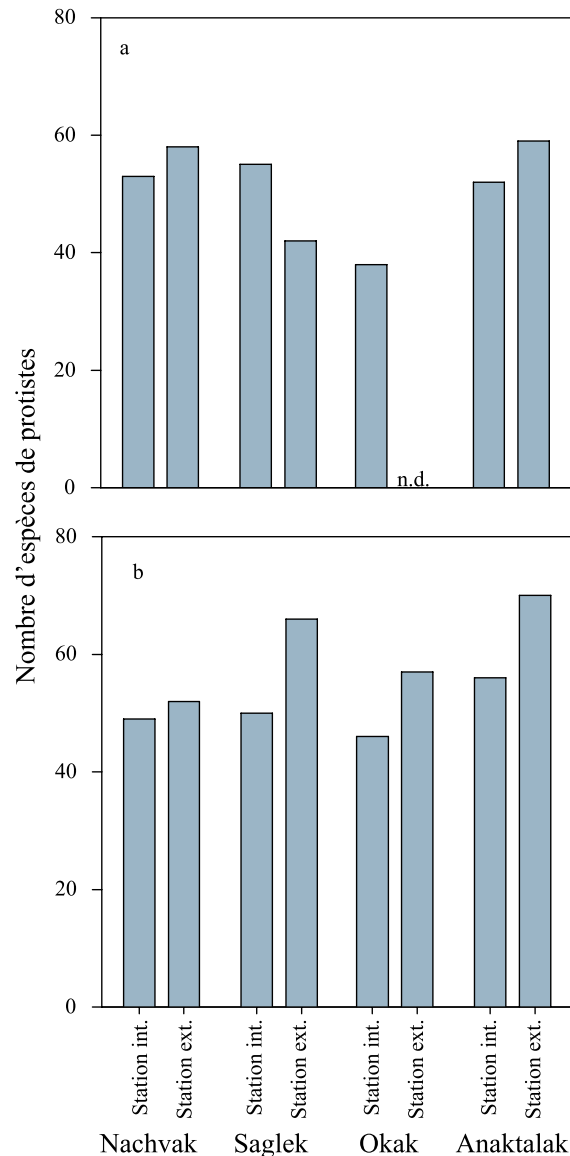


Figure 21. Nombre d'espèces de protistes $> 2 \mu\text{m}$ dans les quatre bras d'eau du Labrador pendant a) l'automne 2009 et b) l'automne 2010. Les protistes sont des organismes eucaryotes unicellulaires. n.d. : données non disponibles.

de mer, sauf dans le fjord de Saglek en 2009. La différence dans la diversité de protistes était relativement faible d'un bras de mer à un autre et d'une année d'échantillonnage à l'autre. Les diversités maximales ont toutefois été observées dans la station à l'extérieur du fjord de Saglek et de la baie d'Anaktalak à l'automne 2010 (figure 21b). La communauté

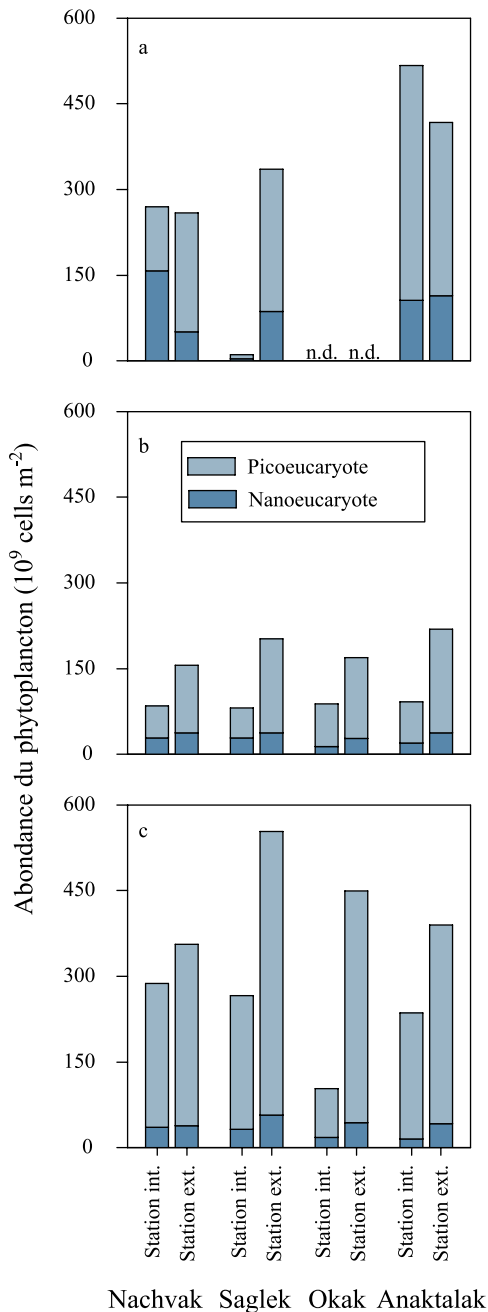


Figure 22. Abondance totale intégrée du picophytoplancton eucaryote et du nanophytoplancton eucaryote dans les 100 premiers mètres de la colonne d'eau (ou la colonne entière si celle-ci a une profondeur de moins de 100 m) dans les quatre bras de mer du Labrador pendant a) l'été 2007, b) l'automne 2009 et c) l'automne 2010. n.d. : données non disponibles.

était composée des taxons habituels d'automne, notamment des flagellés photosynthétiques (p. ex., des prymnésiophyces) et des flagellés hétérotrophes (p. ex., des choanoflagellés).

On a enregistré les quantités maximales et minimales de phytoplancton eucaryote (0,2 à 20 μm) dans les stations à l'intérieur de la baie d'Anaktalak (été 2007) et de la baie d'Okak (automne 2009; figure 22). Les picoeucaryotes ($\leq 2 \mu\text{m}$) étaient les cellules d'algues les plus abondantes pendant la période d'étude, représentant en moyenne de 70 à 89 % du phytoplancton total (0,2 à 20 μm). Le picophytoplancton et le nanophytoplancton (de 2 à 20 μm) étaient toujours plus abondants aux stations extérieures, sauf dans la baie d'Anaktalak pour les picoeucaryotes et dans le fjord de Nachvak pour les nanoeucaryotes pendant l'été 2007. Le picophytoplancton était plus abondant pendant l'été 2007 et l'automne 2010 que pendant l'automne 2009, tandis que le nanophytoplancton était plus abondant pendant l'été 2007 que pendant les deux autres périodes d'échantillonnage. Dans l'ensemble, les distributions spatiales et temporelles dans l'abondance du phytoplancton et dans la structure des cellules selon leur grosseur étaient relativement similaires entre les bras de mer.

Pendant la période d'échantillonnage, la biomasse de phytoplancton intégrée dans la zone euphotique variait de 8,6 mg chl *a* m⁻² à la station intérieure de la baie d'Okak à 96,5 mg chl *a* m⁻² à la station extérieure de la baie d'Anaktalak (figure 23). La biomasse de phytoplancton était constamment plus élevée aux stations intérieures qu'aux stations extérieures au fjord de Nachvak et dans la baie d'Anaktalak, tandis que l'on observait la tendance opposée dans le fjord de Saglek. La biomasse était, en moyenne, trois fois plus élevée en été 2007 qu'à l'automne 2009 et 2010. Pendant l'été 2007, la biomasse était généralement dominée par des cellules de grosse taille (> 5 μm), contrairement aux périodes d'automne 2009 et 2010 où la biomasse de phytoplancton était constamment dominée par des cellules de petite taille (0,7 à 5 μm), particulièrement aux stations extérieures du fjord de Nachvak et de la baie d'Okak et aux deux stations de la baie d'Anaktalak. Le fjord de Saglek était l'exception à cette tendance, avec des cellules de grosse taille dominant la biomasse. La valeur élevée de

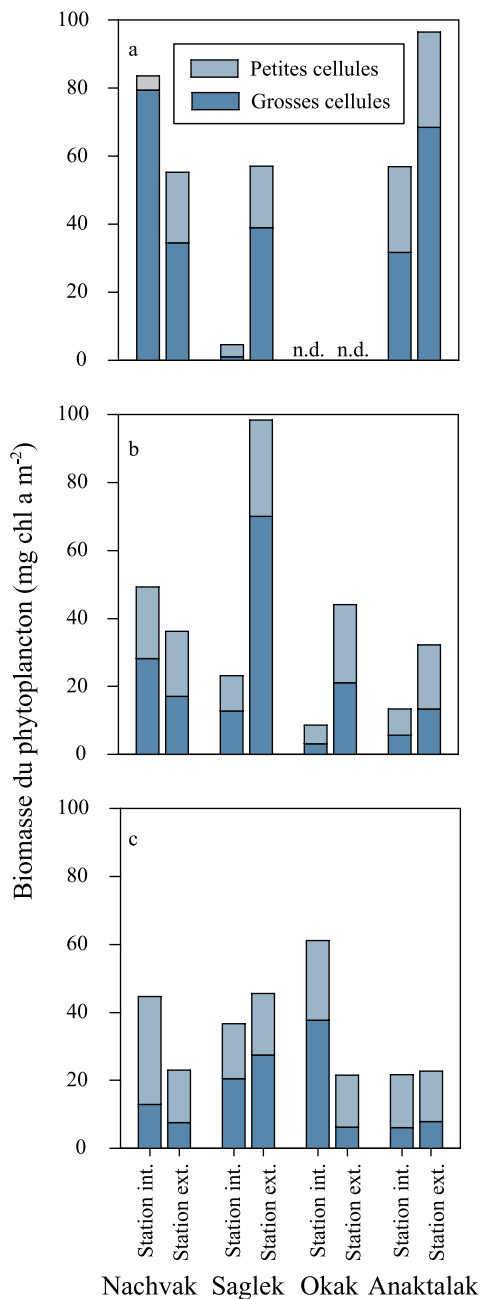


Figure 23. Variation de la biomasse de phytoplancton (chlorophylle *a*) intégrée sur l'épaisseur de la zone euphotique dans les quatre bras de mer à l'étude au Labrador pendant a) l'été 2007, b) l'automne 2009, c) l'automne 2010. La biomasse des cellules d'algues de grosse taille (> 5 µm) et de petite taille (0,7 à 5 µm) est indiquée. n.d. : données non disponibles.

biomasse (c.-à-d., 98,3 mg chl *a* m⁻²; figure 23b) mesurée à la station extérieure du fjord de Saglek pendant l'expédition de 2009 semble indiquer qu'à l'automne il pourrait se produire une prolifération de phytoplancton composé de cellules de grosse taille dans les fjords du nord du Labrador.

Pendant l'été 2007, les stations extérieures des fjords ont été extrêmement productives (production primaire > 1 000 mg C m⁻² j⁻¹), avec des taux qui vont en diminuant du bras de mer le plus au nord vers le bras de mer le plus au sud (figure 24a). La production primaire était en moyenne huit fois plus faible à l'automne 2012 qu'à l'été 2007 (figure 24b). Pendant l'automne 2010, les taux de production étaient constamment plus élevés aux stations intérieures qu'aux stations extérieures. De plus, les taux étaient moindres dans la baie d'Anaktalak que dans les autres bras de mer. Le phytoplancton de grosse taille constituait, en moyenne, 34 et 18 % de la production primaire totale en été 2007 et à l'automne 2010, respectivement. Pendant l'été, la contribution des cellules de phytoplancton de grande taille à la production totale (plage = 27 à 46 %, moyenne de 34 %) était généralement inférieure à leur contribution à la biomasse totale (plage = 62 à 71 %, moyenne de 67 %). Cela peut indiquer soit une consommation des petites cellules de phytoplancton par du microzooplancton, soit une accumulation de cellules de grosse taille dans la zone euphotique (Tremblay et Legendre, 1994). Les deux interprétations supposent que le carbone du phytoplancton produit aux stations extérieures pendant l'été était principalement retenu dans la zone euphotique plutôt que d'être exporté en profondeur.

10.9.2 Prochains objectifs

Notre prochain objectif est d'évaluer le rôle des facteurs abiotiques (p. ex., la stratification de la colonne d'eau, la disponibilité de la lumière et l'approvisionnement en substances nutritives) et des facteurs biotiques (p. ex., alimentation) sur la production et le devenir des communautés de phytoplancton dans les divers fjords. Cette information nous aidera à comprendre comment les changements climatiques peuvent affecter le fonctionnement et la structure des communautés planctoniques dans les écosystèmes des fjords subarctiques.

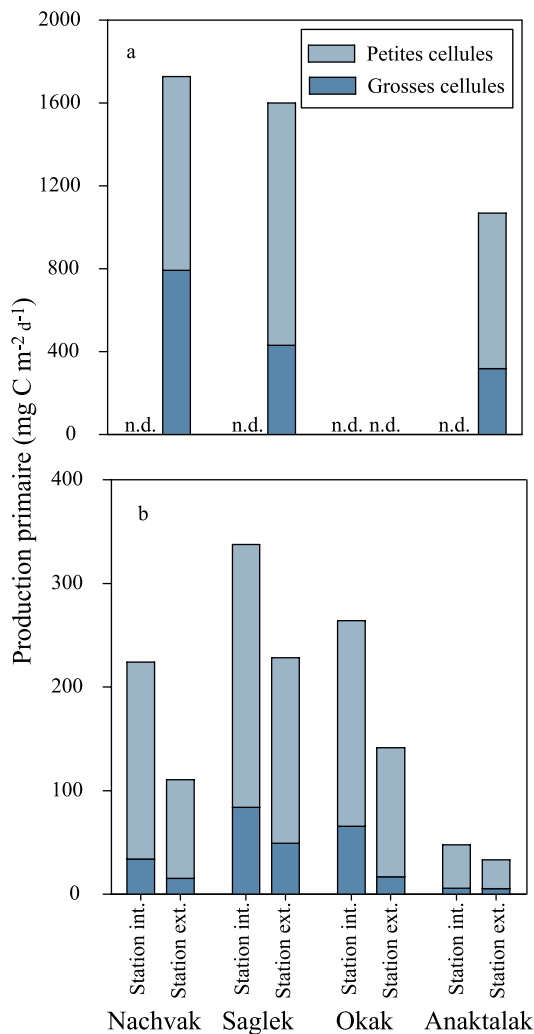


Figure 24. Variation de la production primaire dans la zone euphotique dans les quatre bras de mer à l'étude au Labrador pendant a) l'été 2007, b) l'automne 2010. Les taux de production pour les cellules d'algues de grosse taille (> 5 µm) et de petite taille (0,7 à 5 µm) sont indiqués. n.d. : données non disponibles

10.10 Nos connaissances à ce jour

Cette étude biologique et physique des fjords et fjards du nord du Labrador fournit de nouvelles perspectives sur ces sujets importants, mais encore mal compris. Il y a eu une diminution importante de la durée de la couverture de glace dans tous les bras de mer du nord du Labrador au cours des

50 dernières années, avec de récentes concentrations de glace extrêmement faibles accompagnées d'une salinité réduite. Sur une échelle de temps plus courte, au cours des dix dernières années, il y également eu une augmentation de la productivité marine le long d'un gradient nord-sud au Labrador. Même si l'importance biologique de ces changements variera, on s'attend à ce que leur évolution cause une augmentation générale de l'abondance des espèces et une expansion vers le nord des aires de distribution géographique des espèces des latitudes inférieures; de telles réactions pourraient modifier le transfert énergétique dans tous les systèmes physiques et biologiques (y compris les systèmes inuits) et affecter les mouvements des contaminants de façon plus importante qu'à l'heure actuelle.

Les mammifères marins associés à la glace, comme les phoques annelés, peuvent être particulièrement vulnérables à la diminution de la durée de la couverture de glace, car ils dépendent de la glace pour élever avec succès leurs petits. En outre, les changements dans la disponibilité et la distribution des proies pourraient affecter l'état nutritionnel du phoque, son succès reproducteur, et sa distribution géographique, ce qui pourrait causer des changements dans la distribution de l'espèce et dans la charge de contaminants. Les études sur la chaîne alimentaire côtière du phoque annelé et les études de télémétrie fournissent des aperçus importants sur la distribution de l'espèce, son comportement de recherche de nourriture et son régime alimentaire. Les données de télémétrie indiquent que certains phoques ont un comportement d'alimentation localisé alors que les résultats de l'étude de la chaîne alimentaire côtière semblent indiquer qu'il peut y avoir des différences dans l'alimentation (le régime alimentaire) des phoques annelés dans les quatre bras de mer et que ces différences peuvent avoir des implications sur le transfert des contaminants dans cette espèce.

L'étude de cas de Saglek illustre comment les écosystèmes marins de niveau énergétique élevé le long du littoral du Labrador peuvent montrer une résilience substantielle et récupérer des perturbations anthropiques s'ils sont gérés de façon durable et progressive. Toutefois, l'héritage des sources locales de contamination continue à affecter les



systèmes marins côtiers au Labrador, car on trouve encore des concentrations élevées de contaminants (BPC) dans certains phoques annelés (de 10 à 15 % environ) capturés sur la côte. Malgré ce fait, les phoques annelés sont encore une source de nourriture saine et les taux de contaminants chez les Inuits du Nunatsiavut sont généralement inférieurs à ceux des populations du reste de l'Arctique à cause des choix alimentaires généraux.

La recherche effectuée à ce jour dans ces fjords et fjards fournit une base pour des recherches ultérieures dans ces milieux et pour surveiller les changements environnementaux dans les régions côtières subarctiques et arctiques. D'après les conditions prédites par les modèles climatiques et les tendances observées au cours des 50 dernières années, on s'attend à des changements dans les propriétés physiques de ces écosystèmes découlant uniquement des changements climatiques. Les principales incertitudes scientifiques

ont trait aux impacts des changements climatiques et de l'industrialisation sur les interactions de la faune et de la flore du littoral marin et sur la structure et la fonction de l'écosystème. Les recherches et la surveillance continues de ces écosystèmes seront très utiles pour comprendre les changements environnementaux.

10.11 Références

- Addison, R. F. 1982. Organochlorine compounds and marine lipids. *Progress in Lipid Research*, 21:47-71.
- Addison, R. F., Ikononou, M. G., et Smith, T. G. 2005. PCDD/F and PCB in harbour seals (*Phoca vitulina*) from British Columbia: response to exposure to pulp mill effluents. *Marine Environmental Research*, 59:165-176.
- Ardyna, M., Gosselin, M., Michel, C., Poulin, M., et Tremblay, J. -É., 2011. Environmental forcing of

- phytoplankton community structure and function in the Canadian High Arctic: contrasting oligotrophic and eutrophic regions. *Marine Ecology Progress Series*, doi:10.3354/meps09378.
- Arrigo, K. R., et van Dijken, G. L. 2011. Secular trends in Arctic Ocean net primary production. *Journal of Geophysical Research*, 116:C09011, doi:10.1029/2011JC007151.
- Ayotte, P., Dewailly, E., et Furgal, C. 2002. Health risk assessment for the consumption of country foods in the Saglek Bay area, Labrador, Canada. Prepared for: The Labrador Inuit Association and the Environmental Sciences Group, on behalf of the Director General Environment, Department of National Defence. Quebec: Laval University, Public Health Research Unit.
- Bell, T. et Josenhans, H., 1997. The Seismic Record of Glaciation in Nachvak Fiord, Northern Labrador. In Davies, T., Bell, T., Cooper, A., Josenhans, H., Polyak, L., Solheim, A., Stoker, S. M. et Stravers, J. A. (Eds), *Glaciated Continental Margins: An Atlas of Acoustic Images*, London: Chapman & Hall, p. 190-193.
- Boessenkool, K. P., van Gelder, M. J., Brinkhuis, H., et Troelstra, S. R. 2001. Distribution of organic-walled dinoflagellate cysts in surface sediments from transects across the Polar Front offshore southeast Greenland. *Journal of Quaternary Science*, 16:661-666.
- Brown, T. M., Sheldon, T. A., Burgess, N. M., et Reimer, K. J. 2009. Reduction of PCB Contamination in an Arctic Coastal Environment: A First Step in Assessing Ecosystem Recovery after the Removal of a Point Source. *Environmental Science and Technology*, 42:7635-7642.
- Budge, S. M., Iverson, S. J., et Koopman, H. N. 2006. Studying trophic ecology in marine ecosystems using fatty acids: a primer on analysis and interpretation. *Marine Mammal Science*, 22:759-801.
- Comeau, A. M., Li, W. K. W., Tremblay, J. -É., Carmack, E. C., et Lovejoy, C. 2011. Arctic Ocean microbial community structure before and after the 2007 record sea ice minimum. *PLoS ONE*, 6:e27492, doi:10.1371/journal.pone.0027492.
- Darnis, G., Barber, D. G., et Fortier, L. 2008. Sea ice and the onshore-offshore gradient in pre-winter zooplankton assemblages in southeastern Beaufort Sea. *Journal of Marine Systems*, 74:994-1011.
- de Vernal, A., Eynaud, F., Henry, M., Hillaire-Marcel, C., Londeix, L., Mangin, S., Matthiessen, J., Marret, F., Radi, T., Rochon, A., Solignac, S., et Turon, J.-L. 2005. Reconstruction of sea-surface conditions at middle to high latitudes of the Northern Hemisphere during the Last Glacial Maximum (LGM) based on dinoflagellate cyst assemblages. *Quaternary Science Reviews*, 24:897-924.
- de Vernal, A., Henry, M., Matthiessen, J., Mudie, P. J., Rochon, A., Boessenkool, K. P., Eynaud, F., Grøsfjeld, K., Guiot, J., Hamel, D., Harland, R., Head, M. J., Kunz-Pirung, M., Levac, E., Loucheur, V., Peyron, O., Pospelova, V., Radi, T., Turon, J. -L., et Voronina, E. 2001. Dinoflagellate cyst assemblages as tracers of sea-surface conditions in the northern North Atlantic, Arctic and sub-Arctic seas : the new 'n=677' data base and its application for quantitative palaeoceanographic reconstruction, *Journal of Quaternary Science*, 16:681-698.
- Environmental Sciences Group. 2002. *Ecological Risk Assessment of PCB Contaminated Sediments at Saglek, Labrador (Lab-2): prepared for North Warning System Office, Kingston, Ontario.*
- Falk-Petersen, S., Haug, T., Nilssen, K. T., Wold, A., et Dahl, T. M. 2004. Lipids and trophic linkages in harp seal (*Phoca groenlandicus*) from the eastern Barents Sea. *Polar Research*, 23:43-50.
- Fisk, A. T., Hobson, K. A., et Norstrom, R. J. 2001. Influence of chemical and biological factors on trophic transfer of persistent organic pollutants in the Northwater Polynya marine food web. *Environmental Science and Technology*, 35:732-738.
- France, R. L., et Peters, R. H. 1997. Ecosystem differences in the trophic enrichment of ^{13}C in aquatic food webs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54:1255-1258.
- Grebmeier, J. M., Overland, J. E., Moore, S. E., Farley, E. V., Carmack, E. C., Cooper, L. W., Frey, K. E., Helle, J. H., McLaughlin, F. A., et McNutt, S. L. 2006. A major ecosystem shift in the northern Bering Sea. *Science*, 311:1461-1464.



Grosfjeld, K., et Harland, R. 2001. Distribution of modern dinoflagellate cysts from inshore areas along the coast of southern Norway. *Journal of Quaternary Science*, 16:651-659.

Hoekstra, P. F., O'Hara, T. M., Fisk, A. T., Borga, K., Solomon, K. R., et Muir, D. C. G. 2003. Trophic transfer of persistent organochlorine contaminants (OCs) within an Arctic marine food web from the southern Beaufort-Chukchi Seas. *Environmental Pollution*, 124:509-522.

Howe, J. A., Austin, E. N., Forwick, M., Paetzel, M., Harland, R., et Cage, A. G. 2010. Fjord systems and archives: a review. *Geological Society, London, Special Publications*, 344:5-15.

Iverson, S. J., Frost, K. J., et Lowry, L. F. 1997. Fatty acid signatures reveal fine scale structure of foraging distribution of harbor seals and their prey in Prince William Sound, Alaska. *Marine Ecology Progress Series*, 151:255-271.

Iverson, S. J., Field, C., Bowen, W. D., et Blanchard, W. 2004. Quantitative fatty acid signature analysis: a new method of estimating predator diet. *Ecological Monographs*, 74:11-235.

Kahlmeyer, E. 2009. Comparison of the Sedimentary Record in Three Sub-Arctic Fjord Systems in Northern Labrador. Unpubl. Research report, Honours of Earth Sciences, Memorial University of Newfoundland, St. John's, Newfoundland.

Kime, D. E. 1995. The effects of pollution on reproduction in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 5:52-96.

Kunz-Pirrung, M. 2001. Dinoflagellate cyst assemblages in surface sediments of the Laptev Sea region (Arctic Ocean) and their relationship to hydrographic conditions. *Journal of Quaternary Science*, 16:637-649.

- Kuzyk, Z. A., Stow, J. P., Burgess, N. M., Solomon, S. M., et Reimer, K. J. 2005. PCBs in sediments and coastal food web near a local contaminant source in Saglek Bay, Labrador. *Science of the Total Environment*, 351-352, 264-284.
- Kuzyk, Z. A., Burgess, N. M., Stow, J. P., et Fox, G. A. 2003. Biological Effects of Marine PCB Contamination on Black Guillemot Nestlings at Saglek, Labrador: Liver Biomarkers. *Ecotoxicology*, 12,183-197.
- Kwok, R., Cunningham, G. F., Wensnahan, M., Rigor, I., Zwally, H. J., et Yi, D. 2009. Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003-2008. *Journal of Geophysical Research*, 114:C07005, doi:10.1029/2009JC005312.
- Li, W. K. W., McLaughlin, F. A., Lovejoy, C., et Carmack, E. C. 2009. Smallest algae thrive as the Arctic Ocean freshens. *Science*, 326:539.
- Markus, T., Stroeve, J. C., et Miller, J. 2009. Recent changes in Arctic sea ice melt onset, freezeup, and melt season length. *Journal of Geophysical Research*, 114:C12024, doi:10.1029/2009JC005436.
- Moline, M. A., Karnovsky, N. J., Brown, Z., Divoky, G. J., Frazer, T. K., Jacoby, C. A., Torrese, J. J., et Fraser, W. R. 2008. High latitude changes in ice dynamics and their impact on polar marine ecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134:267-319.
- Mudie, P. J., et Rochon, A. 2001. Distribution of dinoflagellate cysts in the Canadian Arctic marine region. *Journal of Quaternary Science*, 16:603-620.
- Muir, D. C. G., Norstrom, R. J., et Simon, M. 1988. Organochlorine contaminants in Arctic marine food chains: accumulation of specific polychlorinated biphenyls and chlordane-related compounds. *Environmental Science and Technology*, 22:1071-1079.
- Muir, D. C. G., Wagemann, R., Hargrave, B. T., Thomas, D. J., Peakall, D. B., et Norstrom, R. J. 1992. Arctic marine ecosystem contamination. *Science of the Total Environment*, 122, 75-134.
- Peterson, B. J., McClelland, J., Curry, R., Holmes, R. M., Walsh, J. E., et Aagaard, K. 2006. Trajectory shifts in the Arctic and Subarctic freshwater cycle. *Science*, 313:1061-1066.
- Post, E., Forchhammer, M. C., Bret-Harte, M. S., Callaghan, T. V., Christensen, T. R., Elberling, B., Fox, A. D., Gilg, O., Hik, D. S., Hoyer, T. T., Ims, R. A., Jeppesen, E., Klein, D. R., Madsen, J., McGuire, A. D., Rysgaard, S., Schindler, D. E., Stirling, I., Tamstorf, M. P., Tyler, N. J. C., van der Wal, R., Welker, J., Wookey, P. A., Schmidt, N. M., et Aastrup, P. 2009. Ecological dynamics across the Arctic associated with recent climate change. *Science*, 325:1355-1358.
- Radi, T., et de Vernal, A. 2008. Dinocysts as proxy of primary productivity in mid-high latitudes of the Northern Hemisphere. *Marine Micropaleontology*, 68:84-114.
- Radi, T., de Vernal, A., et Peyron, O. 2001. Relationships between dinoflagellate cyst assemblages in surface sediment and hydrographic conditions in the Bering and Chukchi seas. *Journal of Quaternary Science*, 16:667-680.
- Richerol, T., Rochon, A., Blasco, S., Scott, D. B., Schell, T. M., et Bennett, R. J. 2008a. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments of the Mackenzie Shelf and Amundsen Gulf, Beaufort Sea (Canada). *Journal of Marine Systems*, 74:825-839.
- Richerol, T., Rochon, A., Blasco, S., Scott, D. B., Schell, T. M., et Bennett, R. J. 2008b. Evolution of paleo sea-surface conditions over the last 600 years in the Mackenzie Trough, Beaufort Sea (Canada). *Marine Micropaleontology*, 68:6-20.
- Rochon, A., de Vernal, A., Turon, J. -L., Matthiessen, J., et Head, M. J. 1999. Distribution of recent dinoflagellate cysts in surface sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters. *Contribution Series Number 35, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation: Dallas, TX; 152 pp.*

Serreze, M. C., Barrett, A. P., Slater, A. G., Woodgate, R. A., Aagaard, K., Lammers, R. B., Steele, M., Moritz, R., Meredith, M., et Lee, C.M. 2006. The large-scale freshwater cycle of the Arctic. *Journal of Geophysical Research*, 111:C11010, doi:10.1029/2005JC003424.

Smith, T. G. 1987. The Ringed Seal, *Phoca hispida* of the Canadian Western Arctic. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences*. 216:1-81

Stroeve, J., Holland, M. M., Meier, W., Scambos, T., et Serreze, M. 2007. Arctic sea ice decline: Faster than forecast. *Geophysical Research Letters*, 34:L0950, doi:10.1029/2007GL029703.

Syvitski, J. P. M., et Shaw, J. 1995. Sedimentology and Geomorphology of Fjords. In Perillo, G. M. E. (Ed), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*, Developments in Sedimentology, 53:113-178.

Taylor, F. J. R., Hoppenrath, M., et Saldarriaga, J. F. 2008. Dinoflagellate diversity and distribution. *Biodiversity and Conservation*, 17:407-418.

Tremblay J.-É., Bélanger, S., Barber, D. G., Asplin, M., Martin, J., Darnis, G., Fortier, L., Gratton, Y., Link, H., Archambault, P., Williams, W. J., Sallon, A., Michel, C., Philippe, B., et Gosselin, M. 2011. Climate forcing multiplies biological productivity in the coastal Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 38:L18604, doi:10.1029/2011GL048825.

Tremblay, J. E., et Legendre, L. 1994. A model for the size-fractionated biomass and production of marine phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, 39:2004-2014.

Voronina, E., Polyak, L., de Vernal, A., et Peyron, O. 2001. Holocene variations of sea-surface conditions in the southeastern Barents Sea, reconstructed from dinoflagellate cyst assemblages. *Journal of Quaternary Science*, 16:717-726.

Wassmann, P., Duarte, C. M., Agustí, S., et Sejr, M. K. 2011. Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem. *Global Change Biology*, 17:1235-1249, doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02311.x.

Crédits photos :

Michel Allard, Doug Barber, Trevor Bell, Philippe Bourseiller, Tanya Brown, Alain Cuerrier, Jonathan Drouin, Isabelle Dubois, Geneviève Dufour-Tremblay James Ford, Alexandre Forest, Martin Fortier, José Gérin-Lajoie, Tania Gibéryen, Pamela Godin, Christina Goldhar, Laina Gray, Innavik, Reijo Juurinen, Tom Knight, Isabelle Laurion, Keith Levesque, Emmanuel L'Hérault, Vincent L'Hérault, Makivik Corporation, Reinhard Pienitz, Michael Power, Geneviève Ringuet, Denis Sarrazin, Caroline Sévigny, Tom Sheldon, Laura Siegwart Collier, Angus Simpson, Joëlle Taillon, Ramon Terrado, Benoît Tremblay, Martin Tremblay, Warwick F. Vincent, Heiko Wittenborn et autres photographes anonymes.

Design par POGZ et Mickaël Lemay



ArcticNet
ᐅᐱᐅᑦᑲᑲᑲᑲᑲᑲᑲ ᑲᐱᑲᑲᑲᑲᑲᑲᑲ

ArcticNet Inc.

Pavillon Alexandre-Vachon, bureau 4081
1045, avenue de la Médecine
Université Laval
Québec (Québec) G1V 0A6

T: (418) 656-5830
F: (418) 656-2334

www.arcticnet.ulaval.ca