

Sciences à la page

AVRIL 2013

ARCTIQUE ET ADAPTATION

L'Arctique, qui couvre plus de 40 % du territoire terrestre du Canada, est une partie essentielle de son histoire et de son économie. Et c'est le foyer de quelque 100 000 Canadiens. La vie animale y abonde, depuis les grosses espèces emblématiques, comme les baleines, les caribous, les ours polaires et les bœufs musqués, jusqu'aux poissons, aux phoques et aux oiseaux, et même au minuscule plancton océanique. Ses paysages spectaculaires renferment des minéraux, des métaux précieux et des réserves de pétrole et de gaz.

Au-delà de ses richesses, l'Arctique est un indicateur environnemental qui réagit au réchauffement climatique trois fois plus vite que la moyenne mondiale. La disparition de la glace de mer estivale est un des effets évidents de cet état de choses. Dans l'Arctique canadien, l'étendue de la glace de mer en été est à l'heure actuelle la plus petite en au moins 5 000 ans. La vulnérabilité écologique de l'Arctique signifie que c'est d'abord là que les changements provoqués par le réchauffement du climat seront les plus prononcés. Pour nous adapter, nous avons besoin de données de surveillance fiables afin que les habitants, les scientifiques et l'industrie puissent prédire les changements et s'y préparer, préserver le mode de vie des habitants, construire et entretenir une infrastructure, et assurer le développement économique durable de la région.



Source : NRCan



Source : Martin Fortier/ArcticNet

S'ADAPTER À UN MILIEU TERRESTRE EN CHANGEMENT

Le dégel des grandes étendues de pergélisol sera un des plus gros effets des changements climatiques dans l'Arctique, un effet qui en de nombreux endroits se produit déjà. Le pergélisol est un sol gelé pendant au moins deux années consécutives et qui parfois renferme plus de glace que de sol. Toutes les constructions érigées sur le pergélisol modifient sa température et le font souvent dégeler et bouger, ce qui menace la stabilité de ce qui se trouve dessus. Les changements climatiques aggravent ce phénomène parce qu'ils réchauffent le sol et amènent le pergélisol plus près de son point de décongélation. Les ingénieurs qui construisent des routes, des bâtiments et des aéroports dans l'Arctique ont ainsi des défis particuliers à relever.

L'Arctique est doté de réserves de pétrole, de gaz et de métaux précieux. Les trois territoires du Canada renferment des métaux et des minéraux précieux, entre autres de l'or, du minerai de fer et de l'argent. Douze mines attendent d'obtenir les permis réglementaires, et des centaines de sites sont explorés. Les plus de 200 millions de barils de pétrole et les 6 billions de pieds cubes de gaz commercialisable découverts au large du delta du Mackenzie et de la mer de Beaufort exigent une infrastructure sur terre et sur mer. Exploiter ces réserves présente pour les ingénieurs de nouvelles difficultés qu'ils doivent résoudre en tenant compte de l'évolution rapide des conditions.

Une nouvelle infrastructure industrielle, par exemple des routes, étant en voie de construction et les collectivités nordiques prenant de l'expansion, il faut comprendre les conséquences du dégel du pergélisol sur les structures. Dans les Territoires du Nord-Ouest, la construction d'une nouvelle route sur 140 km, d'Inuvik à Tuktoyaktuk, située sur le bord de l'océan Arctique, a été approuvée en mars 2013. Cette route, qui coûtera 200 000 millions de dollars au gouvernement fédéral, est construite sur un sol gelé en permanence, ce dont sa construction tient compte, le pergélisol étant considéré comme un des plus grands risques pour le projet.

Sciences à la page

La surveillance à long terme du pipeline Norman Wells a permis de recueillir des données précieuses qui montrent quelles peuvent être les incidences des structures industrielles sur le pergélisol. Construit au début des années 1980, ce pipeline transporte le pétrole brut du nord-ouest du pays, près du cercle polaire arctique, jusqu'aux marchés du Sud. La collaboration entre la Commission géologique du Canada et Enbridge, propriétaire du pipeline, a permis la surveillance à long terme le long du pipeline. Les résultats montrent que les perturbations du pergélisol causées par la construction ont été plus importantes que celles qui ont été provoquées par le réchauffement climatique au cours des 10 à 15 premières années d'exploitation, mais que le réchauffement climatique est peu à peu devenu plus important. La conception des ouvrages d'infrastructure censés durer des décennies doit tenir compte des effets des perturbations environnementales et du réchauffement climatique.

Le déplacement de la surface du sol causé par le dégel du pergélisol est en général découvert par des observations du sol et les dommages aux structures. Des chercheurs de l'Université Laval et de la Commission géologique du Canada ont conçu une nouvelle méthode permettant de dire quelles structures courent peut-être des risques avant que les dégâts ne surviennent. Ils l'ont mise à l'essai à Salluit, au Nunavik, en utilisant la modélisation numérique et l'analyse d'images radars satellitaires prises à intervalles réguliers. Ils ont ainsi pu repérer les parties de la ville où le sol a commencé à bouger de 8 mm/année à peine, soit le quart seulement de la croissance annuelle de l'ongle d'un être humain.



Source : CBC/Paul NAGle

AÉROPORT D'IQUALUIT

Le réchauffement du climat qui touche le Nunavik, particulièrement prononcé depuis 1993 à peu près, fait craindre pour la stabilité du pergélisol autour des collectivités. Les scientifiques étudiant les conditions du pergélisol sous Iqualuit ont découvert que l'aéroport est bâti sur un sol instable. L'aéroport d'Iqualuit a été construit pendant la Deuxième Guerre mondiale et son histoire a été ponctuée de problèmes de tassement et de fissuration due au gel qui nuit à la sécurité.

Outre le réchauffement récent, l'utilisation de l'aéroport a connu une croissance très rapide depuis 1999; les décollages et les atterrissages des avions devraient, selon les prévisions, passer de 20 000 en 2010 à 37 000 en 2030. Une grande remise en état des installations est prévue pour 2014 et assurer la stabilité du sol à notre époque de changements climatiques est prioritaire.

Au cours des trois dernières années, des scientifiques de l'Université Laval et de la Commission géologique du Canada ont étudié les conditions du pergélisol sur le site. Les géoradars, le carottage du pergélisol, les capteurs de la température en profondeur et la modélisation numérique combinés aident à repérer les zones sensibles, à cartographier la profondeur du dégel sous les pistes et le tarmac, et à prévoir les changements que subira le pergélisol compte tenu de ceux qui se produisent à la surface. Les scientifiques et les ingénieurs collaboreront pour modifier la conception de l'aéroport afin qu'il puisse continuer d'être utilisé pendant longtemps.



Source : Amy Tichwell

SECTION EXPÉRIMENTALE DE LA ROUTE DE BEAVER CREEK

Une équipe de chercheurs canadiens et américains procède à une expérience sur la route de l'Alaska, près de Beaver Creek, au Yukon, afin d'essayer de stabiliser la température du pergélisol sous les routes.

Ils essaient de rafraîchir le sol sous la chaussée et d'empêcher le réchauffement de 12 sections de la route. Ils ont utilisé du matériel de remblai poreux qui permet à l'air de circuler sous la route, ont modifié la chaussée pour empêcher le soleil de la réchauffer en été et conçu des stratégies pour que les bancs de neige, qui peuvent isoler le sol en hiver, ne s'accumulent pas sur la route. Ils ont installé des centaines de capteurs de la température et de l'eau souterraine dont les données sont transmises par satellite toutes les heures à un serveur central à Whitehorse.

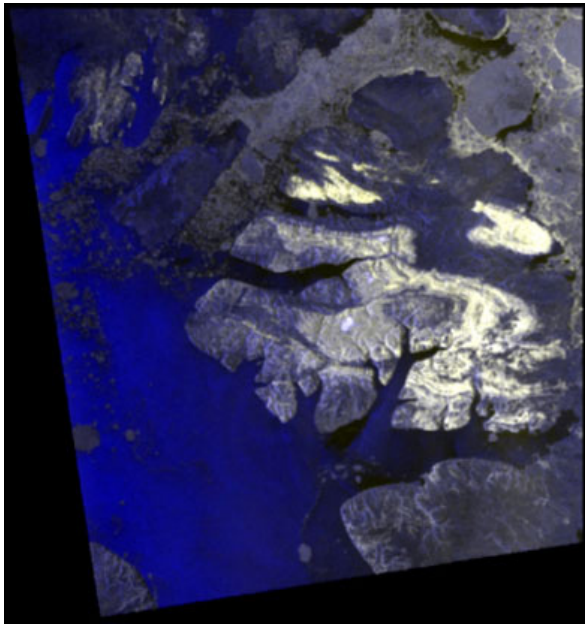
Une autre technique, un système de conduits d'air utilisant la convection naturelle, a élevé la limite du pergélisol d'environ 1 m sous le remblai.

S'ADAPTER À UN MILIEU MARIN EN CHANGEMENT

La faible étendue sans précédent de la glace de mer pendant l'été amène l'intensification du trafic maritime, du tourisme et de l'exploration pétrolière et gazière dans l'Arctique. Les distances entre l'océan Atlantique et l'océan Pacifique peuvent être réduites de près du tiers si les bateaux commerciaux passent par l'océan Arctique et le passage du Nord-Ouest, qu'on a longtemps cherché. Le détroit de M'Clure, route de navigation la plus courte du passage, a été ouvert pour la première fois en 2007.

D'ici au milieu du siècle, ces routes auparavant bloquées par les glaces pourraient être devenues des voies de navigation fiables, surtout à la fin de l'été. Elles ne sont toutefois pas bien cartographiées et plusieurs bateaux se sont échoués au cours des dernières années. Le risque que des navires entrent en collision avec la banquise augmentera lorsqu'un plus grand nombre de bateaux utiliseront le passage du Nord-Ouest. Les chercheurs du projet STePS2 (Sustainable Technology for Polar Ships and Structures – technologie durable pour les structures et navires polaires) de l'Université Memorial améliorent la simulation des dommages subis par les bateaux qui heurtent la banquise. STePS2 élabore des modèles informatiques utilisant une technologie mise au point pour les images haute résolution des jeux vidéo, ce qui permet aux chercheurs de créer et d'analyser des simulations en quelques secondes, alors qu'il fallait auparavant des jours, et parfois des mois, pour y parvenir. Cette croissance exponentielle de l'efficacité aide les ingénieurs à adapter la conception des navires polaires aux nouvelles conditions.

L'accessibilité peut aussi entraîner des risques. Des sociétés comme Shell, Chevron et Statoil ont entrepris des activités d'exploration et de forage du pétrole et du gaz dans l'océan Arctique, mais les activités de Shell ont été arrêtées cette année après des délais et des accidents – y compris l'échouage d'une plate-forme de forage pétrolier en Alaska – qui ont montré, en partie, à quel point cette région peut être difficile.



Source : Radasat (MDA 2009)

VIVRE DANS UN MONDE EN ÉVOLUTION

La sécurité alimentaire, l'« accès à des aliments sains, nutritifs et en quantité suffisante pour conserver la santé et une vie active » est un problème dans le Nord. Une étude portant sur 150 communautés du Nunavut a montré que la sécurité alimentaire de près de 70 % des enfants – ce qui correspond à sept fois la moyenne dans le reste du Canada – n'est pas assurée.

Créer des stratégies durables et appropriées sur le plan culturel pour que l'approvisionnement alimentaire des habitants du Nord soit adéquat est une des plus grosses difficultés à résoudre pour s'adapter aux changements climatiques. Entre le tiers et plus de la moitié des ménages de l'Arctique s'approvisionnent en viande dans la nature. Il ne s'agit pas simplement pour eux de remplir le congélateur. La chasse aux gros mammifères est souvent une activité sociale communautaire, la viande étant partagée d'une manière qui renforce les liens sociaux et culturels.

Mais le mode de vie traditionnel des collectivités inuites, dénuées et métisses qui se nourrissaient autrefois d'aliments prélevés dans la nature, comme le phoque, le narval, le morse, la baleine boréale et le caribou, ou de poissons, comme l'omble chevalier, la morue polaire et le touladi, est menacé. Les terrains de chasse et de pêche deviennent plus imprévisibles et plus dangereux, le réchauffement du climat faisant fondre la glace de mer, aggravant les tempêtes et les vents, et modifiant les habitudes migratoires des animaux et les déplacements des poissons. Les changements climatiques ont aussi été associés à la prévalence accrue de parasites et de zoonoses dans les aliments offerts par la nature. Les changements de la banquise, comme son amincissement, des fissures inhabituelles et la modification du moment de la débâcle et de la prise de la glace, sont observés à une plus grande échelle qu'auparavant et ont des incidences sur la sécurité des chasseurs et des pêcheurs. Bien qu'il n'existe pas de statistiques claires sur le nombre d'accidents liés à la glace, un plus grand nombre sont signalés.



Source : NASA/Reuters

OBSERVATOIRE DE L'OCÉAN ARCTIQUE

Pêches et Océans Canada a créé l'observatoire de l'océan Arctique en temps réel dans le détroit de Barrows, qui se trouve dans le passage du Nord-Ouest, afin de recueillir des données qui nous aideront à nous adapter aux changements climatiques.

Cet observatoire utilise une série d'instruments amarrés au plancher océanique qui recueillent et transmettent directement par satellite aux chercheurs du Ministère des données sur les conditions de l'océan. Ceux-ci ont ainsi pu prédire la date de la prise de la glace en 2012 des semaines avant qu'elle ne se produise. L'exactitude de cette information est essentielle pour les navires gouvernementaux et commerciaux qui empruntent le passage.

L'observatoire recueille aussi des données sur l'écosystème océanique environnant et sa réponse aux changements des conditions.

LA SÉCURITÉ À LA CHASSE — S'ORIENTER DANS UN PAYSAGE CHANGEANT

Il est essentiel pour s'adapter aux changements climatiques dans le Nord d'intégrer les connaissances traditionnelles à l'information scientifique. Les initiatives d'adaptation qui sont du succès, outre qu'elles accordent de la valeur aux connaissances traditionnelles et les intègrent, demandent aussi aux collectivités de circonscrire les principaux enjeux qui les touchent et encouragent les jeunes à participer. Ainsi, de nombreuses collectivités disent que pouvoir chasser et se déplacer en sécurité est une question grave.

Santé Canada contribue au financement de plusieurs projets d'établissement de postes de surveillance de la glace le long des chemins de chasse et de pêche traditionnels dans deux collectivités du nord-est du Labrador et au Nunavik; ces projets sont réalisés avec l'aide de chasseurs et de pêcheurs locaux. Les membres de ces collectivités ont surveillé chaque semaine les données sur la profondeur de la neige et l'épaisseur de la glace fournies par ces stations, et l'information a été diffusée dans la collectivité par la station de radio locale, les sites de réseautage social et la bouche à oreille. Selon les habitants, cela les a aidés à planifier leurs expéditions de chasse de façon plus sécuritaire.

Compte tenu de ce que les jeunes chasseurs ne connaissent pas aussi bien les chemins traditionnels que leurs aînés, Ressources naturelles Canada a mis sur pied un projet pilote de création d'une carte basée sur les connaissances transmises par les aînés. Le résultat est une carte qui porte même les noms traditionnels et n'inclut pas seulement les chemins, mais aussi l'emplacement des cabanes que les chasseurs peuvent utiliser s'ils se trouvent dans un mauvais pas.

Le programme de surveillance océanique des Rangers canadiens, une initiative de Pêches et Océans Canada, met la science entre les mains de la collectivité autochtone, lui donnant les outils de surveillance de la température de l'océan, de l'épaisseur de la glace et de la profondeur de la neige, et des déplacements des plantes et des animaux. Dans un cas, un chasseur du Nunavut a mentionné qu'à l'exception de deux, les 71 phoques qu'il a pris au cours de l'hiver 2009-2010 avaient des crevettes dans l'estomac plutôt que du capelan, comme on s'y serait attendu. Ce genre de données détaillées provenant des habitants sont non seulement essentiels pour la surveillance et les alertes rapides, mais aident aussi à faire participer la collectivité et à la renseigner sur l'écologie, les pêches et l'océanographie.

Le climat se modifie déjà dans l'Arctique. Ces changements continueront de s'intensifier et de s'étendre vers le sud du pays. Les leçons tirées dans l'Arctique seront importantes non seulement pour d'autres pays, mais aussi pour le reste du Canada lorsqu'il devra faire face à un avenir plus chaud.

L'avenir de l'Arctique dépendra de la collaboration entre les acteurs internationaux, les scientifiques et les collectivités locales. En mai 2013, le Canada deviendra président du Conseil de l'Arctique, un groupe intergouvernemental fondé en 1998 qui est un forum pour la recherche et la discussion sur l'Arctique.

Sciences à la page (www.sciencespages.ca) est une initiative du Partenariat en faveur des sciences et de la technologie (www.pagse.org) réalisée en collaboration avec le Centre canadien sciences et médias.

Sciences à la page vise à favoriser la discussion sur des sujets d'actualité centrés sur les sciences et le génie,

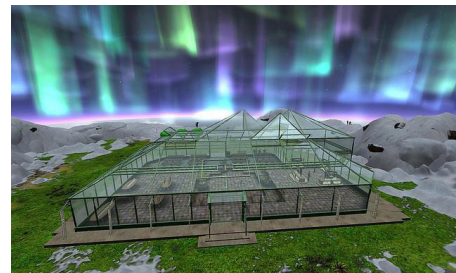
SERRE

Un projet de recherche novateur sur une nouvelle serre de 14 pi x 24 pi conçue par des chercheurs du Collège du Yukon et dont la construction a eu lieu en 2012 représente une tentative d'approvisionnement à long terme des collectivités nordiques en légumes frais et peu coûteux.

Les difficultés de la culture dans le Nord sont évidentes : la température froide, la faible lumière ou l'absence de lumière en hiver (et la lumière 24 heures par jour en été), la gestion du chauffage et les coûts qui lui sont associés.

Le projet de recherche sur les serres nordiques utilise des fenêtres à quadruple vitrage, des panneaux isothermes dans la porte coulissante, des planches de culture chauffées par stockage thermique plutôt que par des systèmes d'air automatisés déclenchés par des capteurs de l'humidité et de la température pour réduire les frais d'exploitation et maximiser la croissance des plantes.

La serre utilise aussi un moteur de 800 W à haute efficacité qui combine la production d'électricité et de chaleur en utilisant la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la serre. Des lampes horticoles DEL alimentées par ce moteur complètent l'éclairage pendant le noir hiver. Des volets protègent les plantes du soleil en été. En fait, la serre est si efficace que le chauffage passif provenant de l'énergie solaire et le moteur y ont maintenu l'hiver dernier une chaleur suffisante pour que des plantes y poussent. La prochaine étape consistera à y faire pousser des plantes pendant 12 mois, et à l'adapter pour les producteurs locaux.



Source : Yukon College

AUTRES LECTURES :

1. Allard, M. and M. Lemay (2012). Nunavik and Nunatsiavut: From science to policy. An Integrated Regional Impact Study (IRIS) of climate change and modernization. ArcticNet Inc., Quebec City, Canada, 303p, http://www.arcticnet.ulaval.ca/pdf/media/iris_report_complete.pdf
2. Duarte et al 2012 Abrupt climate change in the arctic Nature Climate Change 2, 60–62 (2012) doi:10.1038/nclimate1386
3. National Snow and Ice Data Centre. 2011. All about sea ice. http://nsidc.org/cryosphere/seaice/environment/indigenous_impacts.html
4. Anisimov, O.A., D.G. Vaughan, T.V. Callaghan, C. Furgal, H. Marchant, T.D. Prowse, H. Vilhjálmsson and J.E. Walsh, 2007: Polar regions (Arctic and Antarctic). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 653-685. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter15.pdf>
5. Olsen, M.S., Callaghan, T.V., Reist, J.D., Reiersen, L.O., Dahl-Jensen, D., Granskog, M.A., Goodison, B., Hovelsrud, G.K., Johanasson, M., Kallenbord, R., Key, J., Klepikov, A., Meler, W., Overland, J.E., Prowse, T.D., Sharp, M., Vincent, and Walsh, J. 2011. The changing Arctic cryosphere and its likely consequences: An overview. *Ambio* 40: 111-118. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3357772>

Au sujet de Sciences à la page

et résumé pour ce faire l'état actuel des connaissances et des politiques. Chaque numéro de ce bulletin gratuit est rédigé et examiné par une équipe multidisciplinaire.

Il a été préparé par Pascale Roy Léveillé, Simon Liem et Cassie Williams.

Ce numéro a bénéficié de l'appui

du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) et de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI), ainsi que de l'aide du Secréariat de la collectivité fédérale en S-T.

Pour obtenir plus d'information : info@sciencepages.ca.

Ce document avec références est

RÉFÉRENCES

1. The Institute for Catastrophic Loss Reduction, Telling the Weather Story, Insurance Bureau of Canada, June 2012
2. Duarte et al 2012 Abrupt climate change in the arctic Nature Climate Change 2, 60–62 (2012) doi:10.1038/nclimate1386
3. Laxon S. W., K. A. Giles, A. L. Ridout, D. J. Wingham, R. Willatt, R. Cullen, R. Kwok, A. Schweiger, J. Zhang, C. Haas, S. Hendricks, R. Krishfield, N. Kurtz, S. Farrell and M. Davidson (2013), CryoSat-2 estimates of Arctic sea ice thickness and volume, *Geophys Res Lett.*, 40, doi:10.1002/grl.50193 (in email)
4. England, J. H., Lakeman, T. R., Lemmen, D. S., Bednarski, J. M., Stewart, T. G., & Evans, D. J. (2008). A millennial-scale record of Arctic Ocean sea ice variability and the demise of the Ellesmere Island ice shelves. *Geophysical Research Letters*, 35(19)
5. van Everdingen, Robert, ed. 1998 revised May 2005. Multi-language glossary of permafrost and related ground-ice terms. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center.
6. Fortier et al 2011. Impacts of permafrost degradation on a road embankment at Umiujaq in Nunavik (Quebec), Canada. <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/t10-101#.UUfOBReG39w>
7. Allard, M., Fortier, R., Sarrazin, D., Calmels, F., Fortier, D., Chaumont, D. Savard, J.P., et A. Tarussov (2007). L'impact du réchauffement climatique sur les aéroports du Nunavik: caractéristiques du pergélisol et caractérisation des processus de dégradation des pistes. Université Laval, Centre d'Études Nordiques, Rapport à Ouranos, Ressources Naturelles Canada et Transports Québec, 192 p. <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0953279.pdf>
8. Boucher, M . Grondin, G. 2010. Auscultation et investigations du pergélisol sous les infrastructures du ministère des Transports du Québec au Nunavik : vers une stratégie d'adaptation. in 63rd Canadian Geotechnical Conference & 6th Canadian Permafrost Conference, Sept. 12-16, 2010. Canadian Geotechnical Society, Richmond, B.C.
9. Oil and Gas in Canada's North - Active Exploration and New Development. Aboriginal Affairs and Northern Development Canada. <http://www.aadnc-aandc.gc.ca/eng/1100100037301/1100100037302>
10. http://www.dot.gov.nt.ca/_live/documents/content/ITH%20Risk%20Matrix%20as%20of%2011%20March%202013%20with%20cover.pdf
11. Margo M. Burgess, James Oswell, Sharon Smith. 2010. Government-industry collaborative monitoring of a pipeline in permafrost – the Norman Wells Pipeline experience, Canada. <http://pubs.aina.ucalgary.ca/cpc/CPC6-579.pdf>
12. Fortier, R, Leblanc, AM, Fallorni, G, Therrien, R. 2012. PSInSAR Monitoring of Ground Movement at Salluit, Quebec (Canada), Due to Freeze-Thaw Cycles, Active Layer Thickening, and Permafrost Warming. Tenth International Conference on Permafrost. Pp 113-118
13. Coulombe, S., Fortier, D., and Stephani, E. (2012) Using Air Convection Ducts to Control Permafrost Degradation under Road Infrastructure: Beaver Creek Experimental Site, Yukon, Canada. *Cold Regions Engineering* 2012: pp. 21-31
14. Fortier, R, Leblanc, AM, Fallorni, G, Therrien, R. 2012. PSInSAR Monitoring of Ground Movement at Salluit, Quebec (Canada), Due to Freeze-Thaw Cycles, Active Layer Thickening, and Permafrost Warming. Tenth International Conference on Permafrost. Pp 113-118
15. Anisimov, O.A., D.G. Vaughan, T.V. Callaghan, C. Furgal, H. Marchant, T.D. Prowse, H. Vilhjálmsson and J.E. Walsh, 2007: Polar regions (Arctic and Antarctic). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 653-685. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter15.pdf>
16. Anisimov, O.A., D.G. Vaughan, T.V. Callaghan, C. Furgal, H. Marchant, T.D. Prowse, H. Vilhjálmsson and J.E. Walsh, 2007: Polar regions (Arctic and Antarctic). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 653-685. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter15.pdf>
17. Anisimov, O.A., D.G. Vaughan, T.V. Callaghan, C. Furgal, H. Marchant, T.D. Prowse, H. Vilhjálmsson and J.E. Walsh, 2007: Polar regions (Arctic and Antarctic). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 653-685. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter15.pdf>
18. Allard, M. and M. Lemay (2012). Nunavik and Nunatsiavut: From science to policy. An Integrated Regional Impact Study (IRIS) of climate change and modernization. ArcticNet Inc., Quebec City, Canada, 303p
19. Allard, M; Doyon, J; Mathon-Dufour, V; LeBlanc, A -M; L'Héroult, E; Mate, D; Oldenborger, G A; Sladen, W E. 2012, Surficial geology, Iqaluit, Nunavut; Geological Survey of Canada, Canadian Geoscience Map 64, (ed. prelim.); ; 1 sheet; 1 CD-ROM, doi:10.4095/289503
20. Leblanc et al 2012. Geophysical Investigation and InSAR Mapping of Permafrost and Ground Movement at the Iqaluit Airport Cold Region Engineering (doi: 10.1061/9780784412473.064) <http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/9780784412473.064>
21. Government of Nunavut, Iqaluit International Airport Improvement Project, Department of Economic Development and transportation, October 2012.
22. Leblanc et al 2012. Geophysical Investigation and InSAR Mapping of Permafrost and Ground Movement at the Iqaluit Airport Cold Region Engineering (doi: 10.1061/9780784412473.064) <http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/9780784412473.064>
23. Smith, S. 2012. Permafrost, Pipelines and Climate Change. In Proceedings of the The Northern Forum Workshop on climate change adaptation and permafrost degradation solutions, Québec City, Province du Québec April 19 and 20, 2012. http://www.mrfce.gouv.qc.ca/NorthernForum/PDF/Rapport_NorthernForum_ANG.PDF
24. Lepage, J.M. and Doré, G. (2010). "Experimentation of mitigation techniques to reduce the effects of permafrost degradation on transportation infrastructures at Beaver Creek experimental road side (Alaska Highway, Yukon)," Proc. 63rd Canadian Geotechnical Conference, Calgary, Alberta.

RÉFÉRENCES

25. Medicinenet.com - <http://www.medterms.com/script/main/art.asp?articlekey=7740>
26. Anisimov, O.A., D.G. Vaughan, T.V. Callaghan, C. Furgal, H. Marchant, T.D. Prowse, H. Vilhjálmsón and J.E. Walsh, 2007: Polar regions (Arctic and Antarctic). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 653-685. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter15.pdf>
27. <http://www.shell.us/aboutshell/projects-locations/alaska/events-news/02272013-alaska.html>
28. B World Health Organization. <http://www.who.int/trade/glossary/story028/en/>
29. Egeland, G. M., Pacey, A., Cao, Z., & Sobol, I. (2010). Food insecurity among Inuit preschoolers: Nunavut Inuit child health survey, 2007–2008. *Canadian Medical Association Journal*, 182(3), 243-248.
30. Berkes, F., Berkes M.K., Fast, H. Collaborative integrated management in Canada's north. The role of local and traditional knowledge and community-based monitoring. (2007) *Coastal Management*, 35:143-162. DOI: 10.1080.08920750600970487.
31. Northwest Territories Bureau of Statistics (2007a) Aklavik—Statistical profile www.stats.gov.nt.ca/Profile/Profile.html. Accessed 22 March 2013
32. Northwest Territories Bureau of Statistics (2007b) Paulatuk—Statistical profile www.stats.gov.nt.ca/Profile/Profile.html. Accessed 22 March 2013
33. Northwest Territories Bureau of Statistics (2007c) Tuktoyaktuk—Statistical profile www.stats.gov.nt.ca/Profile/Profile.html. Accessed 22 March 2013
34. Northwest Territories Bureau of Statistics (2007d) Ulukhaktok (Holman)—Statistical profile www.stats.gov.nt.ca/Profile/Profile.html. Accessed 22 March 2013
35. Furgal C, Seguin J (2006) Climate change, health, and vulnerability in Canadian Northern Aboriginal communities. *Environ Health Perspect* 114:1964–1970
36. Nancarrow, T. L., & Chan, H. M. (2010). Observations of environmental changes and potential dietary impacts in two communities in Nunavut, Canada. *Rural and remote health*, 10(1370).
37. Nichols, T., Berkes, F., Jolly D., Snow, N.B., and the community of Sachs Harbour. 2004. Climate change and sea ice: Local observations from the Canadian western arctic. *Arctic* 57:68-79.
38. Ford, J.D. Living with climate change in the Arctic. 2005. *World Watch Magazine*. 18(5). <http://www.worldwatch.org/node/584>
39. Ford JD, Smit B, Wandel J, Allurut M, Shappa K, Qrunnut K, Ittusujurat H (2008) Climate change in the Arctic: current and future vulnerability in two Inuit communities in Canada. *Geogr J* 174: 45–62
40. Madwar, Samia Is this meat safe to eat?, Masters Research Project, School of Journalism and Communication, Carleton University, 2011
41. National Snow and Ice Data Centre. 2011. All about sea ice. http://nsidc.org/cryosphere/seaice/environment/indigenous_impacts.html
42. Ford, J.D. Personal communication. Mar. 26, 2013.
43. Ford, J.D. Living with climate change in the Arctic. 2005. *World Watch Magazine*. 18(5). <http://www.worldwatch.org/node/584>
44. Ford, J. D., & Pearce, T. (2010). What we know, do not know, and need to know about climate change vulnerability in the western Canadian Arctic: a systematic literature review. *Environmental Research Letters*, 5(1), 014008.
45. Ford, J.D., Bolton, K., Shirley, J., Pearce, T., Tremblay, M., and Westlake, M. Mapping the human dimensions of climate change research in the Canadian arctic. *AMBIO A Journal of the Human Environment*. doi:10.1007/s13280-012-0336-8. 2012.
46. Establishment of Inuit Community Based Ice Monitoring and Surveillance Programs for Human Safety and Security. <http://climate-telling.ca/community/nain-and-hopedale/>
47. Siekierska, E., Ellerbeck, M. 2011. Customized Multilingual Topographic Maps with Aboriginal Place Names and Arctic Features, Natural Resources Canada. http://www.cca-acc.org/docs/cartouche/Cartouche_81_Spring2011.pdf
48. Yukon College. <http://www.yukoncollege.yk.ca/uploads/Treharne%20Drury.pdf>
49. Natural Resources Canada, Diamonds – Slave / Churchill Provinces, <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/about/current-program/geomapping/minerals/9543>