



Le Club alpin du Canada

Rapport sur l'état des montagnes

Volume 1, mai 2018

Changements de glaciers,
changements de rivières



Le Club alpin du Canada

Rapport sur l'état des montagnes

Volume 1, mai 2018

Le Club alpin du Canada
C.P. 8040, Canmore, Alb.
T1W 2T8 Canada
Téléphone : 403 678-3200
Télécopieur : 403 678-3224
info@alpineclubofcanada.ca
www.alpineclubofcanada.ca

Données de catalogage avant publication (Canada)

The Alpine Club of Canada's
State of the Mountains Report

Rédaction :
Lael Parrott
Zac Robinson
David Hik

Conception graphique : Zac Bolan
Traduction : Jean-Phillippe Gravel
ISBN : 978-0-920330-71-5

© 2018, Club alpin du Canada
Tous droits réservés. Aucune
partie de ce livre ne peut être
copiée ou reproduite sans
l'autorisation de l'auteur ou du
sujet.

Photo page couverture :
La rivière Slims (Ä'äy Chù), Yn,
au lieu où elle s'écoule dans
le lac Kluane (Lhù'ààn Mân),
septembre 2016.
Photo Lael Parrott

Deuxième de couverture :
Lac Berg, mont Robson, C.-B.
Photo Paul Zizka



Sommaire

L'importance des montagnes <i>Lael Parrott, Zac Robinson & David Hik</i>	2
--	---

En couverture

Changements de glaciers, changements de rivières <i>Dan H. Shugar & John J. Clague</i>	4
--	---

Faits saillants

Montagnes et populations humaines

Résilience en communautés de montagne canadiennes <i>Kevin Hanna</i>	12
--	----

Culture de montagne au Canada : livres, films et médias numériques <i>Joanna Croston & Stephen Slemon</i>	14
---	----

Stations de ski alpin et changement climatique dans l'Ouest canadien <i>Michael Pidwirny, Kalim Bahbahani & Shane Pedersen</i>	16
--	----

Avalanches <i>Pascal Haegeli</i>	19
--	----

Montagnes physiques

Le projet Mountain Legacy : 150 ans de transformation des paysages de l'Ouest <i>Mary Sanseverino & Eric Higgs</i>	22
--	----

Glaciers <i>Mike Demuth</i>	25
---------------------------------------	----

Archiver la glace canadienne <i>Martin Sharp & Alison Criscitiello</i>	28
--	----

Vie dans les montagnes

La conservation des ongulés de montagne au Canada <i>Marco Festa-Bianchet</i>	31
---	----

L'état des oiseaux de montagne du Canada <i>Kathy Martin</i>	34
--	----

Instabilité des limites forestières au Canada <i>Carrissa D. Brown</i>	36
--	----

Crise de santé en forêt subalpine <i>Philip J. Burton & Vernon S. Peters</i>	39
--	----



L'importance des montagnes

Le lac Helen et le col Dolomite,
Rocheuses canadiennes.
Photo Laurie Shannon.

En 2011, le Club alpin du Canada (CAC) publiait son premier Rapport sur l'état des montagnes, qui soulignait les impacts étonnants du changement climatique dans les milieux alpins de l'Alberta et de la Colombie-Britannique. Étant l'organisation d'alpinisme nationale du Canada, le CAC a la responsabilité d'agir en gardien de nos montagnes, et c'est la volonté de mieux résumer et communiquer la connaissance des forces environnementales qui affectent ces lieux de haute altitude qui motivait ce rapport.

Dans le monde, les montagnes sont plus importantes que jamais : elles occupent un quart de la surface terrestre et sont le foyer d'un quart de la population humaine mondiale.

Ce rapport de 2018 poursuit cette tradition et marque le début d'une publication annuelle du Rapport sur l'état des montagnes produite par le CAC avec la collaboration de chercheurs, de membres de communautés et d'organisations partenaires. Notre reconnaissance se porte particulièrement vers les experts qui nous ont apporté leurs connaissances et leurs points de vue cette année, ainsi que la Société géographique royale du Canada et le magazine *Canadian Geographic* pour leurs contributions. La section « On the Map » du numéro de mai-juin 2018 de *Canadian Geographic* complète le contenu de ce rapport de manière estimable, et nous espérons qu'ils constitueront ensemble une ressource importante de connaissances sur les montagnes du Canada.

Dans le monde, les montagnes sont plus importantes que jamais : elles occupent près d'un quart de la surface terrestre et sont le foyer d'un quart de toute la population humaine. Plusieurs communautés du monde leur confèrent un poids culturel exceptionnel, et la religion, les arts et les lettres les ont souvent vénérées. Les montagnes peuvent être des lieux de possibilités et de richesses extraordinaires, mais aussi de pauvreté écrasante, dans les marges de la société, où les communications sont pauvres et les infrastructures, les emplois, les services, l'éducation et

les soins de santé sont insuffisants. Les montagnes rendent au monde des services écosystémiques indispensables, de leurs minéraux aux forêts jusqu'à leurs espèces animales et végétales uniques. Elles servent de cours d'eau supérieur à tant des plus grandes rivières du monde, et sont les bouées qui relient les populations urbaines à la plupart de nos régions reculées en altitude alpine. Réagissant rapidement et intensément aux variations climatiques et environnementales, les montagnes sont de plus en plus reconnues, tant par les chercheurs en sciences sociales qu'en sciences naturelles, comme des « sentinelles des changements ». Elles impactent véritablement tout le monde, et partout.

Partout au Canada, d'un océan à l'autre et à un autre, les paysages de montagne donnent sur un quart du territoire de notre pays – 1,5 million de kilomètres carrés; soit sept fois la superficie des Alpes européennes! Toutefois, et comme les autres montagnes du monde, nos montagnes éprouvent une multitude de changements aussi rapides que préoccupants. Ce rapport 2018 débute par un article de fond par Dan Shugar et John Clague, qui décrit les changements dramatiques qui ont lieu quand le recul des glaciers change subitement le flux des rivières de montagne et de bassins versants entiers. De bien des façons, ces observations représentent un voyage

dans le futur qui donne un aperçu de certaines des conséquences associées à la rapide perte des glaciers à venir.

À cet essai succèdent 11 « faits saillants », plus brefs, qui apportent des résumés de spécialistes, liés à la manière dont les gens vivent dans des montagnes en changement, et documentent certaines des transformations frappantes qui ont lieu dans l'environnement physique et leurs effets pour les plantes et les animaux. Un des thèmes récurrents de l'ensemble est le besoin d'une meilleure information sur l'ampleur, les taux et les impacts projetés de ces changements en cours.

Malgré le sérieux des conséquences attribuées aux changements documentés dans ce rapport, tous ses participants demeurent optimistes sur le fait que les Canadiens tiennent leurs montagnes à cœur. L'état actuel de la littérature de montagne, mais aussi du cinéma et des médias numériques n'a jamais autant vibré au Canada anglais, cultivé par le Festival du film et du livre de montagne de Banff. De nouvelles recherches développent des outils opérationnels qui devraient aider des organisations comme Avalanche Canada à évaluer de manière plus fiable les conditions de risques d'avalanche pour éclairer des prises de décision qui amélioreront la sécurité des activités récréatives. Des chercheurs de la Canadian Ice Core Archive de l'Université de l'Alberta travaillent avec la communauté alpine pour recueillir des échantillons glaciaires dans des milieux alpins reculés afin de mieux comprendre la libération potentielle de contaminants, emmagasinés dans la glace de glacier, dans les eaux supérieures des grandes rivières. Et des occasions nombreuses ont été créées pour les bénévoles et les organisations communautaires de contribuer à restaurer les populations menacées de pins à blanche écorce en haute altitude.

Les montagnes n'ont jamais été aussi recherchées ni aussi favorablement considérées que maintenant dans l'histoire humaine. Cette vénération généralisée, en plus des changements environnementaux, cause des pressions sans précédent sur les environnements de montagne et les collectivités dont la subsistance et le bien-être dépendent d'eux. Malgré ces pressions, il y a un réconfort à tirer du fait que tant de gens tiennent à la montagne. Au Canada et dans le monde, la valeur universelle, culturelle et environnementale des montagnes est l'objet d'une reconnaissance accrue qui a mené à davantage d'efforts pour

la conservation et la sauvegarde de ces endroits uniques. Ainsi, aimez les montagnes, mais pas seulement comme une destination à visiter, car le terrain de jeu de l'un est aussi la maison de l'autre. Il faut chérir ces paysages variés et dynamiques dans tout ce qu'ils font pour nous, pour la planète et pour le futur. En ces temps qui changent, les montagnes ont plus que jamais besoin de gardiens.

Lael Parrott, Zac Robinson et David Hik
mai 2018

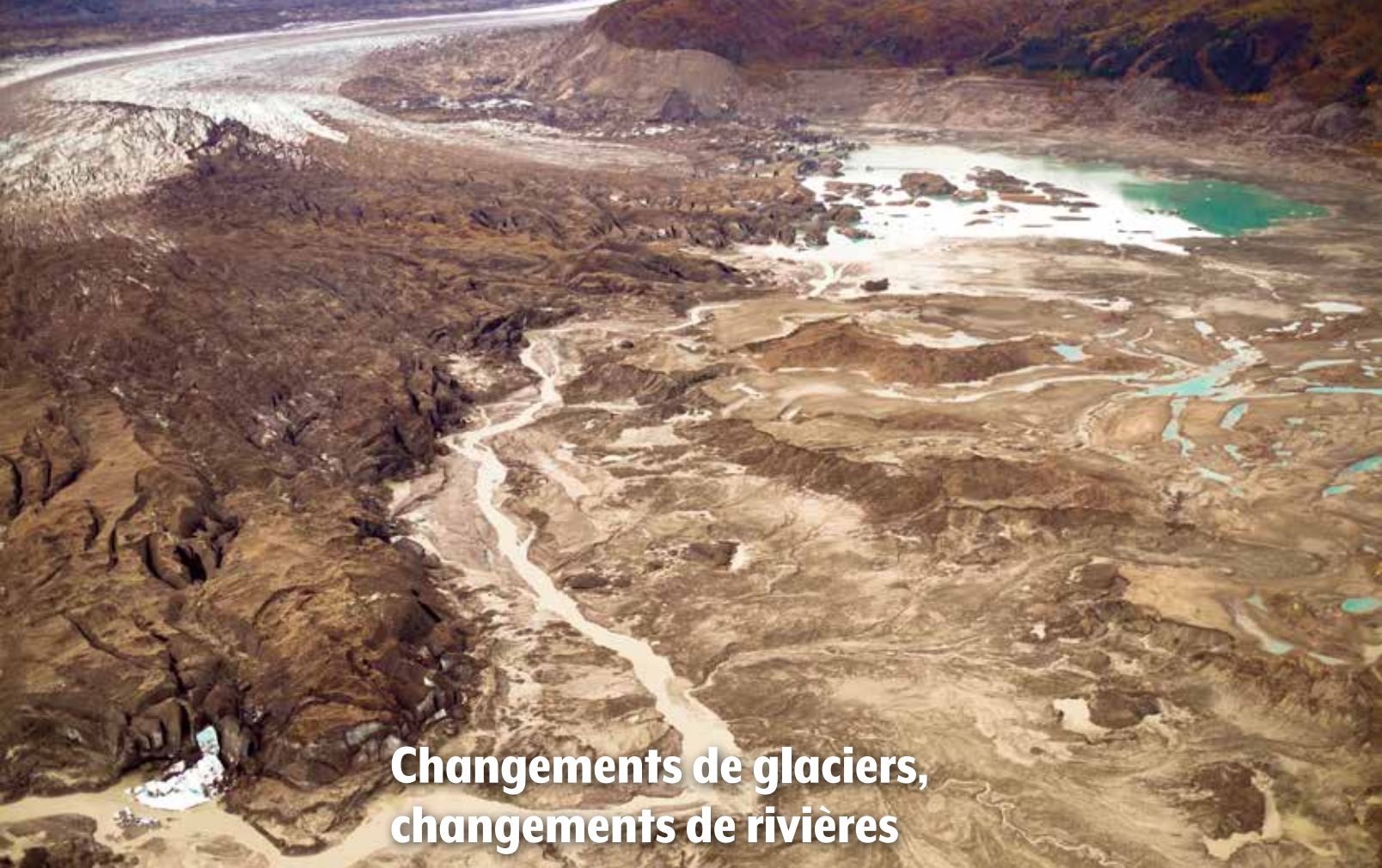
Lael Parrott est vice-présidente du CAC en accès et environnement, professeure titulaire et directrice à l'Institut de biodiversité, résilience et services écosystémiques à l'Université de la Colombie-Britannique, Okanagan.

Zac Robinson est vice-président du CAC en culture de montagne et professeur agrégé d'histoire à la Faculté d'éducation physique et de loisirs de l'Université de l'Alberta.

David Hik est fellow de la Société géographique royale du Canada et professeur titulaire à la Faculté des sciences biologiques de l'Université de l'Alberta.

Neil Bosh, président du CAC; Lael Parrott, v.-p. du CAC - accès et environnement; Aaron Kylie, rédacteur-en-chef, Canadian Geographic; et Zac Robinson, v.-p. du CAC - culture de montagne. Ottawa, 2017. Photo David Hik.





Changements de glaciers, changements de rivières

Un ruisseau d'eau de fonte serpente le long du front du glacier Kaskawulsh, drainant un lac qui alimentait la rivière Sims auparavant. Photo Dan Shugar

Dan H. Shugar et John J. Clague

Le réchauffement climatique de ce dernier siècle est d'une portée planétaire et sans précédent dans l'époque postglaciaire ou holocène, qui s'étend sur les 12,000 dernières années. Sa force et ses effets sont particulièrement importants dans les hautes latitudes et les hautes montagnes, où ils se manifestent par de larges réductions parmi les glaciers, les inlandsis et le pergélisol, dont l'ensemble est connu comme la cryosphère.¹ Les glaciers alpins diminuent, la perte de glace du Groenland et de la péninsule Antarctique augmente et le pergélisol est en train de fondre. Des changements en précipitations et en fonte de neige altèrent le débit de l'eau dans les rivières et les cours d'eau, avec des impacts potentiellement grands sur les écosystèmes et des espèces comme le saumon.² Tous ces effets et ces impacts ont été bien documentés dans les montagnes de l'Amérique du Nord occidentale.^{3,4} Le commencement précoce de la fonte des neiges dans cette vaste région s'est accompagné d'un pourcentage plus élevé de précipitations hivernales sous forme de pluie, menant de concert à un affaiblissement des débits en été.^{5,6} Beamer et autres prédisaient récemment que les ruissellements d'été dans le golfe d'Alaska allaient décroître d'ici la fin du 21^e siècle en raison de la perte continue de neige et de glace dans les hautes montagnes du nord-ouest de l'Amérique du Nord.⁷ Ces changements vont nuire à une grande variété d'organismes. Par exemple, les populations de saumon quinnat pourraient dramatiquement décliner alors que le réchauffement des cours d'eau les pousse au-delà de leurs capacités d'adaptation.^{8,9}

Les diminutions induites par le climat dans la cryosphère en montagne ont d'autres impacts, plus physiques. La disparition progressive du pergélisol et des glaciers augmente la fréquence des glissements de terrain et des courants de débris dans les montagnes.² Ce phénomène a été documenté dans la baie des Glaciers (Alaska), par exemple.¹⁰ De plus, environ un quart de l'augmentation mondiale du niveau de la mer due à

la fonte générale des glaciers ces derniers 25 ans est considérée provenir des glaciers qui bordent le golfe d'Alaska.¹¹ La déglaciation de la baie des Glaciers, qui a débuté au début du XIX^e siècle, a provoqué un soulèvement pouvant atteindre 3,2 cm par an dans cette zone récemment recouverte de glaciers.¹² Pour finir, il se peut qu'une réduction de la couverture de glace sur des volcans endormis en Alaska dépressurise des chambres

magmatiques peu profondes et entraîne une augmentation de l'activité éruptive.¹³

La réduction actuelle de la cryosphère dans le nord-ouest de l'Amérique du Nord se produit à des taux jamais vus de toute l'époque postglaciaire. Ces taux n'ont été égaux ou surpassés qu'à l'époque du Pléistocène, qui s'étend de 11,800 ans à 2,6 millions d'années, au cours de laquelle de grandes couches de glace se formaient et disparaissaient périodiquement dans l'hémisphère nord.¹⁴ Un effet important de la croissance et de la décomposition de ces couches de glace est le dérèglement et la réorganisation des cours d'eau. Les bassins hydrographiques des principaux réseaux riverains et fluviaux de l'Europe, de l'Eurasie et de l'Amérique du Nord étaient fortement perturbés et formés par les couches glaciaires du Pléistocène. Parmi eux se trouvent les trois plus grands bassins hydrographiques de la cordillère du nord-ouest de l'Amérique du Nord : les bassins versants des fleuves Yukon, Columbia et Fraser. Avant le Pléistocène, le fleuve Yukon coulait vers le nord à travers le territoire du Yukon au lieu de couler au sud comme aujourd'hui.^{15,16} La rivière Peel, qui est aujourd'hui un affluent du fleuve Mackenzie, a été temporairement détournée dans la rivière Porcupine par l'inlandsis Laurentidien au cours de la dernière glaciation du Pléistocène.^{17,18} Selon des preuves biochimiques et morphologiques, les poissons qui habitent maintenant la rivière Peel ont une ancienne ascendance du fleuve Yukon.¹⁷ La rivière Porcupine elle-même se déversait dans le fleuve Mackenzie et n'est devenue un affluent du Yukon que lorsque l'inlandsis Laurentidien a bloqué son écoulement vers l'est. Avant le Pléistocène, le fleuve Fraser s'écoulait vers l'est à travers les Rocheuses, probablement par la vallée de la rivière de la Paix, alors qu'il draine aujourd'hui un bassin versant de 220 000 kilomètres carrés et se jette dans une mer intérieure de l'océan Pacifique (mer des Salish) à Vancouver.¹⁹ Bien que le moment exact et la cause de ces réorganisations du drainage à l'échelle subcontinentale ne soient pas exactement connus, et, concernant le Yukon, sont probablement plus complexes qu'on ne le pensait d'abord, il semble probable que la glace des glaciers soit impliquée.²⁰

Une réorganisation des bassins hydrographiques de la magnitude de celle provoquée par la croissance et la décroissance des grandes calottes glaciaires du Pléistocène n'est pas possible aujourd'hui parce que ces couches de glace n'existent plus qu'au Groenland et en Antarctique.

Toutefois, elle se produit à plus petite échelle dans les montagnes qui supportent encore de grandes quantités de glace de glacier. En mai 2016, la plus grande partie de l'eau alimentant la rivière Slims, un cours d'eau du fleuve Yukon dans le sud-ouest du Yukon qui s'écoule dans la mer de Béring, s'est déversée dans la rivière Kaskawulsh, un affluent de la rivière Alsek qui coule dans le Pacifique.²¹ Ce changement s'est produit en l'espace de quelques jours et s'annonce vraisemblablement permanent. Cet article décrira cet événement avec plusieurs cas connus de perturbation glaciaire de cours d'eau dans les monts Saint-Elia et les montagnes de la côte nord du Canada. Nous envisagerons aussi le cas d'autres bassins versants dans le nord-ouest de l'Amérique du Nord où des changements similaires pourraient se produire au cours de ce siècle (figure 1).

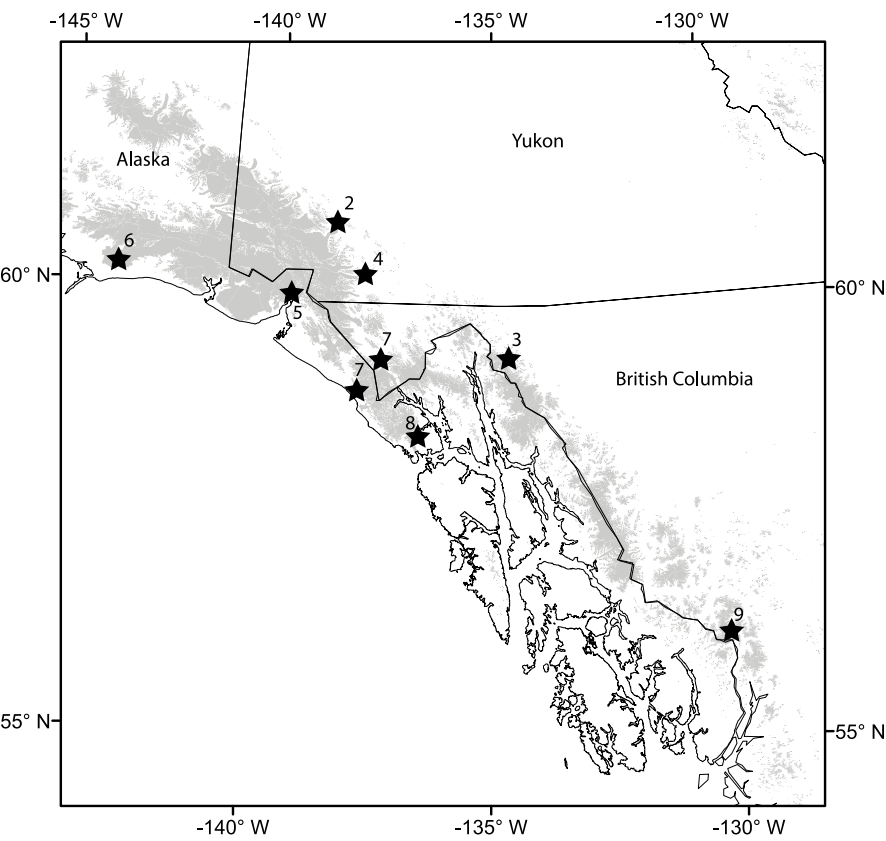


Figure 1. Carte du nord-ouest de l'Amérique du Nord incluant les sites de réorganisation des cours d'eau discutés dans ce texte. Les chiffres renvoient aux numéros des figures du rapport : (2) glacier Kaskawulsh / rivière Slims; (3) glacier Llewellyn / lac Atlin; (4) glacier Donjek / lac glaciaire Alsek; (5) glacier Hubbard / fjord Russell; (6) glacier de Béring; (7) glaciers Melbern et Grand Pacific et lacs Alsek et Grand Plateau; (8) glacier Brady / Oscar Lake; (9) glacier Salmon. La zone grise ombrée représente la couverture glaciaire dans Arendt et coll.²²

Petite esquisse de la capture de flux

Sur une durée géologique, la capacité d'un cours d'eau à étendre son bassin versant dépend en partie de la géologie et en partie de la topographie. Toutes choses étant égales par ailleurs, plus un bassin hydrographique sera abrupt, plus il sera facile pour un cours d'eau d'étendre ses eaux d'amont au détriment des cours d'eau adjacents et moins abrupts. Des événements peuvent toutefois perturber la lente expansion d'un bassin versant. Un cours d'eau

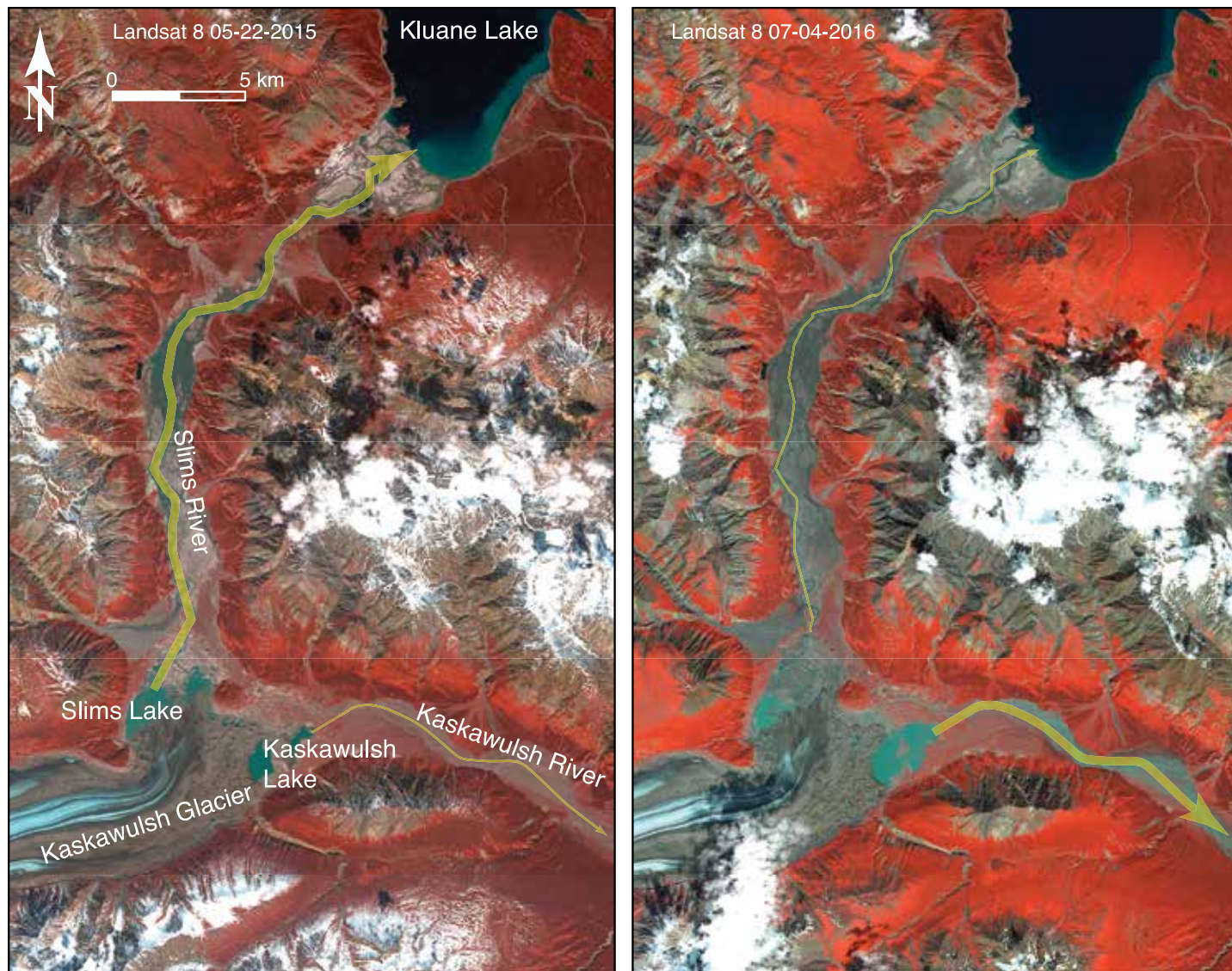


Figure 2. Images satellites montrant les changements de drainage au front glaciaire du glacier Kaskawulsh entre 2015 (à gauche) et 2016 (à droite). Les flèches jaunes indiquent les principales voies d'évacuation des eaux de fonte; leur taille reflète les débits relatifs. Modifié de Shugar et coll.²¹

peut être bloqué par des coulées de lave, un glissement de terrain ou une avancée glaciaire. Si le blocage est suffisamment important et d'assez longue durée, le lac qui se forme derrière le barrage pourrait déborder d'une ligne basse de partage des eaux et s'installer dans une nouvelle direction très différente de celle qui précédait le blocage. C'est là un exemple de réaménagement de rivière et, dans des cas extrêmes, de capture de rivière, ou « piratage de rivière », où une partie du bassin versant d'une rivière est capturée par une autre.

Le piratage de la rivière Slims de 2016

Au cours des derniers siècles, le glacier Kaskawulsh, l'un des plus grands glaciers des monts Saint-Élie, se terminait à la ligne de partage des eaux séparant le bassin hydrographique de la rivière Alsek de celui du fleuve Yukon. Historiquement, une grande partie de l'eau de fonte du glacier Kaskawulsh s'écoulait vers le nord par la rivière Slims dans le lac Kluane et de là

jusqu'au fleuve Yukon, atteignant la mer de Béring à plus de 2400 kilomètres en aval (figure 2). Le reste de l'eau de fonte s'écoulait vers le sud-ouest via la rivière Kaskawulsh vers la rivière Alsek, qui s'écoule dans le golfe de l'Alaska, quelque 300 kilomètres en aval. Autrement dit, l'eau de fonte qui s'écoulait par les rivières Kaskawulsh et Alsek rejoignait la mer à environ un huitième de la distance parcourue par l'eau de fonte qui, de la même source, s'écoulait par la rivière Slims et le fleuve Yukon. Même si la rivière Kaskawulsh est d'un gradient beaucoup plus élevé (escarpé) que la rivière Slims, elle n'a historiquement pas pu capturer toute l'eau de fonte qui s'écoulait du glacier Kaskawulsh puisque celui-ci formait lui-même la barrière séparant les deux rivières au niveau de la ligne de partage des eaux. Ce fut du moins le cas jusqu'au printemps 2016.

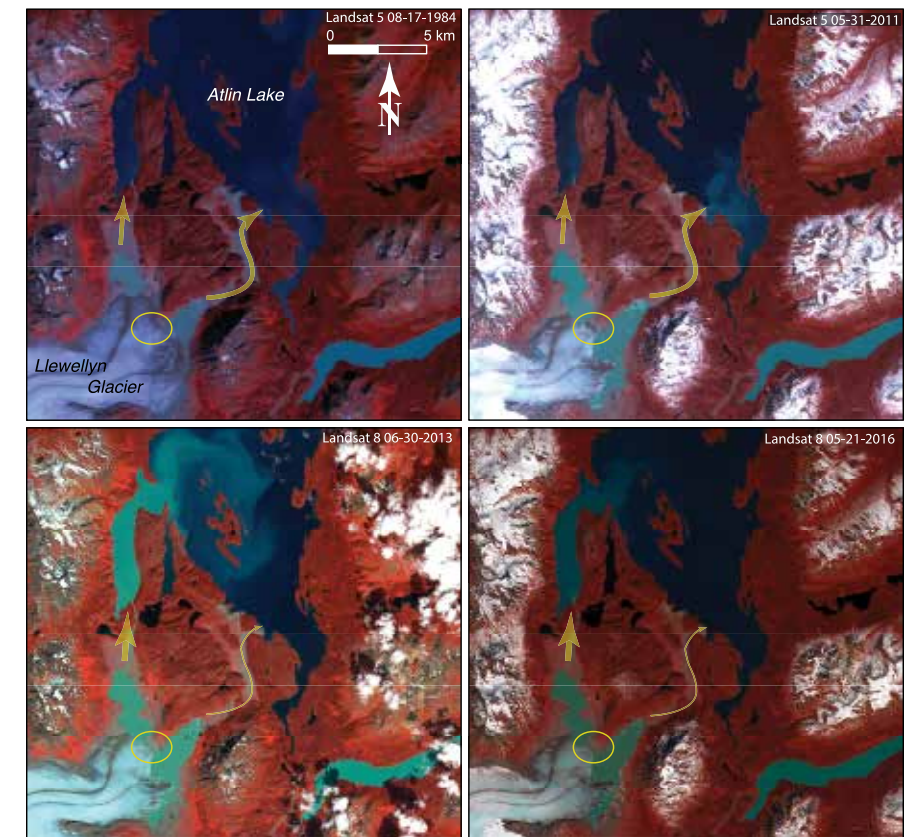
En mai 2016, préparé par plus d'un siècle de réchauffement climatique qui mena à l'amincissement et le retrait du front du glacier Kaskawulsh,

un lac proglaciaire à la tête de la rivière Slims (lac Slims) s'est drainé par un chenal à travers le glacier jusque dans un lac inférieur à la tête de la rivière Kaskawulsh (figure 2). Cette vidange soudaine du lac Slims coupa la rivière Slims de sa source. Shugar et collab. a suggéré que, la possibilité d'une nouvelle avancée du glacier étant peu probable dans notre climat en cours de réchauffement, cette capture de la rivière Slims est irréversible.²¹ La rivière Kaskawulsh étendra sans doute son bassin hydrographique vers le nord et pourrait finir par capturer toutes les eaux qui se jettent dans le lac Kluane. Le lac Kluane est la plus grande étendue d'eau du Yukon et les effets des changements de débit se font déjà sentir. À l'été 2016, les niveaux du lac étaient d'environ 1,7 m sous la normale et sont demeurés bas jusqu'à présent. En 2017, le concours annuel de pêche de Burwash Landing fut annulé en raison de problèmes d'accès et de sécurité à la rampe de mise à l'eau.

Bien qu'on ne puisse prévoir à quelle vitesse la vallée qui contient la rivière Slims inversera sa trajectoire pour s'écouler vers le sud, une telle situation n'est pas sans précédent. Il y a une dizaine de milliers d'années, quand il faisait plus chaud que maintenant au Yukon, un lac Kluane abaissé se draina vers le sud à la rivière Alsek par la même vallée qui contient maintenant la rivière Slims. Durant le Petit Âge glaciaire il y a environ 300 ans, le glacier Kaskawulsh a avancé et construit un grand éventail sédimentaire dans la zone de séparation Slims-Alsek, barrant cette route vers le sud.²³⁻²⁴ Le niveau du lac Kluane a alors augmenté de douze mètres par rapport à son niveau de 2006 et établi son exutoire actuel à son extrémité nord.^{25,26}

Nord-ouest de l'Amérique du Nord : tentatives mineures et échouées de réaménagement du drainage

Nous ne connaissons aucun autre exemple historique de piratage de rivière permanent et d'aussi grande échelle que celle du glacier Kaskawulsh en 2016, mais un cas mineur de piratage est survenu au glacier Llewellyn, un glacier émissaire du champ de glace Juneau dans le nord de la chaîne Cotière de la Colombie-Britannique en 2011. Le front de ce glacier comprend plusieurs lobes séparés par des pentes abruptes en substrat rocheux. Avant 2011, deux des lobes étaient bordés par des lacs proglaciaires drainés par deux rivières différentes jusqu'au lac Atlin.²⁷ En 2011, le glacier s'était retiré suffisamment pour que les deux lacs fusionnent; la surface du lac oriental baissa au



point que la rivière qui s'écoulait de ce lac vers l'est cessa de couler et que toute l'eau de fonte du glacier se déversa dans le lac Atlin par la rivière ouest (figure 3). Ce mécanisme de réaménagement du drainage du glacier Llewellyn rappelle celui du glacier Kaskawulsh, mais moins dramatiquement puisque l'eau de fonte se déverse encore dans le même plan d'eau, fut-ce par une rivière à quelque 5 km à l'est.

De même, à diverses périodes ces 10 000 dernières années, l'eau de fonte du glacier Castle Creek dans la chaîne de montagnes Cariboo de la C.-B. s'est drainée vers le nord ou le sud selon la proximité du glacier avec une ligne de partage hydrologique.²⁸ Quand le front glaciaire est en bas de la ligne de partage, son eau de fonte remplit le lac On-off, qui s'écoule vers le nord puis vers l'ouest par la rivière Cariboo jusqu'au fleuve Fraser. Quand le front glaciaire est en haut de la ligne de partage (comme il l'est maintenant), l'eau de fonte coule vers le sud par un petit ruisseau qui rejoint éventuellement le fleuve Fraser près de McBride.

Des blocages fluviaux caractéristiques de la phase initiale d'un réarrangement de drainage se sont souvent produits durant les périodes historiques et préhistoriques immédiates dans la chaîne Saint-Élie. Par exemple, le Petit Âge glaciaire a vu le lac glaciaire Alsek se former souvent en raison

Figure 3. Série chronologique d'images satellites (1984, 2011, 2013 et 2016) montrant les changements de drainage au front du glacier Llewellyn. Les flèches jaunes indiquent les principales voies d'évacuation des eaux de fonte; leur taille reflète les débits relatifs. L'ovale jaune désigne l'endroit où les deux lacs fusionnèrent en été 2011. Il est à noter que le piratage de 2011 a eu lieu après la prise de l'image de 2011 au coin supérieur droit.

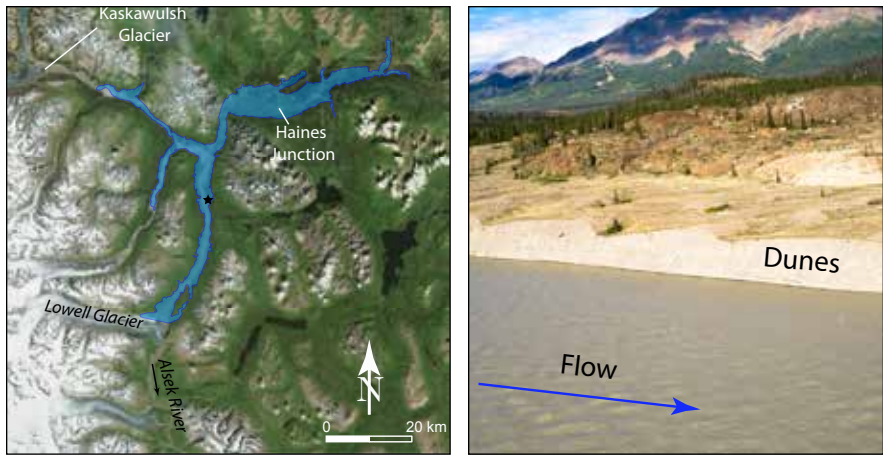


Figure 4. L'étendue maximale du lac Alsek, basée sur le produit de Données numériques d'élévation du Canada (DNEC). L'étoile noire indique l'emplacement où fut prise la photographie (à droite) des dunes de crue le long du fleuve Alsek.

du blocage de la rivière Alsek par le glacier Lowell (figure 4).²⁹ Il y a plusieurs centaines d'années, le lac glaciaire Alsek était le plus grand de toute l'Amérique du Nord occidentale — d'une profondeur de 200 mètres à l'obturation, s'étendant sur plus de 80 kilomètres en haut des vallées fluviales d'Alsek, Dezadeash et Kaskawulsh, et couvrant une région de quelque 250 kilomètres carrés, incluant ce qui est maintenant le village de Haines Junction et une grande partie de la route de l'Alaska. Des plages reliques, certaines avec des masses de bois flotté et des blocs glaciels, prouvent l'existence de l'ancien lac de manière frappante.²⁹ Le lac glaciaire Alsek s'est drainé catastrophiquement quand son barrage s'est rompu. D'immenses dunes de gravier le long de la vallée de l'Alsek, tant au-dessus qu'au-dessous du glacier Lowell (figure 4), montrent comment le lac se vida rapidement.

Des événements similaires se sont produits plus récemment sur le front du glacier Hubbard, le plus grand glacier de marée d'Amérique du

Nord. Depuis sa première cartographie en 1895, le glacier Hubbard s'est avancé en formant une moraine sous-marine et protectrice à l'entrée du fjord Russell. En mai 1986, une surge du glacier Valerie, un affluent du glacier Hubbard, boucha l'entrée du fjord, ce qui transforma le fjord Russell en un grand lac fermé par un glacier, Russell Lake. Le lac atteignit 25,5 mètres de hauteur, engloutit 34 kilomètres carrés de terre forestière et emmagasina 5,4 kilomètres cubes d'eau douce (figure 5). Le barrage glaciaire se rompit le 8 octobre 1986, causant un débit de pointe de 105,000 mètres cubes par seconde vers Disenchantment Bay 30. Un blocage similaire, quoique par la moraine de fin du glacier Hubbard et non par le glacier proprement dit, est arrivé en 2002 et s'est aussi conclu par le drainage subit de Russell Lake.³¹

Réorganisations futures et possibles dues au recul des glaciers

Il se trouve plusieurs endroits dans les montagnes du nord-ouest de l'Amérique du Nord où l'évacuation des cours d'eau sera perturbée et possiblement réacheminée, avec le recul progressif des glaciers. Des lacs bouchés par de la glace de glacier vont disparaître et l'eau de fonte qui les alimente empruntera des chemins différents. Voici quelques exemples tirés de ceux que nous avons observés durant nos enquêtes de terrain et nos études d'images satellites. Nous décrivons ici certains des cas les plus spectaculaires. Un fichier kmz Google Earth avec l'emplacement de tous les lieux abordés dans cet article est inclus comme supplément à l'édition numérique de ce rapport.

Glacier Bering, Alaska

Un lac barré par une extension du glacier Bering surmonte un clivage et se déverse vers le sud-est par les rivières Kosakuts et Kaliakh (figure 6). Si le glacier Bering s'amincit, comme il le fera probablement, le niveau du lac baissera, cessant d'alimenter la rivière Kosakuts. L'eau s'écoulera possiblement du lac dans une autre vallée à l'ouest.

Glaciers Grand Pacific et Melbern, C.-B.

Le volume de ces deux glaciers de vallée, parmi les plus grands de la C.-B., a chuté de plus de 50 p.cent ces dernières centaines d'années. Le glacier Melbern y a minci de 300 à 600 mètres et reculé de 15 kilomètres; 7 kilomètres de ce recul se sont produits entre la moitié des années 1970 et 1987, causant la formation d'un des plus grands lacs cernés de glace sur terre – le lac glaciaire Melbern, long de 20 kilomètres (figure 7), qui se déverse vers le nord dans la rivière Tatshenshini juste au-dessus de son confluent avec la rivière Alsek. Cette trajectoire pourrait être éphémère, puisqu'il en existe une autre, plus escarpée, menant directement à la rivière Alsek; elle pourrait être empruntée si la moraine qui retient le lac Melbern se rompt (figure 7).³²

Le glacier Grand Pacific, qui se termine à Tarr Inlet à la frontière de la C.-B. et d'Alaska (figure 7) a reculé de 24 kilomètres de 1879 à 1912.³² Avec la poursuite du recul des glaciers Grand Pacific et Melbern, la division qui sépare Tarr Inlet de la vallée présentement occupée par le lac glaciaire Melbern se déglacera, laissant le lac de se vider dans la baie des Glaciers et à un bras de mer de s'étendre sur des dizaines de kilomètres vers le nord-ouest, en direction de la vallée de la rivière Alsek.

Lac Alsek et glacier Grand Plateau, Alaska

Un piratage de cours d'eau pourrait aussi se produire près de l'embouchure de la rivière Alsek. Celle-ci fait un détour anormal à angle droit au lac Alsek et se déverse sur 20 kilomètres vers l'ouest dans la baie Dry (figure 7). Une voie plus directe vers l'océan Pacifique se trouve au sud, bloquée par la fourche nord du glacier Grand Plateau. Toutefois, ce glacier se retire rapidement en raison du vélage de son front glaciaire dans le lac Alsek, sous le nom non officiel de lac Grand Plateau. Existant à peine au milieu du 20^e siècle, ce dernier est maintenant d'une largeur de 8 kilomètres et d'une surface d'environ 28 kilomètres carrés.³³ Entre 1984 et 2015, le lac Alsek s'est étendu de presque 7 kilomètres vers le sud-est sur les pas de la retraite de la fourche nord du glacier Grand Plateau, dont presque la moitié s'est produite entre 2013 et 2015.³⁴ Si le glacier recule

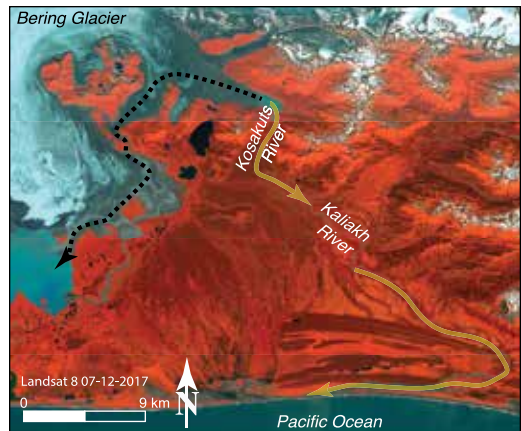


Figure 6. Image satellite montrant un changement possible d'évacuation au côté sud-est du glacier Bering. Les flèches jaunes indiquent la voie de drainage actuelle; le trait noir pointillé indique la possible et future voie de drainage décrite dans ce texte.

encore de six kilomètres, la rivière Alsek pourrait quitter son chemin actuel vers l'ouest et se déverser directement au sud par le lac Grand Plateau, à 30 kilomètres au sud-est de la baie Dry.

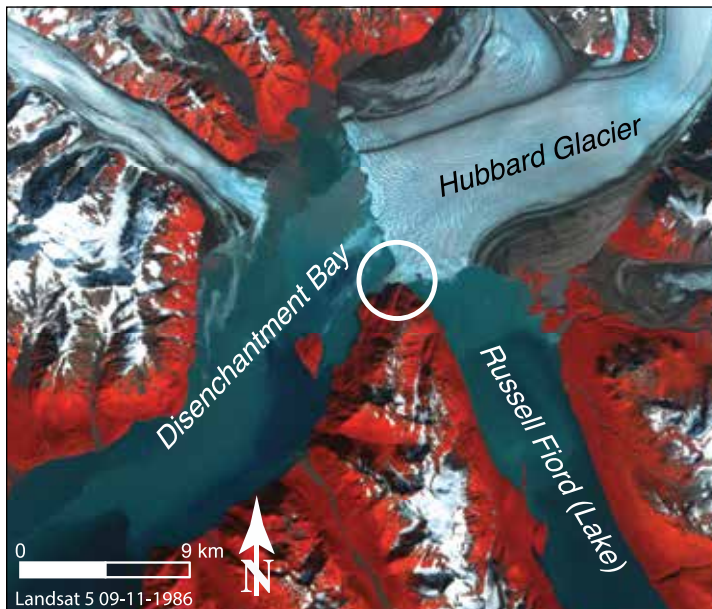
Glacier Brady, Alaska

L'évacuation en périphérie du glacier Brady au parc national de Glacier Bay, Alaska, se reconfigurera sans doute avec l'amincissement du glacier. Les lacs Spur et Oscar, barrés par des glaciers, alimentent la rivière Oscar, qui se jette dans le bras sud de la baie Dundas (figure 8).³⁵ Les exutoires de ces lacs seront abandonnés avec la baisse du niveau de ces lacs et que l'eau s'écoulera sous la glace. L'imagerie satellite indique la rupture déjà consommée entre le lac Spur et son flux de sortie. Le lac Abyss, qui déborde par la rivière Dundas dans la baie Dundas quand son niveau est assez élevé, s'écoulera sous la glace avec l'amincissement du glacier Brady.

Glacier Salmon et rivière Bowser, Alaska/C.-B.

Situé à environ 25 kilomètres au nord de Hyder, Alaska, le glacier Salmon barricade le lac Summit qui, avant 1961, s'écoulait vers le nord dans le

Figure 7. Représentation par image satellite des changements de drainage possibles dans la partie inférieure de la vallée de la rivière Alsek et la vallée Melbern. Les flèches jaunes indiquent les voies d'évacuation actuelles, les traits noirs pointillés indiquent la possible voie d'évacuation future décrite dans le texte; le trait blanc pointillé positionne approximativement le front du glacier Grand Pacific en 1899.³²



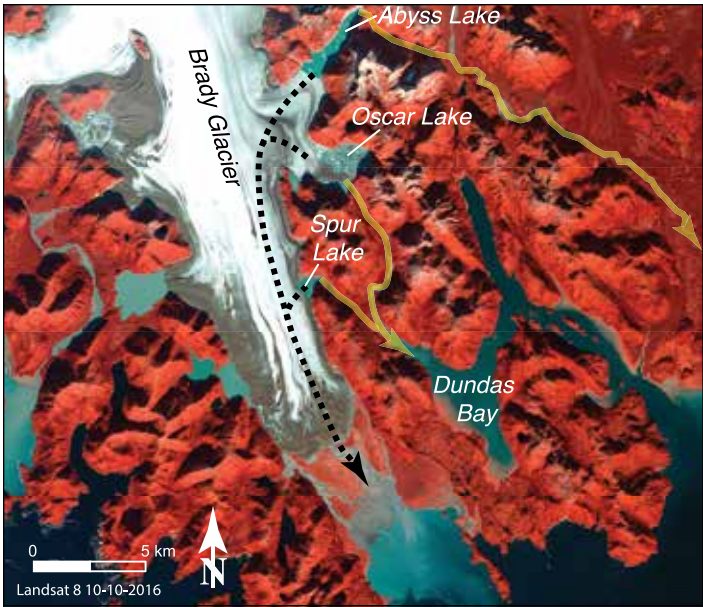
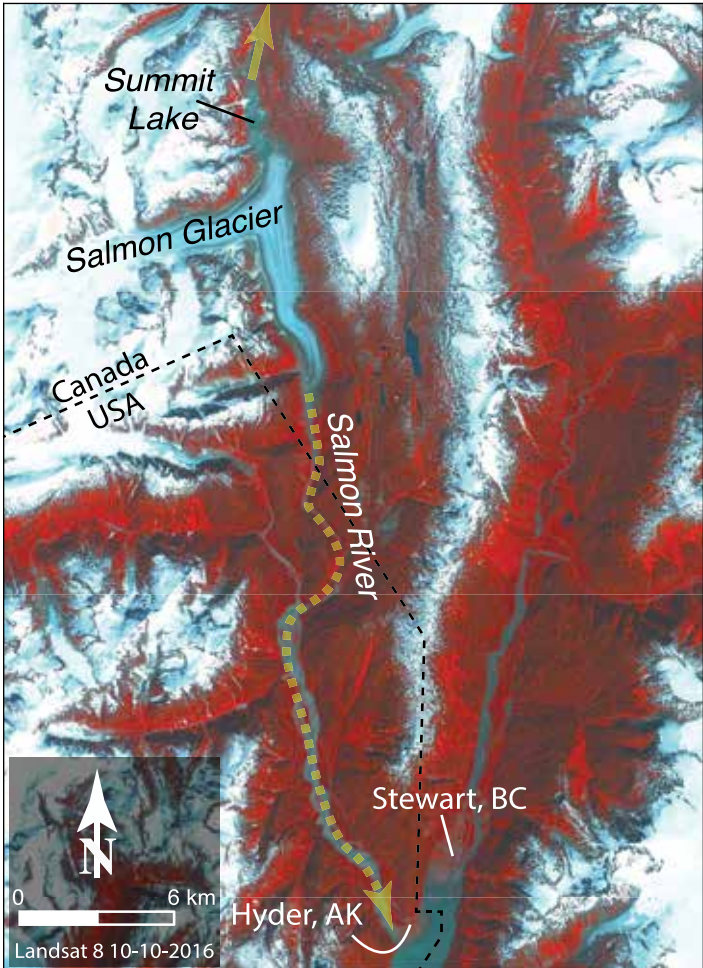


Figure 8. Image satellite montrant les voies de drainage actuelles (en jaune) et les éventuelles et futures voies de drainage sous-glacielles (en traits noirs pointillés) au glacier Brady.

Figure 9. Image satellite montrant le débordement historique du lac Summit au nord dans le bassin versant de la rivière Bowser (flèche jaune continue) et la route des inondations épisodiques dans la rivière Salmon et le canal Portland à Hyder (Alaska). Le recul progressif du glacier Salmon n'indiquera plus du tout le lac Summit et toute l'eau de fonte du glacier s'écoulera vers le sud. La ligne noire pointillée délimite la frontière canado-américaine.



bassin versant de la rivière Bowser (figure g). Suivant une longue période d'aminçissement et de recul de glacier, le lac Summit s'est vidé soudainement en décembre 1961 par un tunnel de glace à la base du glacier Salmon.^{36,37} Une fois le tunnel scellé par le flux continu, le lac s'est rempli de nouveau durant 27 mois. Toutefois, suite à une seconde vidange du lac en novembre 1965, le lac n'a plus jamais atteint le niveau nécessaire pour déborder dans le plan d'eau de la rivière Bowser. Le lac Summit s'est dès lors vidé chaque année, puis sporadiquement, dans la rivière Salmon qui se draine dans le canal Portland à Hyder près de Stewart (C.-B.). Tandis que le glacier poursuit sa retraite, le lac Summit pourrait cesser d'exister alors que l'eau de fonte du glacier Salmon s'écoulera sans entrave dans la rivière Salmon.

Conclusions

L'avancée des glaciers bloquait des vallées et reconfigurait parfois des systèmes entiers de rivières quand des calottes polaires se formaient sur l'hémisphère nord. En nous acheminant vers un monde de glaciers moins nombreux et plus petits, des terrains restés recouverts pendant des dizaines de milliers d'années seront libérés de la glace. Ce faisant, plusieurs cours d'eau en haute montagne seront détournés vers des chemins hydrologiques plus expéditifs en direction de la mer. Dans la plupart des cas, ces réacheminements seront sans conséquence. Mais d'autres pourraient avoir plus d'importance. Dry Bay, par exemple, soutient trois modestes gîtes, une usine flottante de transformation du poisson, et une piste d'atterrissage qui dessert une entreprise de rafting commercial. Si la rivière Alsek cesse de se déverser dans la baie Dry, ces infrastructures et cette économie devront être déménagées ou abandonnées. Dans le cas du piratage de la rivière Slims, le lac Kluane pourrait devenir un bassin fermé et rétablir, dans le futur, une route vers le sud et le golfe d'Alaska, entraînant des effets concomitants sur l'écologie du lac et parmi les gens et les communautés qui en dépendent pour se nourrir et se distraire. Les glaciers jouent un rôle important dans le paysage de l'Ouest canadien; plusieurs des plus grands cours d'eau en Alberta et en C.-B. sont alimentés par l'eau de fonte qui assure leur approvisionnement en eau durant les périodes sèches où les autres sources d'eau se font rares. L'histoire récente a montré que la reconfiguration des rivières par le changement climatique peut, dans certains cas, avoir de graves conséquences sur les écosystèmes et sur les gens.

Dan H. Shugar est professeur adjoint de géosciences au Water, Sediment, Hazards, and Earth-surface Dynamics Lab de l'Université de Washington, Tacoma.

John J. Clague est professeur émérite et directeur du Centre for Natural Hazards Research au Département des sciences de la Terre, Université Simon Fraser.

Références

- Vaughan, D. G., J. C. Comiso, I. Allison, J. Carrasco, G. Kaser, R. Kwok, P. W. Mote, T. Murray, F. Paul, J. Ren, E. Rignot, O. Solomina, K. Steffen et T. Zhang (2013). Observations: Cryosphere. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. Cambridge: 317-382..
- Huss, M. et al. Toward mountains without permanent snow and ice. *Earth's Future* 5, 418-435, doi:10.1002/2016ef000514 (2017).
- Larsen, C. F., Motyka, R. J., Arendt, A. A., Echelmeyer, K. A. & Geissler, P. E. Glacier changes in southeast Alaska and northwest British Columbia and contribution to sea level rise. *J. Geophys. Res.* 112, F01007, doi:10.1029/2006jf000586 (2007).
- Bolch, T., Menounos, B. & Wheate, R. Landsat-based inventory of glaciers in western Canada, 1985-2005. *Rem. Sens. Env.* 114, 127-137 (2010).
- Stewart, I. T. Changes in snowpack and snowmelt runoff for key mountain regions. *Hydrol. Proc.* 23, 78-94, doi:10.1002/hyp.7128 (2009).
- Stewart, I. T., Cayan, D. R. & Dettinger, M. D. Changes toward earlier streamflow timing across western North America. *J. Clim.* 18, 1136-1155 (2005).
- Beamer, J. P., Hill, D. F., McGrath, D., Arendt, A. & Kienholz, C. Hydrologic impacts of changes in climate and glacier extent in the Gulf of Alaska watershed. *Water Res. Res.* 53, 7502-7520, doi:10.1002/2016wr020033 (2017).
- Muñoz, N. J., Farrell, A. P., Heath, J. W. & Neff, B. D. Adaptive potential of a Pacific salmon challenged by climate change. *Nat. Clim. Change* 5, 163-166, doi:10.1038/nclimate2473 (2015).
- Mantua, N. J., Crozier, L. G., Reed, T. E., Schindler, D. E. & Waples, R. S. Response of chinook salmon to climate change. *Nat. Clim. Change* 5, 613-615, doi:10.1038/nclimate2670 (2015).
- Coe, J. A., Bessette-Kirton, E. K. & Geertsema, M. in 3rd North American Symposium on Landslides, Association of Environmental & Engineering Geologists (AEG) Special Publication No. 27 585-596 (Roanoke, VA, 2017).
- Berthier, E., Schiefer, E., Clarke, G. K. C., Menounos, B. & Remy, F. Contribution of Alaskan glaciers to sea-level rise derived from satellite imagery. *Nat. Geosci.* 3, 92-95 (2010).
- Larsen, C. F., Motyka, R. J., Freymueller, J. T., Echelmeyer, K. A. & Ivins, E. R. Rapid viscoelastic uplift in southeast Alaska caused by post-Little Ice Age glacial retreat. *Earth Plan. Sci. Lett.* 237, 548-560 (2005).
- McGuire, B. Waking the Giant: How a changing climate triggers earthquakes, tsunamis, and volcanoes. (Oxford University Publishing, 2012).
- Dyke, A. S. & Prest, V. K. in Map 1702A (Geological Survey of Canada, 1987).
- Templeman-Kluit, D. Evolution of the physiography and drainage in southern Yukon. *Can. J. Earth Sci.* 17, 1189-1203 (1980).
- Duk-Rodkin, A., Barendregt, R. W., White, J. M. & Singhroy, V. H. Geologic evolution of the Yukon River: implications for placer gold. *Quat. Int.* 82, 5-31 (2001).
- Bodaly, R. A. & Lindsey, C. C. Pleistocene watershed exchanges and the fish fauna of the Peel River basin, Yukon Territory. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 34, 388-395 (1977).
- Hughes, O. L. et al. Upper Pleistocene stratigraphy, paleoecology, and archaeology of the northern Yukon interior, Eastern Beringia I. Bonnet Plume basin. *Arctic* 34, 329-365 (1981).
- Andrews, G. D. M., Russell, J. K., Brown, S. R. & Enkin, R. J. Pleistocene reversal of the Fraser River, British Columbia. *Geology* 40, 111-114, doi:10.1130/g32488.1 (2012).
- Ryan, J. J., Hayward, N. & Jackson, L. E. Landscape antiquity and Cenozoic drainage development of southern Yukon, through restoration modeling of the Tintina Fault. *Can. J. Earth Sci.* 54, 1085-1100, doi:10.1139/cjes-2017-0053 (2017).
- Shugar, D. H. et al. River piracy and drainage basin reorganization led by climate-driven glacier retreat. *Nat. Geosci.* 10, 370-375, doi:10.1038/ngeo2932 (2017).
- Arendt, A. et al. (Global Land Ice Measurements from Space, Boulder, CO, 2014).
- Borns, H. W., Jr. & Goldthwait, R. P. Late-Pleistocene fluctuations of Kaskawulsh Glacier, SW Yukon Territory, Canada. *Am. J. Sci.* 264, 600-619, doi:http://dx.doi.org/10.2475/ajs.264.8.600 (1966).
- Bostock, H. S. Kluane Lake, Yukon Territory, Its Drainage and Allied Problems. Report No. Paper 69-28, 19 (Geological Survey of Canada 69-28, 1969).
- Brahney, J., Clague, J. J., Menounos, B. & Edwards, T. W. D. Timing and cause of water level fluctuations in Kluane Lake, Yukon Territory, over the past 5000 years. *Quat. Res.* 70, 213-227, doi:10.1016/j.yqres.2008.05.001 (2008).
- Clague, J. J. et al. Rapid changes in the level of Kluane Lake in Yukon Territory over the last millennium. *Quat. Res.* 66, 342-355, doi:10.1016/j.yqres.2006.06.005 (2006).
- Pelto, M. Llewellyn Glacier, BC proglacial lake merging from retreat, <<http://blogs.agu.org/fromglaciersperspective/2017/06/05/llewellyn-glacier-bc-proglacial-lake-merging-retreat/>> (2017).
- Maurer, M. K. et al. Late Holocene glacier expansion in the Cariboo and northern Rocky Mountains, British Columbia, Canada. *Quat. Sci. Rev.* 51, 71-80, doi:10.1016/j.quascirev.2012.07.023 (2012).
- Clague, J. J. & Rampton, V. N. Neoglacial Lake Alsek. *Can. J. Earth Sci.* 19, 94-117 (1982).
- Mayo, L. Advance of Hubbard Glacier and 1986 outburst of Russell Fjord, Alaska. *Ann. Glaciol.* 13, 189-194 (1989).
- Motyka, R. J. & Truffer, M. Hubbard Glacier, Alaska: 2002 closure and outburst of Russell Fjord and postflood conditions at Gilbert Point. *J. Geophys. Res.* 112, doi:10.1029/2006jf000475 (2007).
- Clague, J. J. & Evans, S. G. Historic retreat of Grand Pacific and Melbern Glaciers, Saint-Elias Mountains, Canada - an analog for decay of the Cordilleran Ice-Sheet at the end of the Pleistocene. *J. Glaciol.* 40, 205-210 (1994).
- Pelto, M. Grand Plateau Glacier retreat, Alaska, <<http://blogs.agu.org/fromglaciersperspective/2011/02/04/grand-plateau-glacier-retreat/>> (2011).
- Pelto, M. North Fork Grand Plateau Glacier, Alaska - Spectacular 3 km retreat 2013-15, <<http://blogs.agu.org/fromglaciersperspective/2016/05/01/south-fork-alsek-glacier-alaska-spectacular-3-km-retreat-2013-15/>> (2016).
- Capps, D. M. & Clague, J. J. Evolution of glacier-dammed lakes through space and time; Brady Glacier, Alaska, USA. *Geomorphology* 210, 59-70, doi:10.1016/j.geomorph.2013.12.018 (2014).
- Clague, J. J. & Mathews, W. H. The magnitude of jökulhlaups. *J. Glaciol.* 12, 501-504 (1973).
- Mathews, W. H. & Clague, J. J. The record of jökulhlaups from Summit Lake, northwestern British Columbia. *Can. J. Earth Sci.* 30, 499-508 (1993).



Willoughby Ridge en 2015 se régénère après l'incendie de Lost Creek, col Crowsnest.
Photo Mary Sanseverino..

Résilience en communautés de montagne canadiennes

Kevin Hanna

On ne peut pas sous-estimer l'impact futur des changements climatiques sur les régions montagneuses. La vulnérabilité des paysages de montagne et des communautés humaines qui en dépendent pour vivre est d'ores et déjà un sujet de préoccupation distinct pour le développement international et marqué d'une reconnaissance particulière dans les efforts internationaux pour combattre les changements climatiques.¹

Comme d'autres chapitres de ce rapport l'indiquent, les impacts du changement climatique n'exemteront pas les régions montagneuses canadiennes. Pour les communautés de la montagne, cela signifie que l'adaptation et la résilience seront des clés importantes pour réagir aux nouvelles incertitudes climatiques et les perturbations qui les accompagnent. La rigueur du climat et les défis qu'entraîne le fait de vivre et de travailler dans un pays rude ne sont pas des nouveautés pour les populations des montagnes, mais les changements climatiques vont imposer de nouvelles contraintes.

Il est difficile de prévoir à quoi ressemblera cette nouvelle réalité climatique. Malgré l'étendue du consensus scientifique qui reconnaît l'existence des changements climatiques, la spécificité des changements apportés selon les régions ne peut se prévoir très précisément, ce qui rend la planification difficile aux communautés. Mais notre compréhension des tendances générales et leurs résultats possibles ne cesse d'augmenter et peut s'avérer utile. Il est raisonnable de dire que nous ressentons déjà certains effets du changement climatique. Nous savons que les glaciers et les champs de glace canadiens vont diminuer et parfois même disparaître, que les niveaux et le comportement de la pluie et de la neige — allant sans doute en déclinant dans plusieurs régions — et que la fréquence et la force des événements météorologiques violents vont augmenter. Cela alors que la moitié de la population mondiale dépend de l'eau des montagnes et que, dans l'Ouest canadien, l'énergie hydraulique dépend de sources d'eau provenant des montagnes, comme la plupart de ses villes et localités.

Des conditions plus sèches transformeront aussi les paysages forestiers. En 2017, la Colombie-Britannique a connu sa pire saison des feux de forêt depuis les années 1950. Durant des semaines, à travers la Chaîne côtière, les Rocheuses et les Kootenays, les montagnes ne se distinguaient plus à l'horizon, et ce, non en raison des nuages ou de l'humidité, mais de la fumée des feux. Le tourisme, les transports et la santé publique furent affectés, alors qu'il se pourrait que 2017 soit le signe précurseur des étés à venir. La transformation des écosystèmes, de la biodiversité et des systèmes hydrologiques dont dépendent les communautés de montagne transformera aussi l'économie et l'identité de ces régions.

Plusieurs parties de la société se sont de plus en plus détachées de ce qui les lie les unes aux autres et à l'environnement.² Mais il est rare pour les communautés de montagne d'oublier la profondeur avec laquelle leur économie et leur culture s'imbriquent avec la nature. La



vie dans un paysage rude développe des qualités de résilience qui représentent un avantage pour les personnes qui doivent faire face au changement et à l'incertitude.

La résilience et l'adaptation sont liées. La résilience débute par la compréhension que l'être humain et la nature font partie d'un même système social et écologique; elle constitue la capacité des systèmes naturels et socioéconomiques interreliés à affronter des changements importants en continuant de fonctionner et de progresser. La résilience concerne la manière dont les humains et la nature peuvent se servir des chocs et des bouleversements comme les changements climatiques ou même les crises économiques afin de générer l'innovation et le renouvellement.²

L'adaptation concerne la mise en pratique de la résilience. L'adaptation est stratégique et orientée vers l'action, englobant les activités qui aident à réduire et atténuer les impacts négatifs du changement climatique.³ Ses mesures augmentent la résilience des communautés. L'adaptation anticipe les manières dont notre environnement physique, social et économique risque de changer et ce qu'il faut faire pour le rendre résilient. Sur le terrain, cela signifie par exemple la construction d'infrastructures qui anticipent les dangers des inondations sévères, des sécheresses, des dynamiques d'avalanche nouvelles, des éboulements, des glissements de terrain et des incendies de forêt. L'adaptation demande qu'une communauté investisse dans la résilience accrue de

ses systèmes de transport, de distribution des eaux, de gestion des déchets, sans oublier ses services sociaux. Elle identifie aussi les aspects les plus vulnérables des économies locales et détermine ce qu'il faut y changer, s'il ne faut pas les reconcevoir entièrement.

Aux communautés de montagne canadiennes — souvent dépendantes de marchés vulnérables comme le tourisme, l'agriculture et la foresterie — les changements climatiques posent des défis d'adaptation importants que la reconnaissance et une planification précoces aideront à mieux affronter. La résilience nécessitera des connaissances et des données, de même qu'une culture de l'adaptation qui fait comprendre les risques et les actions nécessaires à l'endurance et le succès. Une personne avertie en vaut deux.

Kevin Hanna est directeur du Center for Environmental Assessment Research à l'Université de la Colombie-Britannique, Okanagan.

Références

1. Egan, P.A. & Price, M. F. (2017). Mountain ecosystem services and climate change: a global overview of potential threats and strategies for adaptation. Paris: UNESCO.
2. Stockholm Resilience Institute (SRI). (2017). What is resilience? An introduction to a popular yet often misunderstood concept. Extrait à partir de : <http://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2015-02-19-what-is-resilience.html>
3. National Municipal Adaptation Project (NMAP) (2014). Canada: Results from the national municipal adaptation survey. Kelowna: Center for Environmental Assessment Research at UBC.

Maisons endommagées le long du bord de Cougar Creek à Canmore, Alberta. Des inondations massives causées par des pluies torrentielles ont inondé des routes et emporté des ponts, provoquant l'évacuation de milliers de personnes en juin 2013. Photo Jack Borno.

L'adaptation est une mise en pratique de la résilience.

Culture de montagne au Canada : livres, films et médias numériques

Où qu’ils vivent, les Canadiens ont tous un investissement dans les montagnes.

Stephen Slemon, Joanna Croston

Dans les deux sections suivantes, Joanna Croston, directrice de la programmation du Festival du livre et du film de montagne de Banff, fournit un aperçu de l'état actuel de la culture de montagne dans la littérature, le cinéma ainsi que les médias numériques au Canada anglais. Son exposé fait nettement transparaître comment les auteurs, les éditeurs et les cinéastes canadiens représentent la montagne pour une multitude de raisons, souvent contradictoires : nationalisme et identité nationale; promotion et célébration du sport, du voyage et des loisirs; soutien à l'industrie et au développement; passion du plein air; inquiétudes pour la durabilité écologique et les cultures de montagne canadiennes incluant celles de ses nombreuses nations autochtones, etc. Il paraît également évident qu'un dialogue approfondi parmi ces nombreux champs d'intérêt sera de plus en plus nécessaire dans le futur.

D'après une note récemment mise en ligne par Katie Ives, rédactrice en chef du journal international d'alpinisme et ses diverses cultures, *Alpinism*, voici ce que l'alpiniste et militant britannique Dave Cook avait à dire sur l'un des genres majeurs de l'écriture de montagne, la littérature d'alpinisme :

Cette écriture a un besoin criant de montrer comment le travail, les rapports humains, l'art et la montagne sont interreliés. Elle a un urgent besoin d'émotions qui s'épanchent au lieu de se figer et se retenir; un besoin urgent de réaffirmer certaines valeurs d'humanité et de camaraderie contre l'impérialisme colonisateur des alpinistes de pointe. Elle a un urgent besoin de perspectives féministes qui savent défier son imagerie masculine limitée et déshumanisante. Elle aurait même besoin d'une touche de poésie.

Plusieurs auteurs et cinéastes canadiens cherchent à représenter l'interrelation que Dave Cook appelait de ses vœux. Et à mesure que cette volonté gagne en force et en étendue, la distinction entre la création dite « de montagne » et les autres catégories littéraires, artistiques, cinématographiques et numériques s'estompera jusqu'à se briser. Où qu'ils vivent, les Canadiens ont tous un investissement dans les montagnes. Le rapport de Joanna Croston sur la littérature, les films et les productions numériques de montagne au Canada repère certains domaines où cet investissement et ces transformations sont aujourd'hui en cours.

Stephen Slemon est professeur émérite au Département d'anglais et d'études cinématographiques à l'Université de l'Alberta.



Bernadette McDonald reçoit le Jon Whyte Award de littérature de montagne au Festival du film et du livre de montagne de Banff en 2017. ©Centre des arts de Banff

Écrits de montagne

L'apparition, ces dernières années, de petites maisons d'édition et de magazines spécialisés dans la montagne est également prometteuse. La marque Rocky Mountain Books du groupe d'édition Heritage House reste au pays l'éditeur le plus éminent à publier chaque année de la littérature de montagne non fictionnelle, tandis qu' Imaginary Mountain Surveyors, établi à Canmore, Alberta, publie un ou deux titres de fiction par an.

Bernadette McDonald, sans doute l'auteure de littérature de montagne la plus réputée du pays, continue de faire des vagues à l'international dès que sa plume touche le papier. En seulement trois semaines l'automne dernier, son dernier titre, *Art of Freedom: The Life and Climbs of Voytek Kurtyka*, a remporté pas moins de trois prix internationaux de littérature de montagne, dont le prix Boardman Tasker et le très convoité Jon Whyte Award au festival de Banff, où l'Albertaine Gisèle Villeneuve a remporté le prix de la fiction avec *Rising Abruptly: Stories*.

Des magazines conçus avec soin et élégance tels *Kootenay Mountain Culture Magazine*, *Coast Culture Magazine*, *Mountain Life* ou le *Canadian Rockies Annual* prennent toujours de l'essor dans le marché grâce à la qualité de leur écriture et de leur facture visuelle. Tout récemment fondé au Québec, *Beside* cultive des récits qui renouent la relation des passionnés de plein air avec la nature dans la conscience environnementale.

Ayant célébré son centenaire en 2017, Le *Journal alpin canadien* du CAC demeure chaque année pour les passionnés d'alpinisme une indispensable source de comptes-rendus de premières ascensions, effectuées au Canada ainsi qu'à l'étranger. Certains des meilleurs alpinistes au pays, tels Vikki Weldon, Joshua Lavigne et le regretté Marc-André Leclerc ont contribué à l'édition de 2017, pendant que le comité culturel du Club s'emploie

Films de montagne et médias numériques

Des compagnies canadiennes de production de films comme Sherpas Cinema et Switchback Entertainment continuent de mener l'offensive dans l'industrie du film de ski. Témoin l'engouement instantané sur Internet pour le court-métrage *Imagination: Tom Wallisch* de Sherpas Cinema, visionné plus de 2 millions de fois au moment d'écrire ces lignes, sans oublier ses nombreux prix récoltés dans les festivals internationaux. *Kilian*, de Switchback Entertainment, a été réalisé avec le concours du géant de l'industrie du plein air Salomon. Ces deux producteurs canadiens ont pu constater l'immense fidélité de leur auditoire en créant des courts métrages diffusés sur le Web, tout comme la coopérative MEC qui soutient les épisodes de la série *Seeking Nirvana*.

Et chaque année des producteurs étrangers de films ou vidéos de ski comme Red Bull Media House et Matchstick Productions filment dans les montagnes canadiennes, pour la relative constance de leur climat en hiver et leur immensité attrayante.

Des films historiques comme *Hobnails and Hemp Rope* ou *Expedition Yukon: 50 Years Later* ont célébré l'anniversaire de moments décisifs pour le monde alpin. Et si donner la preuve d'une diversité ethnique et de genre dans les contenus de la culture de montagne demeure un défi, des films comme *Journeys to Adäka*, *Bison Return* et *Eyes of Society* , qui ont été largement diffusés, suggèrent un désir de corriger la situation dans l'industrie, en donnant vie et en faisant connaître des récits autochtones.

L'environnementalisme demeure chaque année un thème fort et constant dans les films au Canada. Récemment parus, les récits de *Living with Wildlife* et *Hunting Giants* aspirent à des solutions en illustrant la pénible situation des animaux comme des paysages dans les régions montagneuses canadiennes.

Biglines.com, établi en Colombie-Britannique, et le site d'alpinisme Gravsports-ice.com restent des références web dominantes en matière de comptes-rendus d'excursion et d'informations mise à jour sur la météo des montagnes. Le site Web Crowfoot Media présente une vaste étendue de contenus culturels de montagne, qu'il s'agisse d'évaluations d'équipements, de critiques de livres, d'enquêtes d'archives ou d'expositions de photographies en ligne. Le site Web de *Gripped* magazine est une référence très fréquentée pour ses actualités alpines du monde entier.

Joanna Croston est directrice de la programmation pour le Festival du livre et du film de montagne de Banff du Centre des arts de Banff.

à numériser la revue pour joindre un public élargi.

La littérature de montagne canadienne et ses auteurs infiltrent aussi les médias plus grand public diffusés à l'échelle du pays quand ces derniers abordent des sujets liés à la montagne. Tel a été le cas avec *The Walrus*, qui a récemment accordé sa page couverture à l'article de fond de Katherine Laidlaw sur l'athlète alpin Will Gadd, « *This Will End Well* ». Preuve qu'une demande du grand public existe bien pour les contenus montagnards. De façon similaire, le *Swerve Magazine* du Calgary Herald a également mis en vedette le champion en escalade de glace Raphael Slawinski dans un article de Lyndsie Bourgon, « *Independent Study* », sur les efforts de ce Canadien mondialement connu afin d'équilibrer ses ambitions d'alpiniste avec son métier de professeur de physique.



En 2017, Paul Zizka, photographe basé à Banff et fellow de la SGRC, publiait son second livre grand format de photographie, *The Canadian Rockies: Rediscovered*, ainsi que quatre livres de photos de voyage dans les Rocheuses (tous parus chez Rocky Mountain Books) pour célébrer Canada 150.

L'environnementalisme demeure chaque année un thème fort et constant dans les films au Canada.



La station de ski Big White.
Photo Michael Pidwirny

Stations de ski alpin et changement climatique dans l’Ouest canadien

Michael Pidwirny, Kalim Bahbahani et Shane Pedersen

Le Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC; IPCC en anglais) a prévu que, d’ici la fin du 21^e siècle, l’émission continue de gaz à effets de serre causé par l’homme augmentera la température de l’atmosphère de façon importante et changera les régimes de précipitations de notre planète aux échelles locale, régionale et globale. L’habileté à prévoir les effets du changement climatique sur les systèmes socioéconomiques est importante pour estimer leurs impacts humains. Comprendre ces impacts permettra aussi de développer des stratégies d’adaptation et d’atténuation qui réduisent les conséquences négatives du changement climatique.

Période/Scénario sur 30 ans	Dioxyde de carbone Parties par million	Méthane Parties par milliard	Oxyde nitreux Parties par milliard
1901 à 1930	302	955	282
1981 à 2010	362	1708	312
2071-2100 meilleur cas (RPC4.5)	532	1645	367
2071-2100 pire cas (RCP8.5)	807	3566	415

Tableau 1. Concentrations historiques et projetées de dioxyde de carbone, de méthane et d’oxyde nitreux dans l’atmosphère.

L’analyse des impacts, sur les stations de ski alpin, des changements climatiques d’origine humaine est assez directe; elle utilise des techniques récentes qui interpolent mathématiquement les mensurations de certaines stations météorologiques vers des lieux avoisinants. La recherche présentée ici utilise des données climatiques spatialement interpolées par les logiciels ClimateBC et ClimateWNA.¹ Les données climatiques de ces logiciels peuvent couvrir la période historique de 1901-2015 et générer des projections climatiques pour le 21^e siècle à partir de simulations à modèles employées dans le cinquième Rapport de synthèse du GIEC.

Chaque année pendant la saison hivernale, les stations de ski alpin de l’Ouest canadien subissent d’importantes variations en températures de surface et en chutes de neige. Cette variabilité peut dissimuler certaines tendances lorsqu’il y a peu de données disponibles. La figure 1 montre les variations de la température hivernale moyenne de la station de ski Cypress, située tout juste

au nord de Vancouver (C.-B.), de 1901 à 2015. Cette période de 115 années laisse observer une tendance évidente de la température moyenne d’environ 1,5 degré Celsius : il est d’ailleurs important de noter que la température moyenne de 2015 s’est révélée assez chaude pour garder fermée cette station de ski pour la majeure partie de cette saison.

Nous pouvons aussi tâcher de prévoir comment le réchauffement climatique au 21^e siècle affectera la station de Cypress et d’autres stations de l’Ouest canadien en utilisant ClimateBC et ClimateWNA. Mais la détermination de ces changements reste incertaine, car elle dépend de nos efforts futurs pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l’atmosphère. Le tableau 1 estime les concentrations atmosphériques des principaux gaz à effets de serre selon le meilleur des scénarios (appelé RCP4.5) et le pire des scénarios (appelé RCP8.5) disponibles sur ClimateBC et ClimateWNA. Le meilleur scénario est corrélé avec un réchauffement de la surface terrestre d’environ 2,0 degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels. De nombreux climatologues croient ce scénario réalisable si les nations agissent rapidement pour réduire leurs émissions, essentiellement par le reboisement et d’autres techniques de capture du carbone, ainsi qu’une efficacité énergétique accrue et un virage de la production d’énergie vers des sources renouvelables. Le pire scénario envisagé correspond à un dénouement où les émissions de gaz à effet de serre continuent de croître

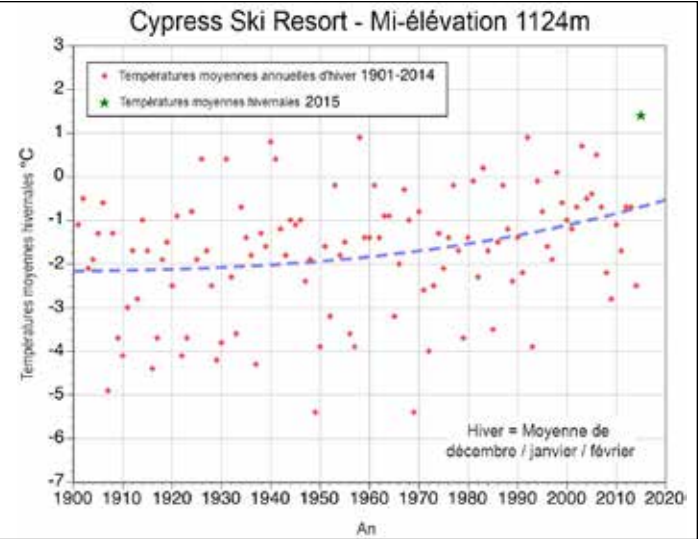


Figure 1. Températures hivernales moyennes annuelles observées de 1901 à 2015 à la station de ski Cypress, à une altitude spécifique de 1124 mètres. La ligne bleue segmentée marque la tendance au réchauffement dégagée des 115 observations. Ce graphique marque aussi d’une étoile verte l’hiver 2015 comme le plus chaud enregistré de l’histoire de Cypress.

La station de ski Big White. Photo Michael Pidwirny



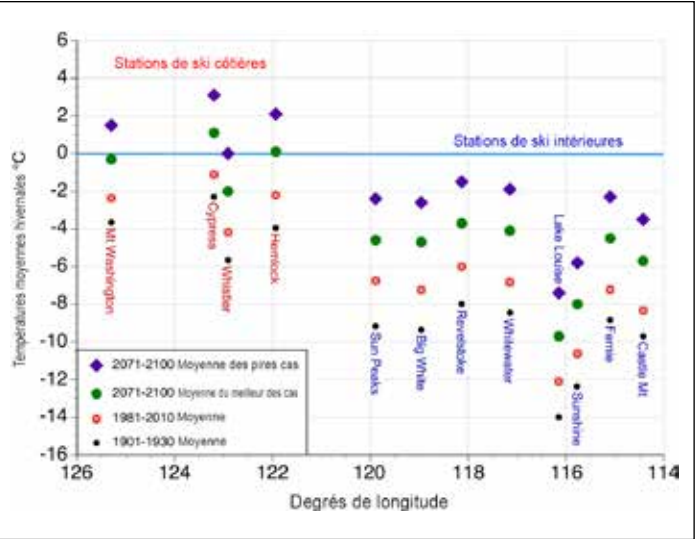


Figure 2. Transformations historiques et prévues (selon le pire et le meilleur scénario) de la température hivernale moyenne de 12 stations de ski dans l'Ouest canadien, d'après les données produites par ClimateBC ou ClimateWNA au niveau d'élévation médiane de chaque station côtière ou intérieure.

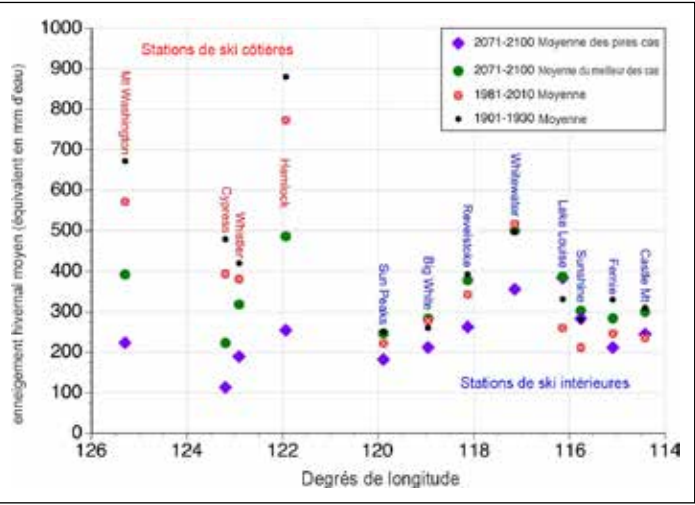


Figure 3. Transformations historiques et prévues (selon le pire et le meilleur scénario) de l'enneigement moyen (mesuré en mm équivalents en eau) de 12 stations de ski de l'Ouest canadien, d'après les données produites par ClimateBC ou ClimateWNA au niveau d'élévation médiane de chaque station côtière ou terrestre.

exponentiellement et où la température mondiale est augmentée de 3 à 5 degrés Celsius avant 2100.

Les figures 2 et 3 montrent les changements historiques et futurs (prévus) de la température moyenne hivernale et des chutes de neige pour 12 stations de ski, disposées sur une pente longitudinale allant de l'île de Vancouver jusqu'à l'ouest de l'Alberta. On y constate que la température hivernale moyenne des stations choisies a déjà subi un réchauffement de 1 à 2 degrés Celsius entre les périodes 1901-1930 et 1981-2010.

La figure 2 présente aussi le meilleur et le pire des scénarios de réchauffement futur prévus. D'après le meilleur scénario, la température des stations côtières de Mount Washington, Cypress et Hemlock se réchauffera probablement trop d'ici la fin du 21^e siècle pour continuer des activités de ski et de planche à neige, et la température hivernale moyenne de Whistler ressemblera à celle de Mount Washington en 1981-2010. Dans le pire des scénarios, la température de toutes les stations côtières sera trop chaude pour accommoder les loisirs d'hiver. Le meilleur des scénarios annonce des températures hivernales d'une moyenne de 2 à 3 degrés Celsius supérieure à celle de 1981-2010 pour les stations de ski à l'intérieur de la province. Le pire des scénarios augmente celle-ci d'encre 2,0 degrés.

La figure 3 suggère que l'enneigement hivernal des stations côtières connaîtra un fort déclin, dans le meilleur comme le pire des scénarios. La plupart des stations à l'intérieur de la province connaîtront un changement nul ou de légères augmentations d'après le meilleur scénario; le pire des scénarios prévoit moins d'enneigement pour les stations de Sun Peaks, Big White, Revelstoke et Whistwater.

Pour conclure, le futur proche prévoit que les changements climatiques d'origine humaine augmenteront les moyennes hivernales de température et transformeront l'enneigement des stations de ski dans l'Ouest canadien. Le degré auquel ces changements seront néfastes à l'industrie du ski de l'Ouest canadien dépendra du pouvoir des gouvernements à instaurer des réductions substantielles dans les futures émissions de gaz à effet de serre.

Michael Pidwirny est un professeur agrégé et Kalim Bahbahani et Shane Pedersen sont étudiants au Département des sciences de la terre, de l'environnement et de la géographie à l'Université de la Colombie-Britannique, Okanagan.

Références

1. Wang, T., Hamann, A., Spittlehouse, D., et Murdoch, T. N. 2012. ClimateWNA – High-resolution spatial climate data for western North America. Journal of Applied Meteorology and Climatology 61: 16-29.



Motoneigiste dans la région du mont Castle, Alberta. Photo Stevin Tuchiwsky

Avalanches

Pascal Haegeli

Au Canada, les avalanches représentent en montagne un risque important. Entre 1980 et 2016, 428 personnes sont mortes dans 301 accidents d'avalanche, soit environ deux fois plus de victimes que pour tout autre type de catastrophe météorologique ou géologique naturelle (figures 1 & 2). Et si la plupart des décès ont eu lieu dans l'Ouest canadien (Colombie-Britannique : 72 p. cent; Alberta : 20 p. cent; Yukon : 2 p. cent), il s'en est aussi produit au Québec, à Terre-Neuve, au Labrador et au Nunavut. À l'exception d'une victime sur un chantier extérieur, toutes les victimes d'avalanche ces derniers dix ans étaient des excursionnistes autodidactes (92 p. cent) ou dirigés par un professionnel (8 p. cent). Parmi les victimes sans guide, 48 p. cent étaient motoneigistes, 31 p. cent des randonneurs en ski, 5 p. cent des skieurs hors-piste tandis que 16 p. cent s'adonnaient à d'autres activités. Les avalanches affectent aussi d'importantes industries canadiennes (par ex., minière, forestière et hydroélectrique) et des infrastructures essentielles (par ex., voies de transport, lignes de transmission, pipelines). Chaque hiver, le risque d'avalanche est source d'accidents de circulation et de pertes économiques dus à la fermeture temporaire d'autoroutes, de chemins de fer et de routes d'accès.

La gestion des risques d'avalanche s'effectue grâce à un mélange de planification sécuritaire et de programmes opérationnels. La planification évalue l'exposition générale aux risques d'avalanche et conçoit des moyens

d'éviter l'exposition (par ex. en réglementant l'utilisation du terrain), ou la réduire à un niveau acceptable. L'atténuation du risque peut avoir la forme de solutions techniques (barrages, galeries, filets pare-neige...) ou de programmes

La gestion des risques d'avalanche s'effectue par un mélange de planification sécuritaire et de programmes opérationnels.

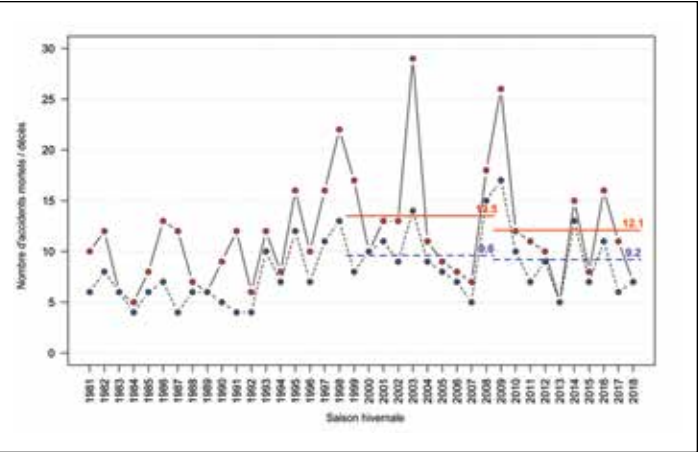


Figure 1 : Nombre annuel d'avalanches mortelles (points bleus avec ligne pointillée) et de victimes d'avalanche (points rouges avec traits pleins) au Canada en hiver de 1981 à 2018 (Avalanche Canada [s.d.]). Les lignes horizontales indiquent la moyenne annuelle d'avalanches mortelles sur dix ans (en bleu pointillé) et de décès causés (ligne rouge continue).

Des efforts importants sont couramment déployés pour réduire la durée de fermeture des tronçons de la Transcanadienne vulnérables aux avalanches

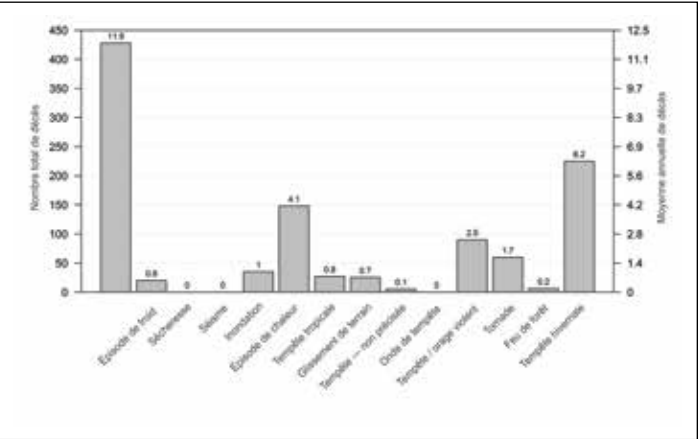


Figure 2 : Nombre annuel moyen et total de décès attribuables aux dangers météorologiques ou géologiques naturels au Canada entre le 1^{er} octobre 1980 et le 8 mai 2018 (Avalanche Canada [s.d.] : décès dus à une avalanche; Sécurité publique Canada [s.d.] : autres décès). Remarque : Le nombre de décès par événements de froid ou de chaleur est probablement sous-estimé, les événements comptant moins de 10 victimes pouvant ne pas être inclus dans la Base de données canadienne sur les catastrophes.

opérationnels en sécurité avalanche. Ces programmes gèrent les risques d'avalanche en temps réel en surveillant les conditions météorologiques en permanence et choisissent des mesures d'atténuation à court terme (par ex. fermetures temporaires et déclenchement préventif d'avalanches) pour remplir leurs objectifs opérationnels, comme préserver l'ouverture d'une route, la sécurité d'une piste de ski, ou indiquer des terrains sécuritaires aux visiteurs de l'arrière-pays. Pour informer adéquatement les excursionnistes qui planifient des expéditions en arrière-pays, une combinaison d'agences gouvernementales (Parcs Canada, Alberta Parks) et non gouvernementales (Avalanche Canada, Avalanche Québec) publie des bulletins d'avalanche quotidiens sur une vingtaine de régions de l'Ouest canadien et sur les Chic-Chocs du Québec tout l'hiver.

Des efforts importants se déploient pour réduire la durée de fermeture des tronçons vulnérables de la Transcanadienne. L'installation récente de filets pare-neige (comme à Cougar Corner, à l'ouest du col Rogers, figure 3), de systèmes de déclenchement d'avalanches préventives (p.ex., Three Valley Gap) et de détection augmentera la capacité d'assurer la fiabilité des routes en contrôlant plus efficacement les risques. Entre 2016 et 2018, les dépenses liées à la protection de la Transcanadienne contre les avalanches excéderont 15 millions de dollars canadiens.

Puisque ce sont les gens qui, ultimement, décident du moment et du lieu où ils s'exposent aux risques, l'amélioration de la sécurité dépend d'une compréhension poussée tant du phénomène physique que des effets de l'interaction humaine. Par conséquent, la recherche canadienne en sécurité avalanche adopte une approche interdisciplinaire qui inclut les méthodes et points de vue des sciences naturelles, sociales et médicales pour analyser les facteurs qui mènent aux accidents d'avalanche le plus globalement possible. La collaboration étroite entre les chercheurs et les praticiens en sécurité a créé au Canada un environnement particulièrement propice au développement d'instruments pratiques et basés sur des faits qui permettront aux professionnels comme aux excursionnistes de faire des choix plus éclairés sur les risques d'avalanche.

L'étendue des montagnes canadiennes pose un défi de taille à la diffusion mise à jour des évaluations des risques partout où elle est nécessaire. Plusieurs opérations industrielles et routes de transport, ainsi que bon nombre d'activités récréatives ont lieu dans des régions reculées où l'absence d'un flux fiable d'observations et d'évaluations empêche la publication de bulletins d'avalanche. Des recherches canadiennes récentes qui lient des modèles numériques du manteau neigeux avec des modèles de prévisions météorologiques ont montré qu'elles pouvaient simuler relativement bien la structure du manteau neigeux de certains emplacements (figure 4; p.ex.^{2,3}) et la configuration spatiale de couches de manteaux neigeux dangereuses.⁶ La recherche actuelle vise à développer des outils fonctionnels qui analysent avec fiabilité les conditions de risque d'avalanche

pour influencer les prises de décisions dans des régions autrement pauvres en données.

En arrière-pays, la communauté récréative (figure 5) n'a pas seulement connu une croissance importante et récente. Elle s'est aussi diversifiée beaucoup, et comme chaque groupe d'utilisateurs est unique, il est essentiel de connaître en détail leurs interactions avec le paysage, leur niveau de conscientisation en risques d'avalanche et leurs sources préférées d'informations pour développer des initiatives de sécurité efficaces. Bien que la recherche passée fournisse des aperçus profitables, il nous faut davantage de recherches sur les aspects humains pour concevoir et fournir efficacement des directives de sécurité avalanche adaptées aux activités.^{4,5}

Ce ne sont là que deux exemples des orientations qu'adopte la recherche en sécurité avalanche au Canada. Et tandis que les démarches actuelles de prévention sont parvenues à conserver le nombre annuel de décès causés par avalanche à un niveau stable malgré le nombre croissant des usagers et des activités en arrière-pays, des solutions innovatrices seront nécessaires pour soutenir la croissance continue d'activités économiques et récréatives dans les montagnes canadiennes.

Pascal Haegeli est titulaire de la Chaire de recherche industrielle du CRSNG en gestion des risques d'avalanche, School for Resource and Environmental Management, Université Simon Fraser.

Références

1. Avalanche Canada. (s.d.). Avalanche incident database. Consulté le 8 mai 2018 <http://old.avalanche.ca/cac/library/incident-report-database/view>
2. Bellaire, S., Jamieson, J. B., & Fierz, C. (2011). Forcing the snow-cover model SNOWPACK with forecasted weather data. The Cryosphere, 5, 1115-1125. doi:10.5194/tc-5-1115-2011
3. Côté, K., Madore, J.-B., & Langlois, A. (2017). Uncertainties in the SNOWPACK multilayer snow model for a Canadian avalanche context: sensitivity to climatic forcing data. Physical Geography, 38(2), 124-142. doi:10.1080/02723646.2016.1277935
4. Haegeli, P., Gunn, M., & Haider, W. (2012). Identifying a High-Risk Cohort in a Complex and Dynamic Risk Environment: Out-of-bounds Skiing--An Example from Avalanche Safety. Prevention Science, 13(6), 562-573.
5. Haegeli, P., Strong-Cvetich, L., & Haider, W. (2012). How mountain snowmobilers adjust their riding preferences in response to avalanche hazard information available at different stages of backcountry trips. Article présenté à l'« International Snow Science Workshop 2012 », Anchorage, AK. <http://arc.lib.montana.edu/snow-science/item/1650>
6. Horton, S., & Jamieson, J. B. (2016). Modelling hazardous surface hoar layers across western Canada with a coupled weather and snow cover model. Cold Regions Science and Technology, 128, 22-31. doi:10.1016/j.coldregions.2016.05.002
7. Public Safety Canada. (s.d.). Canadian Disaster Database [Base de données canadienne sur les catastrophes]. Consulté le 8 mai 2018. <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrcs/cndn-dsstr-dtbs/index-fr.aspx>



Figure 3 : Des filets pare-neige installés à Cougar Corner, 10 kilomètres à l'ouest du col Rogers (Photo Brian Gould, Alpine Solutions Avalanche Services)

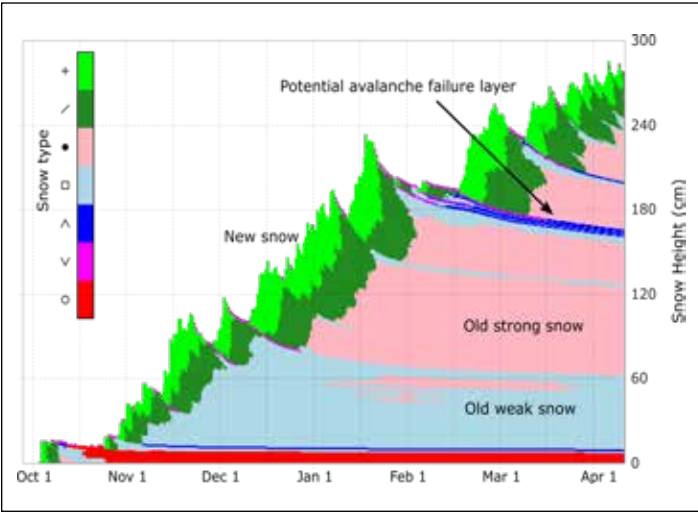


Figure 4 : Évolution simulée d'un manteau neigeux avec ses différentes couches et



Eric Higgs photographie le glacier Kaskawulsh à la réserve de parc national Kluane, Yukon, pour comparer la même image prise par James McArthur en 1900 pour la Commission de la frontière internationale.
Photo The Mountain Legacy Project, 2012

Le projet Mountain Legacy : 150 ans de transformation des paysages de l'Ouest

Mary Sanseverino et Eric Higgs

Établi à l'Université de Victoria dans son école des études environnementales (School of Environmental Studies), le projet Mountain Legacy (MLP; mountainlegacy.ca) utilise la photographie séquentielle depuis 20 ans pour évaluer les changements du paysage des montagnes de l'Ouest canadien. S'aidant d'images historiques remarquablement fidèles, les équipes du projet cherchent à repérer les lieux où elles ont été prises, et reprennent le décor en photo le plus exactement possible. Les images historiques et modernes sont ensuite alignées et analysées, employées à des fins de recherche, et rendues accessibles aux chercheurs, aux étudiants, aux agences gouvernementales et au grand public — à quiconque s'intéresse aux montagnes canadiennes.

Travaillant de concert avec Bibliothèque et Archives Canada / Library and Archives Canada (BAC/LAC), les bibliothèques de l'Université de Victoria, le Réseau canadien des montagnes et d'autres organismes, les chercheurs du MLP espèrent comprendre comment et pourquoi les écosystèmes, les paysages et les collectivités de montagne se transforment sur la durée. Le projet

obtient une part importante de son financement et de son implication du Ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Alberta et du Conseil de recherches en sciences humaines.

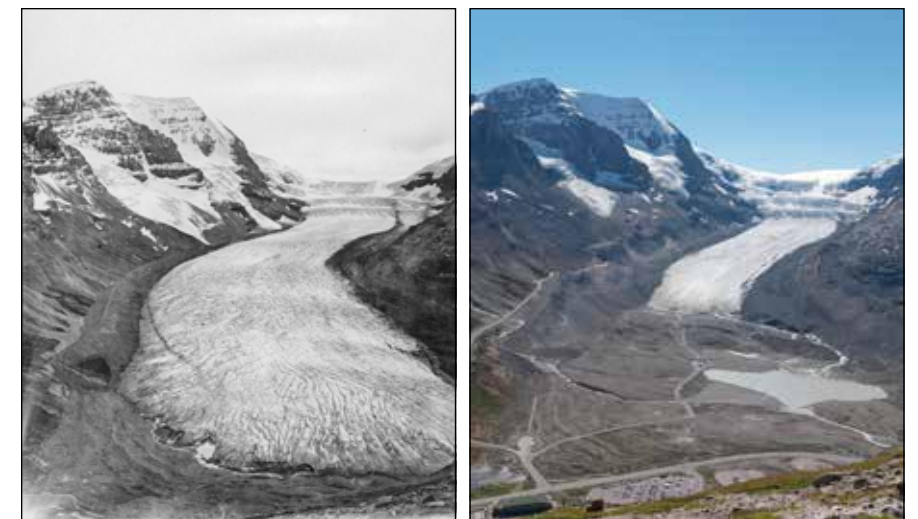
Avec sa collection de quelque 120,000 photographies historiques, dont presque toutes sont des négatifs sur plaques de verre, le Canada abrite la

plus vaste collection au monde d'images historiques de montagne prises systématiquement. La plupart des chaînes en Colombie-Britannique, en Alberta, et au Yukon disposent d'une couverture exhaustive. Les plus anciennes photographies remontent à 1861 et proviennent de l'étude de la Commission de la frontière internationale le long du 49° parallèle. Mais leur vaste majorité provient de démarches en cartographie topographique effectuées entre 1888 et les années 1950. La plupart des images sont conservées à Bibliothèque et Archives Canada à Gatineau (Québec), aux B.C. Archives de Victoria et au musée Whyte de Banff.

En date de 2017, les équipes du MLP ont répété plus de 7,000 de ces photographies historiques. Ces paires d'images, ainsi que des milliers d'images historiques non encore reprises, se trouvent en ligne et accessibles à la recherche sur explore.mountainlegacy.ca. Depuis la mise en œuvre du projet, les chercheurs ont perfectionné leurs techniques d'acquisition de photographies reprises, afin de conserver et d'analyser les paires d'images et publier les résultats.

Le MLP a éclairé plusieurs projets de recherche au fil des ans, si bien que la sélection de quelques motifs seulement sur les changements du paysage n'est pas une tâche facile. Les paires d'images suivantes donnent toutefois à observer des changements évidents :

1. **La perte de glace.** La figure 1 montre le glacier Athabasca. La perte de glace entre l'image d'A.O. Wheeler de 1917 et celle du MLP de 2011 est saisissante. La figure 2 s'inspire des mêmes images après l'application du processus analytique de l'outil d'analyse du MLP (Image Analysis Toolkit), conçu afin de visualiser et quantifier le contenu des images et leurs différences à des fins de recherche .
2. **Progression de la limite forestière dans l'écotone alpin.** La figure 3, de l'est de la chaîne de montagnes Highwood au sud de l'Alberta montre la progression ascendante de la limite des arbres. Des recherches du MLP ont relevé plusieurs questions sur le fonctionnement de cette progression et les changements qu'elle entraîne dans les écosystèmes alpins .
3. **Remplissage et empiètement de la végétation** — spécialement des conifères. La forêt de la figure 4 entoure le lac Magog et le massif du mont Assiniboine. La forêt, beaucoup plus fournie en 2017, constitue un risque d'incendie dans un monde en réchauffement.



Le glacier Athabasca depuis Wilcox Pass, P.N. Jasper, Alberta.
Historic B&W: 1917, A.O. Wheeler, Interprovincial Boundary Survey.
N&B historique : 1917, A.O. Wheeler, Commission de la frontière internationale.
Image récente & coul. : 2011, Mountain Legacy Project

Figure 1 : Un recul dramatique de la glace de glacier.

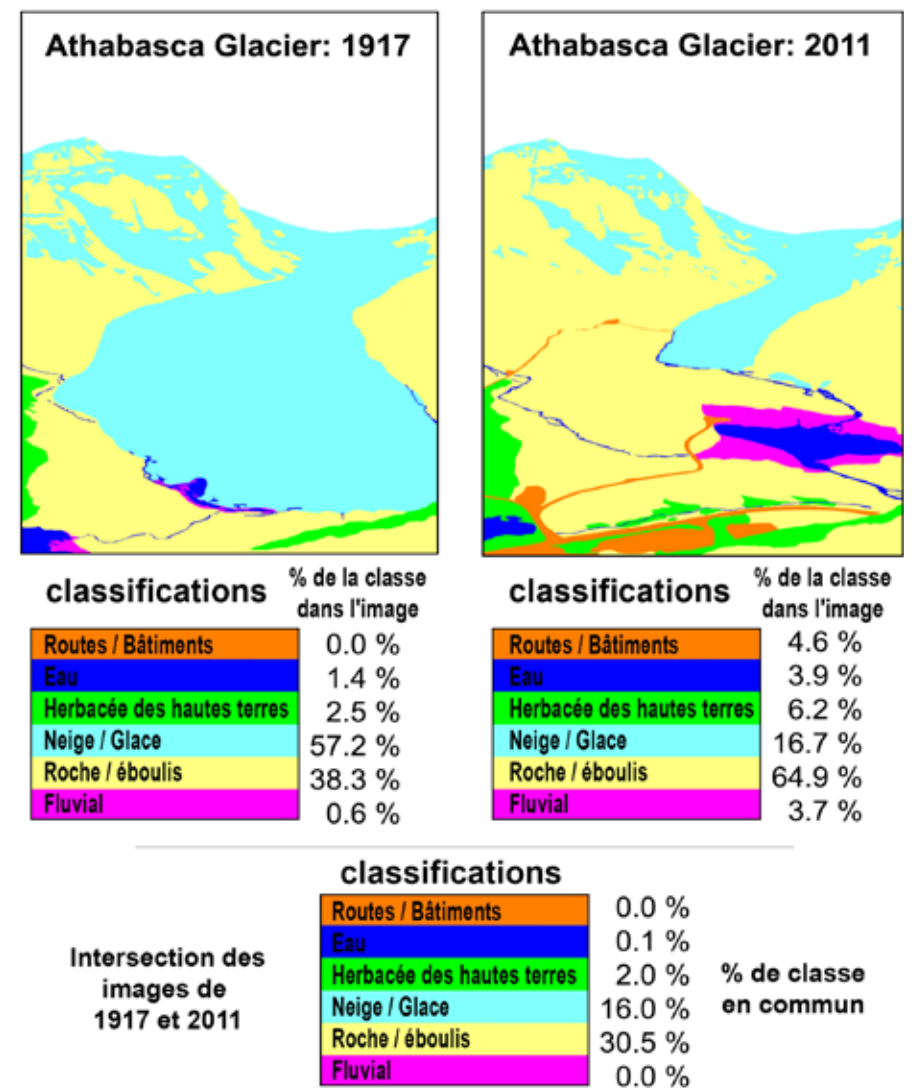


Figure 2 : Segmentation de l'image historique et de l'image actuelle en catégories de classification, qui se voient attribuer un pourcentage mesurant l'espace qu'elles occupent dans chaque image. L'intersection des catégories entre les images (tableau inférieur) indique le pourcentage de ce qui est resté inchangé au cours des 94 ans qui les séparent. Ainsi, 16 % de la catégorie « neige et glace » de l'image de 2011 se trouve au même endroit que dans la photo de 1917.



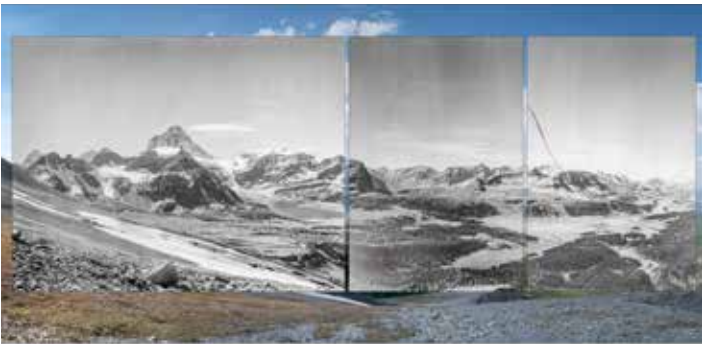
La rivière Bull vers l'ouest dans la chaîne Highwood du sud-ouest de l'Alberta.
N&B historique : 1916, D. Nichols, arpenteur.
Image récente & coul. : 2012, Mountain Legacy Project.

Figure 3 : La transformation de la limite des arbres de 1916 à 2012 saute aux yeux.



Vers le sud depuis la crête King Creek Ridge au Kananaskis Country, Alberta.
N&B historique : 1916, D. Nichols, arpenteur.
Image récente & coul. : 2012, Mountain Legacy Project.

Figure 5 : Noter comment le feu a brûlé les flancs est et ouest (à gauche et à droite) au centre de l'image, mais a « sauté » le sommet de la crête.



Vue vers l'ouest à partir de l'épaule du mont Cautley vers le massif du mont Assiniboine, Parc provincial du mont Assiniboine, Colombie-Britannique.
N&B historique : 1916, A.O. Wheeler, Interprovincial Boundary Survey.
Image récente & coul. : 2017, Mountain Legacy Project.

Figure 4 : L'image récente fait remarquer l'augmentation de la densité des arbres.

4. **Preuves d'incendies dans le paysage.** La figure 5, de la crête King Creek Ridge au Kananaskis Country, Alberta, montre comment le feu — sans doute de la grande saison des feux de 1910 — s'est déplacé sur la crête.

Le projet Mountain Legacy continue d'évoluer pour réfléchir à de nouvelles questions et refléter les intérêts qui préoccupent la communauté des chercheurs et de tous ceux qui s'intéressent aux montagnes. Nous sommes impatients de lancer de nouveaux projets et partenariats qui feront usage de ces collections uniques au monde.

Mary Sanseverino est associée de recherche au Mountain Legacy Project.

Eric Higgs est professeur titulaire à la School of Environmental Studies de l'Université de Victoria.

Références

1. Toutes les images historiques sont fournies gracieusement par Bibliothèques et Archives nationales Canada et le MLP. Toutes les images récentes sont une gracieuseté du MLP.
2. Pour un aperçu de l'outil de visualisation, consulter : Sanseverino, M. E., Whitney, M. J., & Higgs, E. S. (2016). Exploring Landscape Change in Mountain Environments with the Mountain Legacy Online Image Analysis Toolkit. Mountain Research and Development, 36(4). <http://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00038.1>.
3. Pour une analyse détaillée, consulter : Roush, W. M. (2009). A Substantial Upward Shift of the Alpine Treeline Ecotone in the Southern Canadian Rocky Mountains. University of Victoria. Extrait de <https://dspace.library.uvic.ca/handle/1828/2031>



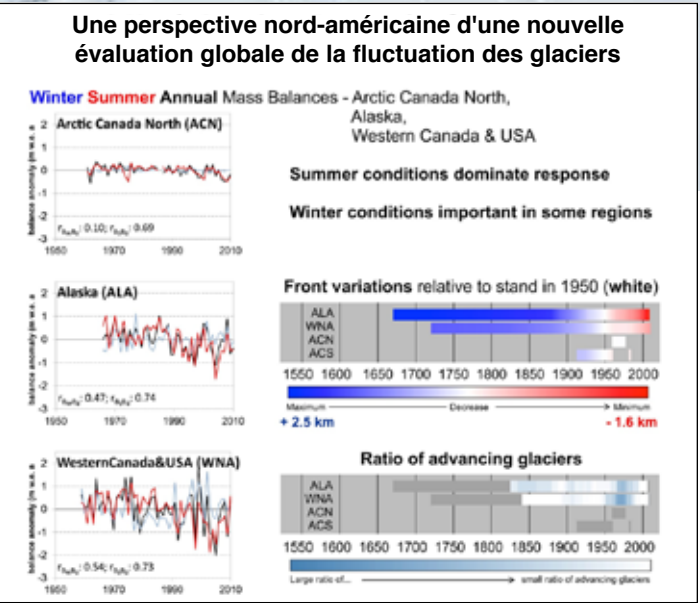
Glaciers

Mike Demuth

La couverture de glacier actuelle du Canada se trouve presque exclusivement dans des environnements de montagne tempérés et arctiques. À part les inlandis de l'Antarctique et du Groenland, le Canada a plus de couvertures de glaciers — environ 200,000 kilomètres carrés — dont un bon quart se trouve dans les systèmes montagneux de l'Ouest (incluant l'île de Vancouver), et le reste dans l'archipel Arctique.¹ De petits glaciers se trouvent aussi dans le nord du Labrador.

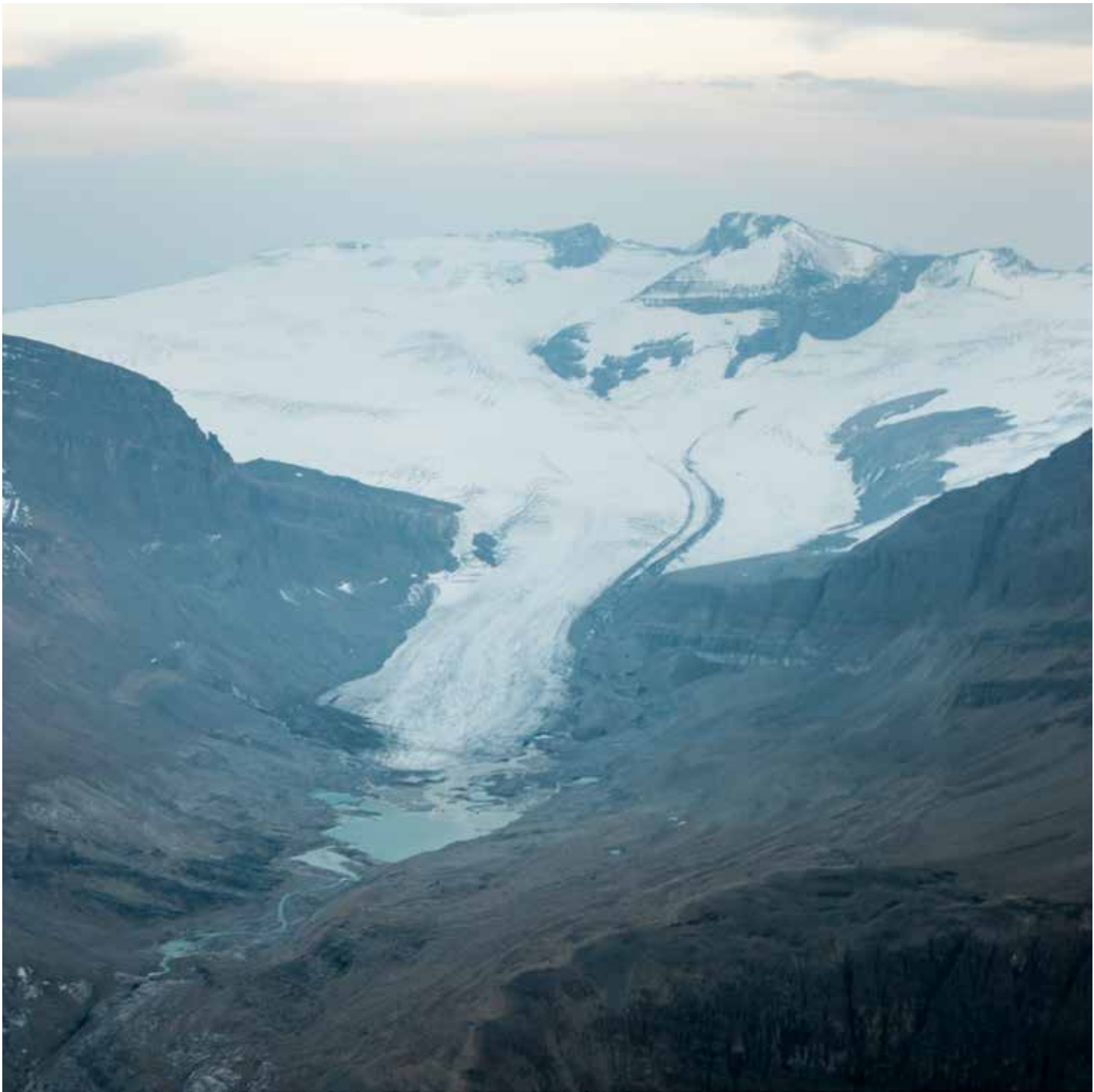
L'analyse et l'observation professionnelle des fluctuations des glaciers se préoccupent habituellement du changement de la masse des glaciers parce que ces changements saisonniers et annuels découlent directement des changements en précipitations, en température et en nébulosité — en bref, de l'atmosphère et du climat. Cependant, tout observateur un tant soit peu attentif remarquera aisément des changements en dimension et en étendue après l'opération longue et complexe du réajustement dynamique aux changements de masse; si ces observations se poursuivent sur des intervalles assez longs pour en filtrer l'effet de cette dynamique, ces changements de masse se révèlent aussi d'excellents indicateurs des effets cumulatifs du changement climatique.

Une étude décisive et récente examinant la fluctuation de glaciers de référence autour du globe conclut en partie que « les taux de perte de masse de ce début de siècle sont sans précédent à l'échelle mondiale, du moins pour la période observée [plus d'un siècle] et sans doute pour toute son histoire documentée, comme l'indiquent les reconstructions fondées sur des documents écrits



- observations cumulatives annuelles des variations du front :
 - bleu foncé : étendues maximales (+2,5 km)
 - rouge foncé : étendues minimales (-1,6 km)
 - toutes relatives à l'étendue de 1950 comme référence commune (soit : 0 km en blanc)
- ratio des glaciers en progression :
 - blanc pour les années sans progressions signalées
 - bleu foncé pour les années avec un ratio important de glaciers en progression
 - les périodes pauvres en échantillons de données sont dissimulées en gris foncé
 - les chiffres sont basés sur toutes les observations et reconstructions de variations disponibles, à l'exception des variations annuelles absolues supérieures à 210 m/an, pour réduire l'impression de vêlage ou d'affluence de glaciers

Figure 1 : volet gauche : bilans massiques saisonniers et annuels des glaciers de référence observés en Amérique du Nord avec des coefficients de corrélation de Pearson indiquant le rôle relatif des conditions d'hiver opposées aux conditions d'été. Volet droit : résumé des variations de front glaciaires relativement à leur situation en 1950 et ratio des glaciers en progression versus les glaciers en retraite. Les variations supérieures à 210 m/an sont exclues pour réduire l'effet des glaciers en vêlage ou en affluence. D'après Zemp et les correspondants nationaux du Service de surveillance mondial des glaciers, 2015 [réf. 2].



Comme pour la majorité des glaciers de la planète, le glacier Peyto du parc national Banff a reculé rapidement, surtout depuis la seconde moitié du 20^e siècle, et aurait perdu 70 p. cent de sa masse depuis que les premières mesures en ont été faites. Photo Ian Holmes

ou illustrés. Cet important déséquilibre négatif suggère que dans plusieurs régions, les glaciers continueront fort probablement de reculer, même si le climat demeure stable ». ² Plusieurs glaciers du Canada font partie de cet effort international. De nombreuses analyses de sites et de régions confirment que les glaciers canadiens ont un bilan de masse négatif et hors d'équilibre qui entretiendra de manière générale une décroissance sans précédent et que les conditions de l'hiver comme de l'été contribuent à des réponses précises (figure 1). ^{3,4,5,6} Il existe aussi des preuves que la variabilité d'année en année augmente dans

certaines régions.⁷ Par exemple, au cours d'une décennie entière (2007-2017), plusieurs glaciers de l'ouest du Canada ont connu, une année, des gains de masse record, puis des pertes de masse record quelques années après et en 2017 particulièrement, plusieurs glaciers et champs de glace ont perdu tout ou presque tout le névé accumulé dans leurs parties supérieures — et aucune glace nouvelle n'a été produite.

Les glaciers influencent une grande variété de phénomènes naturels et d'attributs historiques des montagnes.⁸ Leurs réserves d'eau et de

« services aquatiques » en premier lieu, surtout quand d'autres sources d'eau saisonnières sont en déclin (fonte de la neige) ou absentes. L'écoulement des glaciers et les conditions hydrauliques souvent rigoureuses qu'elle promeut portent assistance au développement et l'entretien de l'habitat de nombreuses espèces aquatiques adaptées aux eaux froides et turbulentes.⁹ Les glaciers fournissent des couloirs de déplacement à la faune, liant de manière saisonnière des régions prisées pour leurs conditions de climat et d'habitat avantageuses. Aux humains, les glaciers apportent des angles d'observation, un terrain d'expédition alpine, ainsi qu'un entrelacs de couloirs de ski et de randonnée de haut niveau.

Le déclin des glaciers — en comparaison avec la variabilité de l'holocène — autant en termes de masse et d'épaisseur que d'étendue, est un indicateur majeur du changement climatique, avec des

impacts de grande portée.¹ Dans les Rocheuses par exemple, des considérations sur les ressources en eau et l'intégrité de l'écosystème doivent composer avec la perte de l'« eau en bonus » du petit âge glaciaire et qui aurait laissé croire à une grande abondance d'eau pendant le début du 20^e siècle.^{4,8,9,10,11} Pendant ce temps dans l'archipel Arctique canadien, des pertes de masse récentes ont davantage contribué à la montée du niveau de la mer que ce qu'on attribue au gaspillage de l'inlandsis du Groenland à la même période.¹²

En référence à de récentes modélisations qui prévoient pour la fin de ce siècle une contraction des glaciers dans l'Ouest canadien qui donne à réfléchir, il est noté que « Les montagnes sont des monuments à la mémoire de ce que l'eau sait produire. » ^{13,14}

Mike Demuth est chercheur au Centre de recherche en hydrologie de l'Université de Saskatchewan.

Références

- Demuth, M.N., 2012. Becoming Water - Glaciers in a Warming World. A Rocky Mountain Books Manifesto. 135 p. ISBN 9781926855721
- Zemp, M. et 37 autres*, 2015. Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. Journal of Glaciology 61(228):745-761 doi: 10.3189/2015jgl151017 (*World Glacier Monitoring Service)
- Demuth, M.N., V. Pinard, A. Pietroniro, B.H. Luckman, C. Hopkinson, P. Dornes, et L. Comeau, 2008. Recent and past-century variations in the glacier resources of the Canadian Rocky Mountains–Nelson River system. Terra Glacialis, Special Issue: Mountain Glaciers and Climate Changes of the Last Century, L. Bonardi (Ed). p.27–52.
- Marshall, S.J., E.C. White, M.N. Demuth, T. Bolch, R. Wheate, B. Menounos, M.J. Beedle et J.M. Shea, 2013. Glacier water resources on the eastern slopes of the Canadian Rocky Mountains. Canadian Water Resources Journal 36(2):109-134. DOI:10.4296/cwrj3602823
- Tenant, C., B. Menounos, R. Wheate et J.J. Clague, 2012. Area change of glaciers in the Canadian Rocky Mountains, 1919 to 2006. The Cryosphere 6:1541-1552. https://doi.org/10.5194/tc-6-1541-2012
- Gardner, A.S., G. Moholdt, B. Wouters, G.J. Wolken, D.O. Burgess, M. J. Sharp, J. G. Cogley, C. Braun et C. Labine, 2011. Sharply increased mass loss from glaciers and ice caps in the Canadian Arctic Archipelago. Nature. Published online April 20, 2011. doi:10.1038/nature10089
- Demuth, M.N. and G. Horne, 2017. Decadal-century glacier mass changes and their variability, Jasper National Park of Canada, Alberta, including the Columbia Icefield region; Geological Survey of Canada, Open File 8229, 32 p. https://doi.org/10.4095/304236
- Demuth, M.N. et M. Ednie, 2016. A glacier condition and threshold rubric for use in assessing protected area / ecosystem functioning; Geological Survey of Canada, Open File 8031, 53 p. https://doi.org/10.4095/297892
- Petts, G.E., A.M. Gurnell, et A.M. Milner, 2006. Ecohydrology: New opportunities for research on glacier fed rivers. In - Peyto Glacier: One Century of Science, M.N. Demuth, D.S. Munro, and G.J. Young (Eds). NHRI Science Report Series 8, Environment Canada, National Hydrology Research Institute, Saskatoon, Saskatchewan, p.255–275. ISBN 0660176831
- Communication personnelle, 1997. Robert Halliday, Director, National Hydrology Research Institute - on the significance of 20th century glacier mass loss in the eastern slopes of the Canadian Rocky Mountains.
- Sauchyn, D., M.N. Demuth et A. Pietroniro, 2009. Upland Watershed Management and Global Change–Canada's Rocky Mountains and Western Plains. Chapter 3 in - Part I Mountain and Upland Areas, Managing Water Resources in a Time of Global Change - Contributions from the Rosenberg International Forum on Water Policy. A. Garrido and A. Dinar (Eds). Routledge. 228 p. ISBN 9780415777780
- van Wychen, W., D.O. Burgess, L. Gray, L. Copland, M. Sharp, J.A. Dowdeswell, et T.J. Benham, 2013. Glacier velocities and calving lux from the Queen Elizabeth Islands, Nunavut Canada. Geophysical Research Letters 41: 484-490. DOI:10.1002/2013GL058558 Cont. # 20130293.
- Clarke, G.K.C., A.H. Jarosch, F.S. Anslow, V. Radic et B. Menounos, 2015. Projected deglaciation of western Canada in the twenty-first century. Nature Geoscience 8:372–377. doi:10.1038/ngeo2407
- Sandford, R.W., 2017. Our Vanishing Glaciers - The Snows of Yesteryear and the Future Climate of the Mountain West. Rocky Mountain Books. 223 p. ISBN 978-1-77160-202-0



Archiver la glace canadienne

Le Canada, fier participant au Programme
2017/18 de forage profond en
Antarctique sur la terre Guillaume-II.
Photo Alison Criscitiello.

**Une importante
collection de carottes
glaciaires, d'une
longueur totale d'environ
1,5 km, en a résulté;
certains échantillons
comprennent de la
glace formée pendant la
dernière glaciation, il y a
plus de 20,000 ans.**

Martin Sharp et Alison Criscitiello

Une quantité élevée d'échantillons (ou « carottes ») glaciaires a été prélevée des glaciers et calottes glaciaires des îles arctiques canadiennes et du mont Logan depuis le forage de la première carotte par des chercheurs de l'Étude du plateau continental polaire de la calotte glaciaire de Meighen en 1965. Hélas, cette calotte glaciaire est sur le point de disparaître en raison des rythmes de fonte élevés de ces dernières décennies. Plus récemment, des chercheurs de la Commission géologique du Canada (CGC) ont effectué des prélèvements, parfois avec la participation de collaborateurs venus d'universités canadiennes ou d'ailleurs. Une importante collection de carottes glaciaires, d'une longueur totale d'environ 1,5 km, en a résulté; certains échantillons contiennent de la glace formée pendant la dernière glaciation, il y a plus de 20,000 ans. Les sites échantillonnés incluent les calottes glaciaires d'Agassiz et de l'île Devon, le champ de glace du Prince de Galles sur l'île Ellesmere, le mont Logan au Yukon, et le Penny Ice Cap de l'île de Baffin, dernier vestige de l'inlandsis laurentien.

La CGC a récemment transféré la propriété de sa collection et de ses appareils de prélèvement et d'analyse à l'Université de l'Alberta (UA). Le déménagement a eu lieu en janvier 2017. Pour héberger et assurer la gestion de la collection ainsi que faciliter les efforts de recherche, un nouvel entrepôt et un laboratoire d'analyse, la

Canadian Ice Core Archive (CICA) a été construite sur le Campus nord de l'UA, grâce au financement de la Fondation canadienne pour l'innovation et le Gouvernement de l'Alberta. L'installation comprend un entrepôt frigorifique de -40 degrés Celsius pour la conservation des carottes, une chambre froide de -20 degrés

pour l'imagerie et le traitement préalables à l'analyse des carottes, et un laboratoire d'analyse à température ambiante. Les laboratoires partenaires de la CICA sur le campus permettront une variété d'analyses chimiques et biologiques des échantillons : par exemple, sur les variations et changements historiques du climat, les dépôts de particules atmosphériques (poussière et cendre volcanique), l'histoire des contaminants organiques et inorganiques (c.-à-d. noir de carbone, métaux lourds et composés organochlorés), ainsi que la microbiologie et la biogéochimie de la glace de glacier.

La CICA se veut un établissement national accessible à tous les chercheurs qualifiés qui s'intéressent à la science des matériaux qui composent la collection. Cette dernière hébergera aussi les archives numériques de toutes les informations disponibles sur les carottes qu'elle contient, incluant la description et les images linéaires de chaque fragment, et le résultat de toutes les analyses effectuées. La gestion de la collection pourra ainsi éviter le redoublement des tâches et favoriser le partage de



l'information. Le CICA est administré par sa directrice technique, la Dre Alison Criscitiello, et son directeur scientifique, le Dr Martin Sharp.

L'un des objectifs de la CICA vise de nouvelles activités de prélèvement qui nous permettront d'élargir la collection et de nous engager dans des activités internationales. Ainsi, durant l'hiver

Forage de carottes de glace.
Photo Alison Criscitiello.

Photo Martin Sharp



Un objectif de la CICA sera de faire de nouveaux prélèvements qui nous permettront d'élargir la collection de carottes glaciaires et de nous engager dans des activités internationales.

Alison Criscitiello et son équipe australo-danoise forent à 300m en Antarctique Est le jour de Noël 2017

2017-18, Alison Criscitiello sera foreuse dans un projet australien visant à recueillir des carottes de glace profonde dans le secteur antarctique — rarement visité — de l’océan Indien, et devrait se joindre par la suite à des collègues de l’Université du Maine pour effectuer de nouveaux carottages au mont Logan. De nouveaux prélèvements, avec des collègues américains et britanniques, sur l’île d’Ellesmere, sont en cours de discussion, ainsi que d’éventuels prélèvements dans les Rocheuses Canadiennes pour le compte du projet international Ice Legacy pour sauvegarder la mémoire de la glace, dirigé par l’Université de Grenoble (France) et visant à collectionner des paires de carottes glaciaires sur des glaciers susceptibles de disparaître autour du monde dans un avenir proche. Dirigés par Alison Criscitiello, des carottages peu profonds effectués sur quatre calottes glaciaires dans l’archipel arctique canadien ces

trois dernières années devraient jeter les bases de travaux à effectuer en profondeur dans ces régions peu étudiées. Nous espérons qu’il sera possible d’engager la communauté alpine dans un effort à échantillonner manuellement les versants glacés d’emplacements tels que Snow Dome, où une mémoire abondante de neige et de glace accumulée s’offre à l’analyse de problèmes tels que la libération, par la fonte des glaciers, de contaminants dans les cours des principaux fleuves qui trouvent leur source dans les glaciers et les champs de glace.

Martin Sharp est professeur titulaire au Département des sciences de la terre et de l’atmosphère de l’Université de l’Alberta, où il dirige la Canadian Ice Core Archive.

Alison Criscitiello est la directrice technique de la Canadian Ice Core Archive à l’Université de l’Alberta.



La conservation des ongulés de montagne au Canada

Chèvres de montagne au parc national Jasper. Photo Jeff Bartlett

Marco Festa-Bianchet

Il y a trois espèces d’ongulés de montagne au Canada : le mouflon d’Amérique (*Ovis canadensis*), le mouflon de Dall (*Ovis dalli*) et la chèvre de montagne (*Oreamnos americanus*). Le mouflon de Dall comprend deux sous-espèces : le mouflon de Dall (sous-espèce) et le mouflon de Stone. Le mouflon de Dall est blanc et couvre un arc allant de l’extrême nord-ouest de la Colombie-Britannique, à travers le Yukon nordique et dans les Territoires du Nord-Ouest. Le mouflon de Stone est plus foncé et se trouve surtout dans le nord de la Colombie-Britannique, et présente un gradient de coloration dans les montagnes au centre du Yukon. Les mouflons d’Amérique se trouvent dans les Rocheuses de l’Alberta et de la C.-B. et les montagnes du centre-sud de cette province. Les chèvres de montagne se trouvent dans la plupart des montagnes de l’ouest du Canada.

La plus grande menace du mouflon d’Amérique est la pneumonie.

Les trois espèces occupent l’essentiel de leur zone de répartition historique au Canada. Quelques populations locales de mouflons d’Amérique ont disparu dans la C.-B.. centrale et dans la partie extrême sud de la répartition des chèvres de montagne tant en C.-B. qu’en Alberta. Quelques réintroductions de mouflons d’Amérique et de chèvres de montagne ont eu lieu au Canada, et les populations canadiennes ont été à la source de plusieurs introductions et réintroductions aux États-Unis, particulièrement pour l’écotype « intérieur » du mouflon d’Amérique. Les trois espèces sont exposées à la chasse hors des zones protégées de leurs répartitions, et constituent

dans certaines régions une source de nourriture et d’objets rituels pour les Premières nations.

La plus grande menace du mouflon d’Amérique est la pneumonie, probablement causée par le *Mycoplasma ovipneumoniae* transmis par le bétail domestique, spécialement les moutons, mais aussi les chèvres et possiblement les bovins. La mortalité peut surpasser les 80 p.cent et à ces dépérissements de tous âges succèdent typiquement des années où la survie des agneaux, contaminés par les adultes survivants, est très faible. Au Canada, les pâturages de moutons domestiques dans les zones de répartition du



Mouflon canadien, Rocheuses canadiennes. Photo Travel Alberta

mouflon d'Amérique ont été limités, à l'exception, principalement, du centre de la Colombie-Britannique, où le contact avec moutons domestiques reste préoccupant malgré les efforts fructueux des gouvernements et des organismes locaux pour l'empêcher. L'emploi des chèvres comme bêtes de somme fait également craindre la maladie. Il n'y a pas d'historique de mortalités massives chez le mouflon de Dall, néanmoins fort vulnérable à la pneumonie. Toute tentative d'élever des moutons domestiques dans son aire de répartition devrait se voir comme une grave menace pour l'espèce. Curieux, les mouflons sauvages examineront les moutons domestiques, augmentant les risques de contagion. Comme le vagabondage des béliers des deux espèces peut

couvrir de larges espaces et parfois s'éloigner de leur aire habituelle de répartition, l'établissement de vastes zones tampons qui excluraient les moutons domestiques est indispensable à la conservation du mouton des montagnes. Parce qu'elle est moins susceptible d'entrer en contact avec le bétail domestique, la chèvre de montagne ne semble pas aussi vulnérable aux maladies exotiques.

La perte et la fragmentation d'habitat présentent une autre menace, particulièrement due à la construction d'obstacles comme des réservoirs, des axes routiers, des clôtures et autres développements humains qui empêchent les échanges démographiques et génétiques entre les hardes. Le problème est de taille, car beaucoup d'ongulés



Agneau mouflon bébé en Alberta. Photo Philipp Haupt.

de montagne vivent en petites populations qui seraient vulnérables à la consanguinité sans le vagabondage des mâles, prêts à parcourir des dizaines de kilomètres pour se trouver des partenaires et ainsi cultiver les échanges génétiques. La perte d'habitat peut être également liée au réchauffement climatique, surtout avec l'empiètement de la forêt sur la toundra alpine et d'autres terrains ouverts et gazonnés qui servent de fourrage aux chèvres et aux moutons de montagne. Le brûlage dirigé s'est révélé un outil très utile et fréquent contre cette menace.

Les trois espèces sont sujettes à la chasse sportive. Les chèvres de montagne ne peuvent tolérer plus de deux p.cent de pertes, sans doute en raison de l'âge tardif de leur primiparité et de la difficulté à différencier les sexes. La récolte de la chasse peut comprendre 30 à 60 p. cent de femelles. De meilleurs programmes d'entraînement pourraient réduire ce pourcentage. La chasse aux chèvres de montagne en Alberta et l'essentiel de la C.-B. se base sur des quotas et s'avère généralement durable. Très peu d'animaux sont capturés dans les territoires. L'exploitation de la chèvre de montagne, réglementée comme espèce à chasse au trophée, se base dans l'essentiel de sa répartition sur des règlements qui déterminent la « légalité »

des béliers par un seuil minimum de courbe des cornes, sans quota pour les résidents provinciaux ou territoriaux. Il y a des quotas pour les chasseurs extérieurs, qui paient des pourvoyeurs jusqu'à 30,000 \$ pour une chasse. La quantité illimitée de permis délivrés aux chasseurs résidents exerce une pression sélective et artificielle sur les béliers dont les cornes poussent rapidement. L'étude approfondie d'une population en Alberta y a démontré un déclin génétique dans la taille des cornes. La littérature scientifique a rapporté des déclins similaires, coïncidant avec l'évolution artificielle de cornes plus petites due à la chasse au trophée intensive, chez le mouflon d'Amérique en Alberta et en Colombie-Britannique centrale, et chez le mouflon de Stone dans le nord de la C.-B. Raccourcir la saison de la chasse et abaisser la pression de la récolte pourraient remédier à ces effets indésirables de la chasse sélective, et permettraient aux béliers des populations non sélectionnées dans les parcs nationaux de se déplacer en période de rut dans les zones de chasse et noyer l'effet sélectif de la chasse. À l'heure actuelle, les saisons de chasse qui durent jusqu'en octobre permettent aux chasseurs de tuer une proportion inconnue de béliers qui s'éloignent des parcs nationaux en quête d'occasions de se reproduire.

Une autre menace est la perte et la fragmentation d'habitat, spécialement due à la construction d'obstacles comme des réservoirs, des axes routiers, des clôtures et autres développements humains



L'état des oiseaux de montagne du Canada

Mésangeai du Canada.
Photo Nick Parayko

Lagopède à queue blanche dans la chaîne
Purcell, Colombie-Britannique.
Photo Zoltan Kenwell.



Kathy Martin

Il est reconnu que les habitats en montagne sont importants à longueur d'année pour plusieurs oiseaux du Canada, mais cinq espèces seulement, dont le lagopède à queue blanche et le roselin à tête grise, passent pour des spécialistes alpins qui ne se reproduisent qu'en haute montagne. On compte toutefois plus de 55 espèces qui sont des généralistes qui se manifestent dans les hautes comme dans les basses altitudes (comme le bruant des prés ou le pluvier bronzé). Notre mesure de la population de la plupart des oiseaux qui se reproduisent dans les montagnes canadiennes est limitée, mais il y a des preuves que la montagne fournit aux oiseaux des habitats de haute qualité pour la migration et la reproduction et que ce rôle prend davantage d'importance devant la perte croissante des habitats de plus basse altitude. Par exemple, les habitats en montagne soutiennent des populations stables d'espèces généralistes comme l'alouette hausse-col, qui accuse un déclin rapide dans les plus basses altitudes en Amérique du Nord.

Les oiseaux qui se reproduisent dans les habitats de montagne subissent des fluctuations spectaculaires de température et de précipitations, mais doivent pourtant maintenir pour leurs petits le même environnement chaud et abrité que les oiseaux se reproduisant à basse altitude. Chaque année, les oiseaux chanteurs alpins ont deux fois moins de temps pour se reproduire et produisent une progéniture deux fois moins nombreuse que celle de leur espèce à de plus basses altitudes. La croissance des oisillons est plus lente; les deux à quatre jours supplémentaires passés dans le nid les exposent davantage à la prédation. Mais la reproduction en altitude a aussi ses avantages : certaines populations d'oiseaux chanteurs et de gélinottes affichent un taux annuel de survie des adultes de 10 à 20 p. cent plus élevé en haute altitude qu'à

basse altitude, ce qui contrebalance d'autres inconvénients de leur habitat. Les oiseaux en haute montagne ont peut-être basculé vers un cycle de vie où la période de l'accouplement est plus courte et la croissance des petits plus longue, mais leur taux de survie supérieur leur permet de garder des populations stables.

C'est en automne que la biodiversité aviaire est la plus élevée en habitat montagneux, où plusieurs oiseaux arrivent et cherchent la nourriture qui donnera des forces pour leur long trajet migratoire. Le recensement automnal (d'août à octobre) des habitats de montagne indique qu'une variété de plus de 100 espèces d'oiseaux en plus de 30 familles utilisent les habitats montagneux forestiers, subalpins et alpins en Colombie-Britannique. Aux

oiseaux qui se reproduisent en haute altitude s'ajoutent les sauvagines et oiseaux de rivage issus des habitats nordiques, ainsi que les oiseaux chanteurs des forêts et de la campagne. Un véritable réseau alimentaire s'élève alors que de nombreux oiseaux s'en vont profiter de l'abondance d'insectes, de fleurs et de fruits disponibles en hauteur pour se nourrir, les prédateurs mammaliens et aviaires en quête de proies à leur suite. Fin août, les premiers arrivés sont généralement des migrants de longue distance en route vers l'Amérique du Sud, quand la plupart de ceux qui arrivent plus tard sont des migrants de courte distance qui passeront l'hiver en Amérique du Nord. Des oiseaux résidents qui se reproduisent et passent l'hiver dans les vallées locales comme la sittelle ou le pic montent jusqu'à la limite des arbres ou plus pour plusieurs semaines. S'arrêter en montagne profite à ces migrants; les oiseaux chanteurs engraisseront plus rapidement dans des habitats plus élevés que ceux qui se ravitaillent à plus basse altitude.

Les habitats alpins subissent maintenant d'importantes augmentations de température et des pertes dues à des conditions climatiques extrêmes, mais il est difficile d'en prévoir les conséquences sur les oiseaux, car il y a peu d'information sur l'étendue et la nature de l'utilisation des régions alpines par la faune aviaire. Concernant la capacité de résister aux variations du climat, les oiseaux chanteurs alpins traversent bien les événements climatiques habituels de la montagne, mais les tempêtes plus froides et de plusieurs jours réduisent les chances de succès de la nidification. Les habitats de montagne sont des paysages naturellement fragmentés fonctionnant comme des « îles de ciel » : les lagopèdes alpins préservent à ce jour des populations viables et génétiquement variées malgré une faible densité de population, mais des estimations montrent que les habitats propices à cette espèce dans les montagnes côtières de la C.-B. diminueront de 50 à 80 p. cent d'ici 2080. Aussi les changements climatiques diminueront encore davantage la connectivité de ces habitats déjà fragmentés.

Les habitats de montagne servent de refuges de biodiversité aux oiseaux tant durant la période de migration que de reproduction. Environ 35 p. cent des espèces d'oiseaux nicheurs au Canada font une escale migratoire dans les hautes montagnes ou moins trois mois dans l'année, une durée équivalente à la saison de reproduction chez la plupart des espèces. Un quart des espèces utilisant nos montagnes font partie des listes nationales ou continentales d'espèces dont la conservation



Casse-noix d'Amérique au lac Moraine,
parc national Banff.
Photo Gunnsteinn Jonsson.

est préoccupante, comme la grive de Bicknell, le colibri roux et la sturnelle de l'Ouest. Nous avons beaucoup à apprendre sur les mécanismes d'adaptation et les facteurs favorables que les oiseaux emploient pour vivre dans les montagnes, et sur les facteurs écologiques et environnementaux qui leur posent les plus grandes difficultés. Puisque des perturbations anthropiques menacent nos habitats de montagne à l'échelle locale, régionale et mondiale, il est essentiel de déterminer les vulnérabilités des oiseaux de montagne aux changements environnementaux afin de pouvoir gérer leur persistance et adopter des mesures de conservation efficaces.

Kathy Martin est professeure titulaire en écologie de la faune au Département des sciences forestières et de la conservation de l'Université de la Colombie-Britannique.

Références

- Boyle, W.A., et K. Martin. 2015. The conservation value of high elevation habitats to North American migrant birds. *Biological Conservation*, 192: 461-476. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2015.10.008>.
- Boyle, W.A., B.K. Sandercock, K. Martin. 2016. Patterns and drivers of intraspecific variation in avian life history along elevational gradients: a meta-analysis. *Biological Reviews*, 91: 469-482. DOI: 10.1111/brev.12180
- Jackson, M.M., S.E. Gergel, et K. Martin. 2015. Effects of climate change on habitat availability and configuration for an endemic coastal bird. *PLoS ONE* 10(11): e0142110. doi:10.1371/journal.pone.0142110
- Martin, K. and K.L. Wiebe. 2004. Coping mechanisms of alpine and arctic breeding birds: extreme weather and limitations to reproductive resilience. *Integrative and Comparative Biology* 44:177-185.

Environ 35 p. cent des espèces d'oiseaux nicheurs font des escales migratoires dans les hautes montagnes



Figure 1: Diverses limites forestières de l'ouest et du centre canadien : (a) chaîne Côtière, C.-B. (photo Andrew Trant), (b) vallée Printer's Pass, Ruby Range, parc national Kluane, Yn (Katherine Dearborn), (c) Goodsir Pass, parc national Kootenay, Alb. (Emma Davis), et (d) monts Mackenzie, T.N.-O. (Steven Mamet).

Instabilité des limites forestières au Canada

Carissa D. Brown

Qu'on se représente une montagne canadienne : quelles images viennent à l'esprit? Une pente abrupte à végétation basse, avec de la roche meuble ou des éboulis, surmontée d'arêtes pointues décapées par les glaciers. Des skieurs de haute montagne découpent le manteau neigeux jusque-là intact, atteignant les pistes moins boisées où ils contournent les arbres comme dans un slalom. Ces images iconiques des Rocheuses le seront-elles encore longtemps?

Alors que le réchauffement des latitudes nordiques, dont celles du Canada, se poursuit, que les étés se prolongent et que la rigueur des climats en haute altitude diminue, nous nous attendons à ce que les forêts qui étaient autrefois restreintes aux conditions climatiques des pentes de basse altitude aillent s'étendre et gagner en élévation. Avec la poursuite sans entraves et continue des effets du changement planétaire, il se pourrait des arbres atteignent les sommets des montagnes du pays dans les décennies à venir.

Si tel était le cas, les arbres s'empareraient des prairies alpines et, privées d'autres habitats à coloniser, des populations de la flore alpine diminueraient considérablement, certaines

jusqu'à disparaître. Des espèces animales dépendantes de l'écosystème alpin, telles que le mouflon d'Amérique ou le pika, subiraient aussi les pressions du rétrécissement de leur habitat.

Les arbres sont-ils pour autant les « vilains » dans ce récit sur la conservation des prairies alpines? Il est vrai que certaines populations de la limite forestière empiètent sur les écosystèmes alpins et que les soucis de conservation soulevés par cette invasion des communautés alpines sont justifiés. Or, seule un peu plus de la moitié des limites forestières se meuvent globalement dans les directions prévues par les réchauffements récents — soit en amont dans les systèmes de montagnes — et elles le font plus lentement qu'anticipé.¹ Au Canada, les limites

forestières alpines réagissent au réchauffement de toutes les façons imaginables, et leurs taux d'expansion, qui va de lent à rapide, semble déterminé par l'espèce.^{2,3}

Ces différentes réactions des limites forestières alpines canadiennes ne s'observent pas uniquement dans les iconiques Rocheuses de l'Alberta et la Colombie-Britannique, mais aussi les systèmes de montagne à travers le pays (figure 1) : de la très occidentale chaîne Côtière en C.-B.; au nord avec le parc national et réserve de parc national Kluane et les monts Ogilvie du Yukon, jusqu'à notre chaîne de montagnes la plus à l'est, les Appalaches, qui s'étendent (au Canada) du sud du Québec pour traverser l'île de Terre-Neuve (figure 2). Le sud du Québec ne présente pas l'environnement habituel où s'imaginer une limite des arbres, mais les limites forestières s'étudient également comme limites d'espèces précises, là où la distribution en altitude d'une espèce s'arrête dans un passage vers la forêt alpine de haute altitude (p. ex. pentes d'érable à sucre/sapin baumier).

Qu'avons-nous appris d'une telle diversité en systèmes de montagnes au pays? Certes, nous savons qu'il faut un climat propice pour que les arbres s'étendent au-delà de leurs limites courantes parmi les pentes montagneuses. Or nous savons aussi qu'un climat propice n'est pas le seul facteur nécessaire à l'établissement et la survie d'un arbre en un lieu donné. Des chercheurs qui étudient les limites forestières alpines rassemblent actuellement les preuves d'autres facteurs qui peuvent faciliter, ralentir ou prévenir l'expansion des espèces d'arbre en altitude.

Nous disposons maintenant d'observations et de preuves expérimentales de l'influence de facteurs non climatiques sur la capacité des arbres à s'établir en pente ascendante à chaque étape de leur vie (figure 3). Des arbres adultes avoisinants ont par exemple besoin de produire des graines viables qui échappent à la prédation avant de se disséminer dans un nouvel habitat élevé.^{4,5} Cet habitat doit présenter un substrat adapté (couverture végétale et sol) pour la germination et l'installation de la graine.^{6,7,8} La jeune pousse qui émerge doit avoir de quoi s'alimenter et disposer d'assez de lumière, d'éléments nutritifs et d'humidité dans le sol; autant d'éléments que des attributs topographiques tels que l'aspect^{2,9} et la géomorphologie⁶ peuvent affecter (figure 4). Obtenir du sol les nutriments nécessaires



Figure 2: L'étendue des Appalaches : (a) au parc national du Mont Mégantic, Qc (photo Mark Vellend), (b) aux monts Chic-Chocs, Qc (Sébastien Renard), (c) aux monts Long Range sur la péninsule Great Northern, T.-N.-L. (Anna Crofts), et (d) aux montagnes Mealy, T.-N.-L. (Brian Starzomski).



Figure 3: Les herbivores sont parmi les facteurs pouvant compliquer la réaction d'un arbre au réchauffement climatique, réaction que nous pouvons tester en utilisant des cages de protection contre les herbivores, ici (a) au mont Fortress, Kananaskis Country, Alb. (photo Emma Davis) et (b) aux monts Mackenzie, T.N.-O. (Steven Mamet). D'autres interactions entre espèces peuvent empêcher un arbre de s'établir durant les étapes de sa vie, telles que (c) la prédation granivore (Anna Crofts) et (d) les agents pathogènes qui infectent et tuent les arbres adultes (p. ex. le dendroctone de l'épinette. Photo Katherine Dearborn).



Figure 4: L'extension de la limite forestière peut être ralentie par (a) les conditions d'un hiver rigoureux qui peuvent endommager les plants par l'abrasion de la neige, qui tue les branches émergentes (monts Mealy, T.-N.-L.; photo Brian Starzomski) et (b) la géologie et la géomorphologie, quand le sol ne présente pas le substrat nécessaire à l'étalement et la croissance des arbres (monts Chic-Chocs, QC; Sébastien Renard).

implique souvent la participation des microbes et des moisissures qui y vivent; en l'absence de ces moisissures, le semis pourrait manquer d'éléments nutritifs pour prospérer.^{10,11} Celui-ci devra aussi surmonter les défis de l'hiver pour survivre : l'abrasion de la neige, la présence de vents forts et l'exposition à des températures extrêmes s'il manque de neige pour fournir une protection isolante¹² (figure 4). Même avec tous ces éléments réunis, une graine ou un semis est encore menacé par les granivores et les herbivores, certains agents pathogènes ou encore l'empreinte humaine d'un excursionniste alpin.^{8,13}

Les populations d'arbres ne migrent pas systématiquement en haut des montagnes avec le réchauffement. L'ascension de la limite forestière advient lentement sur certaines montagnes et non sur d'autres. La recherche continue d'enrichir notre compréhension des lieux et des circonstances par lesquelles l'expansion en hauteur de la limite des arbres se produira en incorporant les nombreux facteurs qui, au-delà du climat, influencent la capacité des arbres à s'établir et survivre.

Clarissa Brown est professeure au Département de géographie à l'Université Memorial de Terre-Neuve.

Références

- Harsch, M. A., Hulme, P., McGlone, M. & Duncan, R. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecol. Lett.* 12, 1040-1049 (2009).
- Danby, R. K. & Hik, D. S. Variability, contingency and rapid change in recent subarctic alpine tree line dynamics. *J. Ecol.* 95, 352-363 (2007).
- Trant, A. J. & Hermanutz, L. Advancing towards novel tree lines? A multispecies approach to recent tree line dynamics in subarctic alpine Labrador, northern Canada. *J. Biogeogr.* 41, 1115-1125 (2014).
- Kambo, D. & Danby, R. K. Constraints on treeline advance in a warming climate: a test of the reproduction limitation hypothesis. *J. Plant Ecol.* (2017). doi:10.1093/jpe/rtx009
- Jameson, R. G., Trant, A. J. & Hermanutz, L. Insects can limit seed productivity at the treeline. *Can. J. For. Res.* 45, 286-296 (2014).
- Macias-Fauria, M. & Johnson, E. A. Warming-induced upslope advance of subalpine forest is severely limited by geomorphic processes. *Proc. Natl. Acad. Sci.* (2013). doi:10.1073/pnas.1221278110
- Lafleur, B., Pare, D., Munson, A. D. & Bergeron, Y. Response of northeastern North American forests to climate change: Will soil conditions constrain tree species migration? *Environ. Rev.* 18, 279-289 (2010).
- Wheeler, J. A., Hermanutz, L. & Marino, P. M. Feathermoss seedbeds facilitate black spruce seedling recruitment in the forest-tundra ecotone (Labrador, Canada). *Oikos* 120, 1263-1271 (2011).
- Dearborn, K. D. & Danby, R. K. Aspect and slope influence plant community composition more than elevation across forest-tundra ecotones in subarctic Canada. *J. Veg. Sci.* 28, 595-604 (2017).
- Kernaghan, G. & Harper, K. A. Community structure of ectomycorrhizal fungi across an alpine/subalpine ecotone. *Ecography* 24, 181-188 (2001).
- Wagg, C., Husband, B. C., Green, D. S., Massicotte, H. B. & Peterson, R. L. Soil microbial communities from an elevational cline differ in their effect on conifer seedling growth. *Plant Soil* 340, 491-504 (2011).



Crise de santé en forêt subalpine

Philip J. Burton et Vernon S. Peters

Un châle de forêts naturelles et sauvages drape les abords des magnifiques chaînes de montagnes de l'Ouest canadien. L'épinette d'Engelmann et le sapin subalpin dominent ces forêts dans les Rocheuses et d'autres chaînes intérieures; la pruche subalpine et le sapin gracieux s'y ajoutent dans les montagnes côtières. L'exploitation forestière est répandue dans les bas versants non protégés dans des parcs, et accède à de plus hautes élévations et à des vallées isolées avec le temps. Les forêts plus élevées sont parfois coupées pour des stations de ski ou des routes minières, mais sont principalement vulnérables aux perturbations naturelles que sont les feux, les glissements de terrain et les avalanches.

Bien que, vue de loin, leur apparence soit uniforme et sans âge, les forêts à haute altitude présentent une diversité et une évolution considérables. L'écotone (interface ou frontière d'écosystème) marquant la transition vers de plus hautes élévations privées d'arbres présente, plutôt qu'une limite des arbres discrète suivant un contour d'élévation, une mosaïque complexe et caractéristique de prairies et d'îlots d'arbres. Les arbres peuvent avancer ou se retirer selon les conditions climatiques et la production des graines. Le scolyte du sapin de l'Ouest tue souvent les sapins subalpins individuellement ou par petits groupes, créant des ouvertures qui facilitent la libération d'arbres plus petits et

l'entretien général des forêts anciennes. Le pin tordu latifolié domine souvent après un feu, bien qu'il s'étende ou persiste rarement à la limite des arbres. D'autres espèces moins courantes comme le mélèze subalpin ajoutent une diversité et des couleurs saisonnières qui attirent les visiteurs en des lieux comme le parc provincial Cathedral en C.-B. Des espèces sauvages moins connues mais cruciales se trouvent aussi dans les hautes altitudes, comme le pin à blanche écorce (dit albicole) et le pin flexible, dont la croissance adopte des formes rappelant le bonsaï quand ils persistent sur des arêtes sèches et balayées par le vent.

De nos jours, le sort du pin albicole (*Pinus*

Dispersion de pins albicaules morts dans une forêt de haute altitude du mont Davidson au sud de Vanderhoof en Colombie-Britannique centrale. Photo Alana Clason.

Même si, vues de loin, les forêts de haute altitude semblent uniformes et sans âge, on y trouve une diversité et des évolutions considérables.



Manifestation de la rouille vésiculeuse du pin blanc sur un jeune arbre.
Photo Alana Clason

albicaulis) et du pin flexible (*Pinus flexilis*) préoccupe beaucoup les écologistes forestiers de l'Ouest canadien.¹ Les deux espèces sub-alpines subissent les assauts d'un agent pathogène fongique appelé rouille vésiculeuse du pin blanc. Originaire de l'Asie centrale où les pins natifs ont développé des résistances contre ses effets, la rouille a été introduite d'Europe en Amérique du Nord il y a plus d'un siècle par du matériel de pépinière contaminé et continue de se répandre dans la moitié occidentale du continent.

Le déclin forestier varie beaucoup selon les régions et les espèces de pins. Les taux d'infection et de mortalité sont généralement plus élevés dans le sud de leur chaîne canadienne mais croissent plus rapidement dans les régions nordiques. L'infection se produit lorsque les spores pénètrent les aiguilles et forment des filaments

qui épuisent les sucres de la plante en progressant jusqu'au tronc. La présence de lésions (vésicules) sur le tronc annonce qu'un autre arbre souffrira une mort prolongée sur plusieurs décennies. Simultanément, les arbres infectés disséminent des spores parmi les gadelliers et les groseilliers (*Ribes spp.*) qui servent d'hôtes intermédiaires avant l'infection d'autres arbres. D'autres phénomènes menacent cette espèce de pins, dont le dendroctone du pin ponderosa, la suppression d'incendies et le changement climatique.

Le risque pour le Canada de perdre certains de ses plus emblématiques paysages boisés a mené à des examens rigoureux des deux espèces au niveau provincial et fédéral. L'Alberta les a toutes deux déclarées espèces menacées (2008), à protéger par sa loi sur la faune (Wildlife Act), tandis que la C.-B. a inclus le pin albicaule à sa liste des espèces menacées en 2013 et inclus le pin flexible en 2014 parmi les espèces en voie de disparition. Au plan fédéral, le Canada protège le pin albicaule depuis 2014 d'après sa Loi sur les espèces en péril, alors que le pin flexible est en examen (2018). Plus de 30 espèces d'oiseaux et de mammifères dépendent de la récolte des cônes de ces arbres pour se nourrir,

faisant de ces espèces de pins la pièce maîtresse de beaucoup d'écosystèmes de montagne. Le casse-noix d'Amérique extrait physiquement les graines du cône et les plante, littéralement, pour les récupérer ensuite mais en oublie certaines qui se mettent à germer.² Pour résumer, l'oiseau qui plante la graine fait pousser l'arbre qui produit le cône que recueillent les écureuils, qui à leur tour nourrissent les ours.

L'humain a aussi besoin de ces pins de haute altitude pour ralentir la fonte des neiges et stabiliser les rives des cours d'eau de montagne pour habiter en sécurité des communautés en aval. Cette codépendance écologique des systèmes humains et naturels souligne le besoin de coordonner des initiatives de restauration qui assurent la persistance de ces espèces. Notre mission sociétale de développer des initiatives pour le rétablissement des espèces menacées a mené à la recherche de génotypes résistants à la rouille vésiculeuse comme une de ses nombreuses stratégies clés. Des chercheurs ont découvert une forme de résistance à gène unique contre la maladie dans une population de pin flexible au sud de l'Alberta; une résistance à multiples gènes ralentissant la progression de la maladie est plus largement répandue. La collection de cônes provenant d'arbres résistants à la maladie permet la propagation d'arbres résistants. Les occasions ne manquent pas aux volontaires de participer aux efforts locaux de restauration; contacter la Whitebark Ecosystem Foundation of Canada (www.whitebarkpine.ca) est un bon point de départ. Nous tirons tous de considérables avantages de ces forêts de haute altitude, et prendre soi-même leur restauration en mains est un excellent moyen de s'assurer qu'elles persisteront.

Philip Burton est professeur titulaire au Département des sciences et de la gestion écosystémiques à l'Université du nord de la Colombie-Britannique.

Vernon Peters est professeur agrégé et directeur du Département de biologie à The King's University.

Références

1. Tomback DF, Arno SF, Keane RE (2001) Whitebark Pine Communities: Ecology and Restoration. Island Press, Washington, DC.
2. Lorenz TJ, Sullivan KA, Bakian AV, Aubry CA (2011) Cache-site selection in Clark's nutcracker (*Nucifraga columbiana*). The Auk, 128, 237-247.



Les participants au Camp général d'alpinisme du CAC au champ de glace Albert 2017. Photo Mary Sanseverino.



Établi en 1906, le Club alpin du Canada est un organisme sans but lucratif voué à promouvoir la culture, la connaissance et l'expérience alpine, l'accès responsable et l'excellence en matière de compétences et de leadership en montagne.

<http://alpineclubofcanada.ca>



Rapport sur l'état des montagnes

Les montagnes n'ont jamais été aussi recherchées ni aussi favorablement considérées que maintenant dans l'histoire humaine. Cette vénération généralisée, en plus des changements environnementaux, cause des pressions sans précédent sur les environnements de montagne et les collectivités dont la subsistance et le bien-être dépendent de la montagne. Le Rapport sur l'état des montagnes du Club alpin du Canada de 2018 réunit les contributions de certains des plus grands spécialistes des sciences sociales et naturelles du Canada pour décrire les pressions et les changements rapides qui ont cours dans nos régions montagneuses. Fidèle au traditionnel engagement du Club alpin du Canada pour la diffusion des connaissances sur les milieux montagnards, ce rapport inspirera tous les Canadiens à chérir et protéger ces endroits uniques.



Club alpin du Canada
C.P. 8040
Canmore, Alb., T1W 2T8
www.alpineclubofcanada.ca