

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.

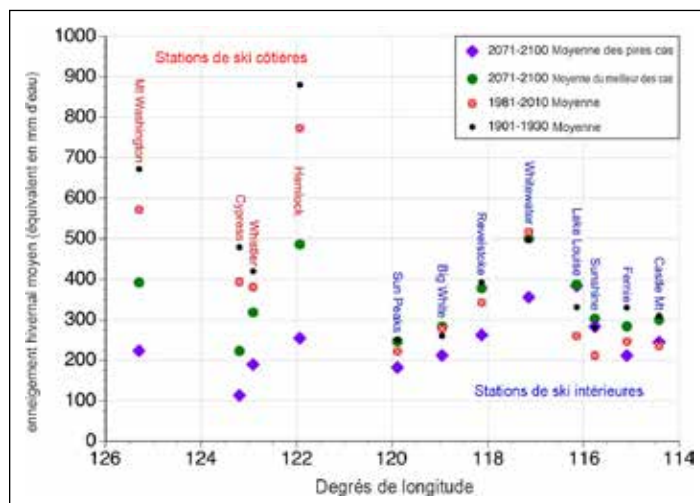


Figure 3. Transformations historiques et prévues (selon le pire et le meilleur scénario) de l'enneigement moyen (mesuré en mm équivalents en eau) de 12 stations de ski de l'Ouest canadien, d'après les données produites par ClimateBC ou ClimateWNA au niveau d'élévation médiane de chaque station côtière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

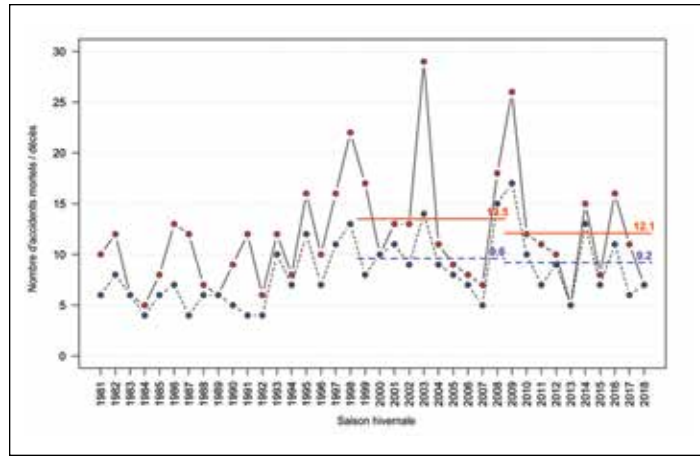


Figure 1 : Nombre annuel d'avalanches mortelles (points bleus avec ligne pointillée) et de victimes d'avalanche (points rouges avec traits pleins) au Canada en hiver de 1981 à 2018 (Avalanche Canada [s.d.]). Les lignes horizontales indiquent la moyenne annuelle d'avalanches mortelles sur dix ans (en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

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

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

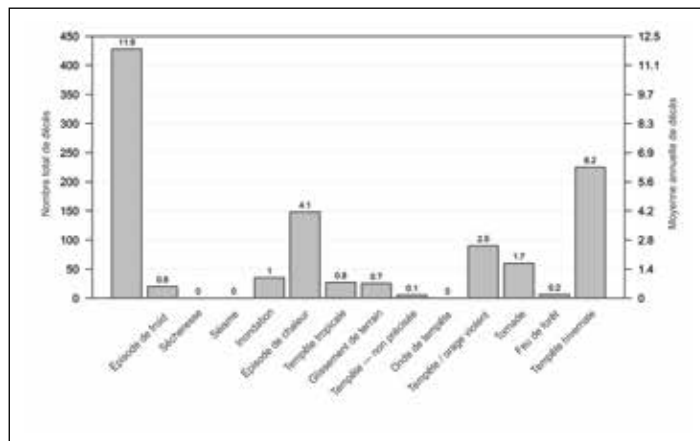


Figure 2 : Nombre annuel moyen et total de décès attribuables aux dangers météorologiques ou géologiques naturels au Canada entre le 1^{er} octobre 1980 et le 8 mai 2018 (Avalanche Canada [s.d.] : décès dus à une avalanche; Sécurité publique Canada [s.d.] : autres décès). Remarque : Le nombre de décès 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.

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)

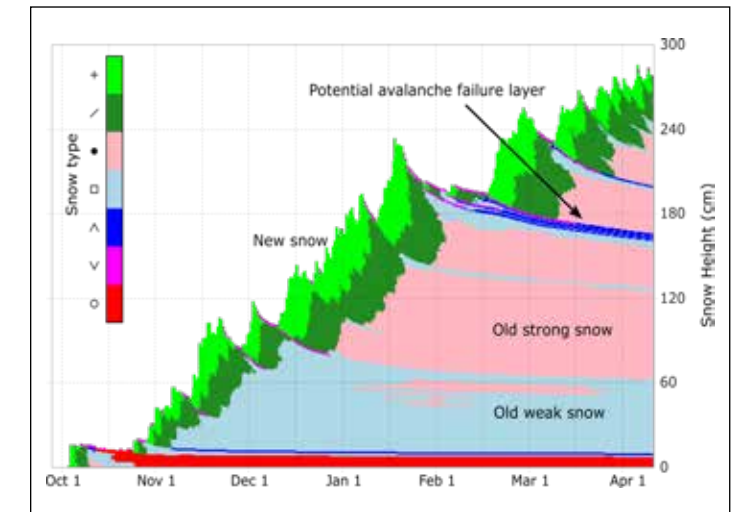


Figure 4 : Évolution simulée d'un manteau neigeux avec ses différentes couches et