



Un exemple d'adaptation aux effets du changement climatique en haute montagne alpine

Évolution des itinéraires d'accès aux refuges du bassin de la Mer de Glace (massif du Mont Blanc, France)

Jacques Mourey et Ludovic Ravanel



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/rga/3780>

DOI : 10.4000/rga.3780

ISSN : 1760-7426

Éditeur

Association pour la diffusion de la recherche alpine

Référence électronique

Jacques Mourey et Ludovic Ravanel, « Évolution des itinéraires d'accès aux refuges du bassin de la Mer de Glace (massif du Mont Blanc, France) », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 105-4 | 2017, mis en ligne le 28 juin 2017, consulté le 02 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/rga/3780> ; DOI : 10.4000/rga.3780

Ce document a été généré automatiquement le 2 mai 2019.



La Revue de Géographie Alpine est mise à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Un exemple d'adaptation aux effets du changement climatique en haute montagne alpine

Évolution des itinéraires d'accès aux refuges du bassin de la Mer de Glace (massif du Mont Blanc, France)

Jacques Mourey et Ludovic Ravanel

Les auteurs remercient la Compagnie du Mont-Blanc et Chamonix Mont Blanc Hélicoptères pour avoir facilité l'accès au site d'étude. Cet article constitue une contribution aux projets européens ALCOTRA PrévRisk Haute Montagne et AdaPT Mont Blanc.

Introduction

- 1 Le réchauffement climatique affecte l'essentiel du Globe avec une hausse de la température moyenne mondiale de 0,85°C entre 1880 et 2012 (IPCC, 2014), mais les régions de haute altitude et de haute latitude de l'hémisphère nord se réchauffent plus rapidement encore (Beniston et Haeberli, 2001 ; Beniston, 2005). Sur l'ensemble de l'arc alpin, les séries de températures homogénéisées attestent ainsi d'un réchauffement de 2° C entre la fin du XIX^e et le début du XXI^e siècle (Auer *et al.*, 2007), avec une accélération sur les dernières décennies. L'altitude moyenne de l'isotherme 0°C s'est ainsi élevée de près de 400 m depuis le début des années 1980 (Böhm *et al.*, 2010). Dans les Alpes françaises, le réchauffement est compris entre 1,5°C et 2,1°C depuis 1950 (Einhorn *et al.*, 2015). Au-dessus de 4 000 m d'altitude, les températures moyennes annuelles auraient augmenté de 1,4°C entre 1900 et 2004 (Gilbert et Vincent, 2013).
- 2 Dans ce contexte, la haute montagne alpine est l'objet de profondes modifications dont le très visible retrait glaciaire et la dégradation du permafrost (réchauffement des terrains gelés en permanence ; Deline *et al.*, 2015). Les surfaces englacées des Alpes ont diminué de moitié entre 1900 et 2012 avec une forte accélération de la fonte depuis les années 1980 (Huss, 2012) tandis que l'on observe une recrudescence d'écroulements dans les parois

rocheuses (Geertsema *et al.*, 2006 ; Ravel et Deline, 2011 ; Ravel *et al.*, 2013). Dans le massif du Mont-Blanc, plus de 550 écroulements ($V > 100 \text{ m}^3$) se sont ainsi produits entre 2007 et 2015 (Ravel et Deline, 2013).

- 3 Ces modifications affectent les sociétés humaines au contact de ces milieux. Cependant, bien que de nombreuses études aient été réalisées sur les effets du changement climatique sur les sociétés (IPCC, 2014, Frei *et al.*, 2007) et leurs stratégies d'adaptation (Adger *et al.*, 2003 ; Füssel, 2007 ; Tabeaud, 2010), très peu de travaux se sont intéressés à la question spécifique des effets du changement climatique sur l'alpinisme en dehors de Behm *et al.* (2006), de Ritter *et al.* (2011) ou de Temme (2015) par exemple, alors même que cette pratique constitue un patrimoine emblématique des régions de haute montagne et une activité économique non négligeable. Le projet EU Alcotra « Éco-innovation en altitude » a par exemple montré que 81 % des gardiens de refuge de la région du Mont Blanc signalent un changement des conditions de sécurité de leur itinéraire d'accès sur la dernière décennie et, dans 96 % des cas, une modification du cheminement a été nécessaire (Piccardi *et al.*, 2014 ; Vuilleumier, 2014).
- 4 De nombreuses questions restent ainsi en suspens. Comment et à quel point les itinéraires sont-ils affectés par le changement climatique ? Quels sont les processus géomorphologiques à l'œuvre ? Quels sont les effets de ces évolutions sur la pratique de l'alpinisme ? Quelles sont les modalités d'adaptation en cours ? La mise en place d'un pont himalayen d'une longueur de 240 m pour maintenir l'accès au refuge de la Panossière (Valais, Suisse) suite à la perte d'épaisseur du glacier de la Corbassière pour un coût de 400 000 CHF et l'installation d'une passerelle de 60 m pour maintenir l'accès au refuge des Conscrits dans le massif du Mont Blanc (Piccardi *et al.*, 2014) pour un coût de 130 000 € constituent des exemples symboliques d'adaptation.
- 5 Pour comprendre comment les itinéraires d'accès aux refuges de haute montagne peuvent être affectés par l'évolution des milieux, notre recherche a reconstitué l'évolution des itinéraires donnant accès aux cinq refuges du bassin de la Mer de Glace depuis le début du XX^e siècle à partir d'un travail géo-historique, d'entretiens semi-directifs et de levés LiDAR (*Light Detection and Ranging*) à haute résolution (Jaboyedoff *et al.*, 2010), permettant de discuter les modalités d'évolution géomorphologique et d'adaptation des itinéraires. Le concept de crise paraglaciale au sens de Church et Ryder (1972) et les pratiques de haute montagne comme activités sportives faisant l'objet d'une gestion spécifique seront par ailleurs discutés.

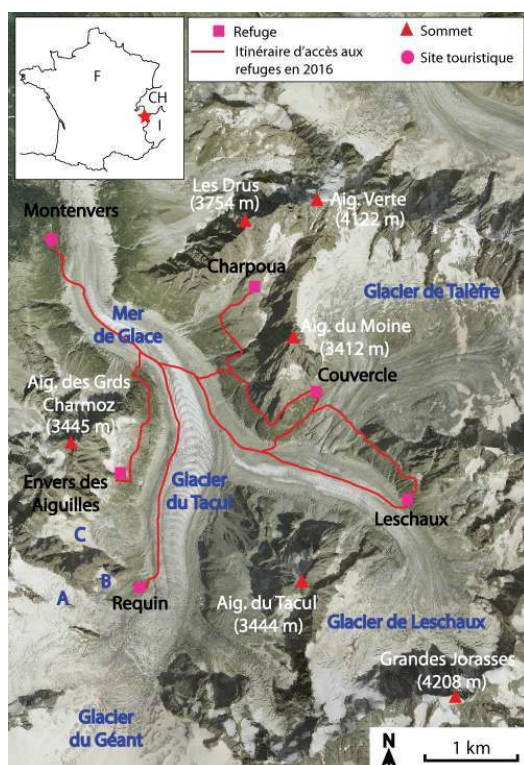
Le bassin de la Mer de Glace, haut lieu de l'alpinisme

- 6 La Mer de Glace (Fig. 1) est le plus grand glacier des Alpes françaises ($L = 11,5 \text{ km}$, $S = 30,4 \text{ km}^2$) et l'un des plus étudiés. Les premières mesures ont été réalisées par J. Vallot dès les années 1890.
- 7 Après la dernière récurrence du Petit Âge Glaciaire (1852), le glacier accuse un retrait très marqué : son front a reculé de plus de 2,7 km. Cependant, ce retrait n'est pas linéaire et a été interrompu par trois petites crues : 1890-1896, 1923-1931 et 1970-1995 (Reynaud et Vincent, 2000, Nussbaumer *et al.*, 2007). Depuis 1995, le retrait s'accélère nettement avec des valeurs de retrait de $- 40 \text{ m/an}$ environ (Vincent, 2010). Dans le même temps, la perte d'épaisseur est également conséquente : entre 1890 et 2013, vers 1 800 m d'altitude, en aval du site touristique du Montenvers, la perte d'épaisseur de glace atteint 166 m

(données GLACIOCLIM ; lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs/), pour une perte moyenne annuelle de 4.0 ± 0.2 m entre 2000 et 2008 (Berthier et Vincent, 2012). Cette évolution est susceptible d'entraîner toute une série de processus géomorphologiques dangereux : les moraines latérales ne sont plus maintenues contre les versants et se dégradent progressivement par éboulisation, éboulements, écroulements et glissements (Deline, 2008).

- 8 Le bassin de la Mer de Glace constitue un berceau et un haut lieu de l'alpinisme. On y trouve un ensemble de sommets et de parois mythiques tels que la face nord des Grandes Jorasses (4208 m) – une des trois « grandes faces nord des Alpes » –, l'Aiguille Verte (4122 m) – dont la première ascension en 1865 par Edward Whymper et ses deux guides est une des « grandes premières » commémorées en 2015 à l'occasion des *150 ans de l'Âge d'or de l'Alpinisme* – et la face ouest des Drus (3754 m) – face *quasi* verticale d'une hauteur de 1000 m. Autour de la Mer de Glace. La fréquence croissante des ascensions s'est traduite par la construction entre 1904 et 1957 de cinq refuges (Fig. 1) : la Charpoua (2841 m, 1904), le Couvercle (2687 m, 1904), Leschaux (2431 m, 1929), le Requin (2523 m, 1927) et l'Envers des Aiguilles (2523 m, 1957). Ils bénéficient d'une accessibilité facilitée par le train du Montenvers, qui atteint 1913 m d'altitude. Leur fréquentation est importante avec un total de plus de 6000 nuitées en 2015 (donnée FFCAM/ADSM). Entre 1992 et 2003, un sentier aménagé reliant les cinq refuges a été tracé (les *Balcons de la Mer de Glace*), ouvrant le secteur aux randonneurs expérimentés qui représentent actuellement une part significative de la fréquentation.
- 9 Cette importante fréquentation du bassin de la Mer de Glace représente un enjeu sportif, touristique et économique de taille, menacé par les effets du réchauffement climatique.

Figure 1. Carte de localisation des cinq refuges du bassin de la Mer de Glace



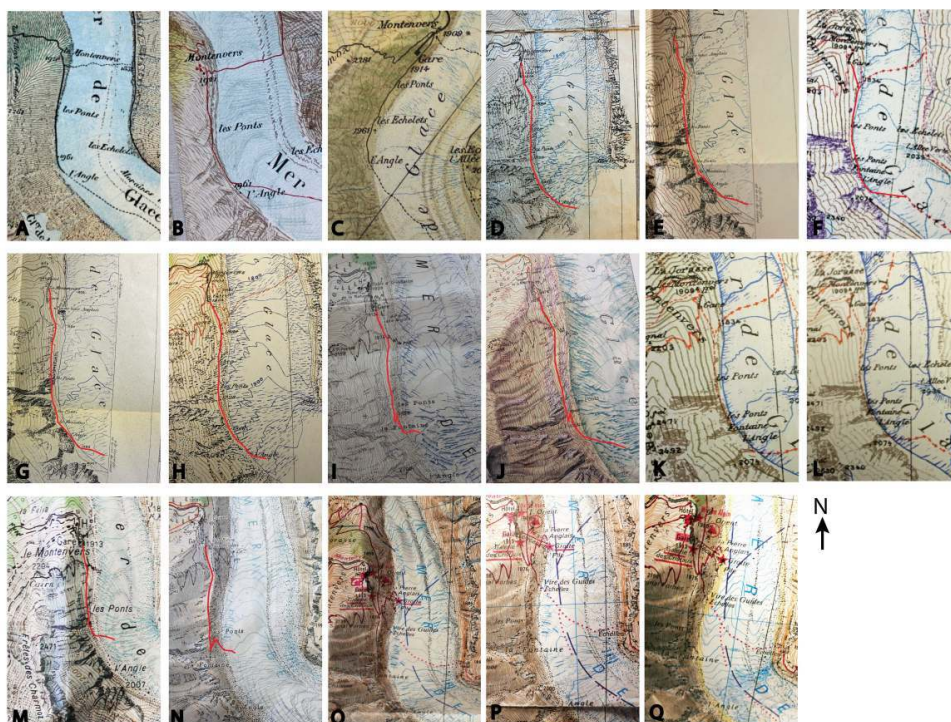
A : Glacier d'Envers du Plan ; B : Glacier du Requin ; C : Glacier d'Envers de Blaitière.

Réalisation : Mourey, 2017. Fond : IGN.

Méthodologie géo-historique

- 10 Une méthodologie en trois étapes, fondée sur une documentation multi-sources, a été mise en place pour quantifier l'évolution des accès aux refuges.
- 11 Dans un premier temps, de nombreux documents (cartes topographiques, topo-guides et photographies) ont été collectés pour la période 1850-2014 auprès du Musée Alpin de Chamonix (cartes et topo-guides), de l'École Nationale de Ski et d'Alpinisme (cartes et topo-guides) et des archives municipales de Chamonix (photographies). Les cartes ont fait l'objet d'une première analyse diachronique permettant de dater les principales évolutions (Fig. 2).

Figure 2. Cartes du secteur du Montenvers avec l'itinéraire de descente sur la Mer de Glace en direction des refuges de haute montagne



A) Mieulet 1865, 1 :40 000 ; B) Viollet le Duc 1876, 1 :40 000 ; C) Barbey 1906, 1 :50 000 ; D) Vallot 1907, 1 :50 000 ; E) Vallot 1931, 1 :20 000 ; F) Vallot 1943, 1 :50 000 ; G) Vallot 1945, 1 :20 000 ; H) Vallot 1946, 1 :20 000 ; I) IGN 1949, 1 :20 000 ; J) IGN 1950, 1 :10 000 ; K) Vallot 1956, 1 :50 000 ; L) Vallot 1960, 1 :50 000 ; M) IGN 1960, 1 :50 000 ; N) IGN 1975, 1 :20 000 ; O) IGN 1995, 1 :25 000 ; P) IGN 2001, 1 :25 000 ; Q) IGN 2011, 1 :25 000.

MONTAGE : MOUREY, 2017.

- 12 Afin de confronter les représentations cartographiques des itinéraires à une source de données permettant de mieux préciser leur évolution dans le temps et dans l'espace, les itinéraires cartographiés ont été comparés à ceux décrits dans les publications successives du *Guide Vallot : La chaîne du Mont-Blanc* (1925, 1947, 1949, 1951, 1966, 1975, 1977) et du *Guide de la chaîne du Mont-Blanc*, (Kurtz 1892, 1935). Enfin, un corpus de 1 573 photographies a permis d'apporter des précisions et de lever les éventuelles incertitudes.

- 13 Dans un deuxième temps, une série d'entretiens semi-directifs a été réalisée auprès de 14 guides de haute montagne, gardiens de refuges, employés du Service des Pistes et Sentiers de Chamonix et élus de la commune de Chamonix Mont-Blanc. Ils ont souvent permis d'obtenir davantage de détails (dates, informations de terrain) depuis les années 1950. Ces entretiens ont aussi permis de développer la question de la fréquentation de ces refuges et de son évolution en lien avec les modifications successives des itinéraires.
- 14 Dans un dernier temps, les transitions glacier-versant ont fait l'objet de levés topographiques par balayage laser terrestre en 2016. La construction de modèles numériques de terrain à haute résolution (Ravel et Lambiel, 2013) a permis la mesure précise des équipements en place.

Résultats : des bouleversements généralement récents

- 15 Trois périodes distinctes se dessinent dans l'évolution des itinéraires entre la fin du XIX^e siècle et la période actuelle. Afin d'illustrer et de faciliter l'analyse des résultats et la discussion, deux exemples seront développés en particulier : les accès à la Mer de Glace depuis le Montenvers et au refuge du Requin.
- 16 De la fin du XIX^e siècle aux années 1960, les itinéraires évoluent peu et très progressivement (Fig. 3A) : l'activité géomorphologique est réduite et n'affecte que marginalement les itinéraires qui évitent le plus possible le glacier qui, en cette période, est très crevassé. Les sentiers sont tracés sur les versants et les moraines latérales du glacier ; les conditions géomorphologiques y sont relativement stables et permettent d'évoluer en sécurité. Plusieurs itinéraires pouvaient être utilisés pour une même destination en fonction des conditions, de la saison et de la pratique.
- 17 L'accès à la Mer de Glace depuis le Montenvers n'a ainsi que très peu évolué entre 1900 et les années 1960. Le sentier était tracé sur ou à proximité de la crête de la moraine latérale gauche du glacier sur 1,5 km avant de descendre vers le glacier au lieu-dit « l'Angle » (Fig. bA). Ce premier passage sera abandonné dans les années 1940, la descente de la moraine devenant plus difficile et dangereuse, au profit du passage « des Ponts » aménagé en 1945 (Fig. 3A).
- 18 Sur cette première période, le refuge du Requin était accessible par trois itinéraires distincts tracés sur le sommet des moraines latérales du glacier du Tacul. Ils donnaient accès au refuge par le sud ou par le nord (Fig. 3A).
- 19 La seconde période commence avec les années 1960 (Fig. 3A). La perte d'épaisseur des glaciers (Reynaud et Vincent, 2000 ; Gardent *et al.*, 2014) et le déséquilibre corrélatif des moraines latérales commencent à affecter fortement les itinéraires : des dalles rocheuses raides affleurent en aval de chaque refuge tandis que la fragilisation des moraines se traduit par une fréquence élevée de déstabilisations rocheuses. Les itinéraires, et plus particulièrement les transitions glacier-versant, deviennent plus dangereux et difficiles techniquement.
- 20 Afin de maintenir l'accès aux refuges dans des conditions de technicité et de dangerosité acceptables, ces transitions sont régulièrement déplacées là où le substratum rocheux affleure (Fig. 3A). Cette manœuvre permet d'éviter les dangers liés à l'érosion des moraines mais nécessite d'installer des échelles pour franchir les dalles rocheuses. Dès

lors, l'objectif est de prendre pied le plus rapidement possible sur le glacier, qui par ailleurs est de moins en moins crevassé (réduction des épaisseurs et des vitesses du glacier), afin d'éviter les marges glaciaires.

- 21 Sur cette période, l'accès à la Mer de Glace depuis le Montanvers a nécessité des travaux d'entretien et d'aménagement réguliers (1960, 1971 et 1972 ; Fig. 3A) qui font suite à la perte d'épaisseur du glacier de 32 m entre 1940 et 1980 (données GLACIOCLIM) et à l'érosion de la moraine. Ainsi, en 1960 et 1971, plusieurs mètres d'échelles sont installés et le sentier dans la moraine doit être refait. En 1972, des blocs instables sont minés, 39 m de rampes et 25 pitons sont mis en place, des marches sont taillées dans le substratum rocheux et le sentier dans la moraine est réaménagé. Ce passage par les Ponts sera moins fréquenté à partir des années 1970, au profit du passage par la Vire de Guides qui était déjà en partie utilisé dès les années 1950 (Fig. 3A). L'abandon définitif du passage des Ponts fait suite à un écoulement de la moraine sur le sentier dans le secteur de la Fontaine en 1988.
- 22 Face à la perte d'épaisseur du glacier du Tacul et à l'érosion de ses moraines latérales, les 3 itinéraires historiques d'accès au refuge du Requin ne sont plus parcourus dès les années 1970. Il faut désormais remonter le glacier du Tacul en son centre pour éviter les moraines devenues instables puis remonter le glacier d'Envers de Blaitière en rive droite pour atteindre le refuge par le nord. Cet accès est relativement dangereux : la crue glaciaire des années 1970-80 provoque des chutes de blocs de glace depuis le front des glaciers de l'Envers du Plan et du Requin. La perte d'épaisseur du glacier du Tacul et le retrait du front du glacier d'Envers de Blaitière sur trois décennies entraînent une intense érosion des moraines.
- 23 La troisième période débute au milieu des années 1990 (Fig. 3A). L'accélération de la perte d'épaisseur des glaciers (Berthier et Vincent, 2012 ; Berthier *et al.*, 2014) provoque des affleurements rocheux toujours plus conséquents et raides et libèrent de plus en plus de plaquages morainiques suspendus et instables (Requin, Envers des Aiguilles, Montanvers ; Fig. 4). Dans le même temps, les moraines latérales sont devenues plus hautes et plus raides. Les tronçons d'échelles ont alors régulièrement été déplacés et/ou rallongés (Fig. 3A ; Tab. 1).
- 24 Au début du *xx*^e siècle, aucune échelle n'était nécessaire pour accéder aux refuges. En 2016, les six secteurs de transition glacier-versant sont équipés d'échelles sur une dénivellation totale de 633 m, dont un ajout de 411 m entre 2001 et 2016 (Tab. 1). Le tronçon le plus haut est celui du refuge du Requin avec des échelles sur une dénivellation de 154 m.

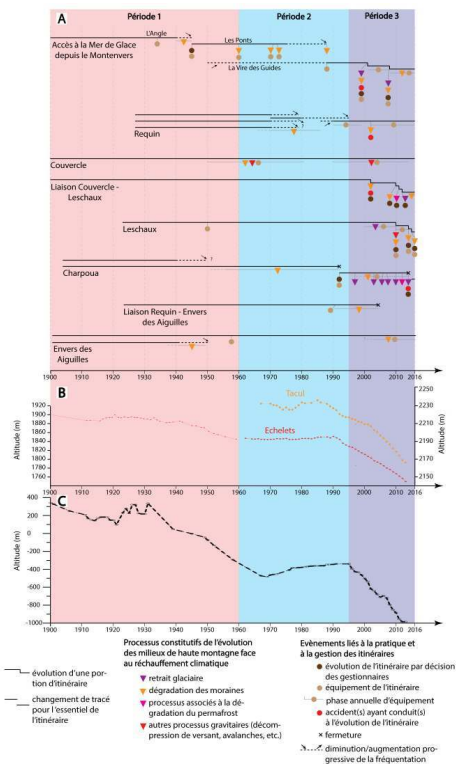
Tableau 1. Hauteur cumulée (en m) d'échelles pour chaque refuge en 2001, 2014, 2015 et 2016, ajouts entre chaque date et ajouts moyens (en m/an) entre 2001 et 2016

	2001	2014	2015	2016		2001-14	2014-15	2015-16		2001-16
Montenvers	30	74,3	81,3	94,8		+44,3	+7	+13,5		+4
Charpoua	0	19	100	100		+19	+81	+0		+6,2
Egralets	44	64,5	64,5	64,5		+20,5	+0	+0		+1,3
Leschaux	20	65	70	100		+45	+5	+30		+5
Requin	75	149,5	151,5	154,3		+74,5	+2	+2,8		+5
Envers des Aiguilles	53	113	116	119		+60	+3	+3		+4
Totaux	222	485,3	583,3	632,6		+263,3	+98	+49,3		+25,7

Réalisation : Mourey, 2017.

- 25 Sur cette dernière période, l'accès à la Mer de Glace depuis le Montenvers s'effectue toujours par la Vire des Guide (Fig. 3A). Cependant, le glacier ayant perdu 98 m d'épaisseur entre 1988 et 2013 (données GLACIOCLIM), le cheminement est par deux fois déplacé et des ajouts annuels d'échelles ont été nécessaires. En effet, s'il n'y avait aucune échelle en 1988, une dénivellation de 30 m d'échelles devait être franchie en 2001 pour atteindre le sommet d'une moraine qu'il fallait ensuite désescalader pour atteindre la surface du glacier. Ce cheminement a été modifié une première fois en 2001. L'érosion de la moraine ayant entraîné un accident mortel suite à une chute de pierres, le sentier a été déplacé de quelques mètres vers des dalles rocheuses qui permettaient de prendre pied directement sur le glacier tout en évitant la partie morainique, devenue particulièrement dangereuse. Mais, progressivement, la perte d'épaisseur du glacier et la dégradation des moraines qui en résulte ont conduit à une multiplication des échelles (sur une hauteur de 50 m en 2008) jusqu'à un secteur à pente forte. L'itinéraire a de nouveau été déplacé en 2008. À partir de la Vire de Guide, il chemine sur 150 m vers le sud pour atteindre un secteur où assez peu d'échelles sont nécessaires pour rejoindre la moraine qui, en cet endroit, permet un accès facile au glacier. Ce passage est encore utilisé aujourd'hui. Équipé d'échelles sur une dénivellation de 30 m en 2008, il y en a 65 m en 2016 (Fig. 4). Du côté du glacier, la moraine tend à devenir de plus en plus raide et exposée à différents processus gravitaires. Plusieurs glissements de terrain se sont produits directement sur de la glace enfouie (en juin 2016 par exemple) et des ravines de profondeur métrique à pluri-métrique se sont creusées. Les alpinistes sont fortement exposés à des risques liés à ces processus, augmentant considérablement l'engagement et la dangerosité du passage.
- 26 Pour le Requin, l'accès par le nord, utilisé pendant les années 1970-80, a progressivement été abandonné à la fin des années 1980 – début des années 1990, les chutes de blocs issus du front des glaciers et l'érosion des moraines latérales des glaciers du Tacul et de l'Envers de Blaitière se poursuivant (Fig. 3A). Progressivement, c'est à nouveau l'itinéraire par le sud qui est utilisé et rééquipé. En 1999, un premier tronçon d'échelles d'une dénivellation de 75 m et 40 m de corde fixe permettaient d'accéder au refuge depuis le glacier. En 2002, un important glissement de la moraine latérale gauche du glacier du Tacul a fait plusieurs blessés et a contraint à l'équipement d'un deuxième tronçon (Fig. 4). Il sera rééquipé presque tous les ans pour compenser la perte d'épaisseur du glacier du Tacul. En 2016, ce deuxième tronçon est haut de 79 m (Fig. 4).

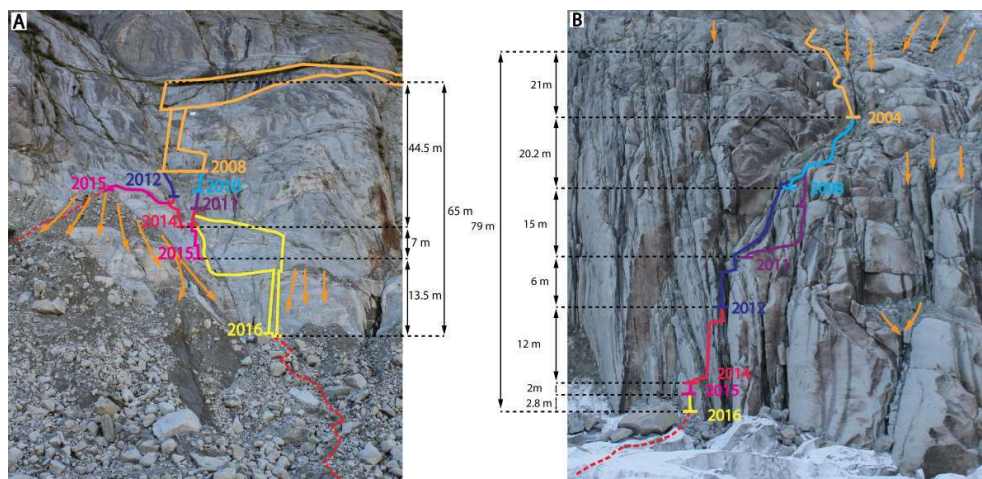
Figure 3. Historique des itinéraires



A : Évolution des itinéraires d'accès aux refuges ; B : Variations d'épaisseur de glace au niveau du profil des Échelets et de celui du Tacul (données GLACIOCLIM) ; C : Evolution du front de la Mer de Glace (données GLACIOCLIM).

Réalisation : Mourey, 2017.

Figure 4. Ajouts successifs d'échelles pour les transitions glacier-versant du Monteverns et du Requin (2^e tronçon)



Dates : position du pied des échelles pour les années en question. Flèches : trajectoires principales des chutes de pierres issues des moraines et placages morainiques.

Réalisation : Mourey, 2017.

- 27 Sur les 8 itinéraires étudiés, tous ont été affectés par la perte d'épaisseur des glaciers et l'érosion associée des moraines latérales. Cependant, d'autres processus ont pu conduire des itinéraires à évoluer, comme des écroulements, liés ou non à la dégradation du permafrost (Magnin *et al.*, 2015). Les cas de la liaison entre le refuge du Couvercle et celui de Leschaux et l'accès au refuge de la Charpoua (Fig. 3) peuvent être cités.
- 28 Enfin, il importe de noter un cas de fermeture définitive d'itinéraire en 2004 pour la liaison entre les refuges du Requin et de l'Envers des Aiguilles qui fait suite à la perte d'épaisseur du glacier du Tacul, à l'érosion de sa moraine latérale gauche et à la difficulté de trouver un nouveau passage dans ce secteur.

Des aménagements rendus nécessaires par le retrait glaciaire et la crise paraglaciale associée

- 29 En l'absence de permafrost stabilisateur à ces altitudes relativement basses (Magnin *et al.*, 2015), le retrait de la masse de glace entraîne à lui seul une perte d'effet de butée ainsi qu'une décompression des moraines latérales du glacier (Lukas *et al.*, 2012 ; Ravel et Lambiel, 2013). Les matériaux de la partie supérieure du versant interne de la moraine vont alors être mobilisés et généralement redéposés à son pied pour former un talus morainique plus ou moins instable dans le temps jusqu'à ce que le profil de la moraine atteigne un stade d'équilibre (Lukas *et al.*, 2012) en l'absence définitive de glace. L'érosion des moraines latérales laisse régulièrement apparaître des dalles rocheuses raides tandis que des plaquages morainiques suspendus peuvent persister.
- 30 Les principaux processus géomorphologiques à l'origine de l'évolution des itinéraires s'inscrivent ainsi dans la double dynamique de retrait glaciaire et de crise « paraglaciale » associée (Church et Ryder, 1972 ; Mercier, 2011). Le concept de paraglaciale, tel que défini par C. K. Ballantyne (2002), désigne « les processus non glaciaires à la surface de la terre (...) qui sont directement conditionnés par les glaciations et les déglaciations » (Ballantyne, 2002). Aussi, une séquence paraglaciale débute en réaction directe à la déglaciation et s'achève lorsque l'ensemble des sédiments glaciaires hérités sont épuisés ou stabilisés (Ballantyne, 2002).
- 31 Entre 1900 et 1940, la fonte du glacier est relativement réduite et l'évolution des itinéraires limitée, en lien avec une activité géomorphologique réduite (Fig. 3) et une fréquentation plus faible qu'aujourd'hui.
- 32 En revanche, entre 1931 et les années 1960, le glacier enregistre un retrait important : son front se retire sur près de 600 m pour une perte d'épaisseur de 70 m au niveau du Montenvers (profil des Échelets ; Fig. 3B, 3C). Cette fonte explique la seconde période d'évolution des itinéraires où des équipements et des modifications de tracés sont plus fréquents tandis que la dangerosité des itinéraires augmente en réaction à la perte d'épaisseur du glacier, à l'érosion de ses moraines latérales et, par suite, l'affleurement de dalles rocheuses. Le décalage temporel entre la fonte du glacier et les effets sur les itinéraires correspond à un temps de réponse géomorphologique et de prise en compte de ces changements par les gestionnaires des sentiers (*cf. : infra*).
- 33 Ensuite, la crue du glacier entre 1970 et 1995 n'ayant pas permis d'effacer les déséquilibres des versants engendrés par son retrait au cours des trois décennies précédentes, l'évolution des itinéraires s'intensifie avec la troisième période. Les

modifications des itinéraires se font plus fréquentes et importantes en lien avec une dynamique de retrait qui se poursuit et s'accélère (Fig. 3B, 3C) et dont les effets sur les marges glaciaires s'accumulent depuis les années 1930. Entre 1995 et 2013, le glacier a subi un retrait de 700 m pour une perte d'épaisseur de 65 m au niveau du Montenvers, ce qui explique l'importance et la fréquence des installations d'échelles permettant de maintenir les accès.

- 34 Les ajouts d'échelles sont toutefois moins importants pour les transitions les plus hautes en altitude : entre 2014 et 2016, 20,5 m d'échelles ont été ajoutés sous le Montenvers (1791 m) contre 6 m pour l'Envers des Aiguilles (1920 m), 0 m pour les Égralets (2167 m), et 4,8 m pour le Requin (2240 m). La topographie locale et la présence/absence d'une moraine latérale sont d'autres facteurs qui contribuent à expliquer ces différences.
- 35 Finalement, la déglaciation est puissamment en cours depuis les années 1990 (Fig. 3) et laisse chaque année apparaître de nouveaux stocks sédimentaires (tills), ce qui suggère que la séquence « paraglaciale » va se poursuivre pendant au moins plusieurs décennies encore. Cela implique que l'ensemble des processus qui affectent les itinéraires, notamment l'érosion des moraines, vont se poursuivre, voire s'intensifier d'autant que le retrait glaciaire s'accélère : le front de la Mer de Glace devrait se retirer sur près de 1 200 m d'ici 2040 (Vincent *et al.*, 2014), ce qui correspond à la fonte totale du glacier au niveau des échelles du Montenvers, soit une perte d'épaisseur supplémentaire d'environ 160 m par rapport à 2010. Le tronçon en question atteindrait alors une dénivellation d'environ 250 m et de très hautes et dangereuses moraines latérales pourraient continuer à se développer et à se déstabiliser, compliquant encore la gestion des itinéraires.

Gestion des équipements et politiques d'aménagement des itinéraires

- 36 Des années 1990 à aujourd'hui (Période 3), l'évolution de plus en plus marquée et rapide des itinéraires est aussi le résultat du développement d'une offre touristique spécifique.
- 37 En effet, à la fin des années 1980, la mairie de Chamonix a lancé le projet des *Balcons de la Mer de Glace* dont l'objectif était de créer un itinéraire accessible aux randonneurs reliant l'ensemble des refuges du bassin de la Mer de Glace afin de dynamiser leur fréquentation (comm. pers. Communauté de Commune de la Vallée de Chamonix Mont Blanc, CCVCMB, mars 2015). Il en résulte que des itinéraires peuvent être modifiés sans lien direct avec l'évolution des conditions géomorphologiques afin de rendre le cheminement plus aisé. La modification de 1992 de l'accès au refuge de la Charpoua (Fig. 3) correspond par exemple à l'ouverture d'un tronçon permettant de rallier le refuge de la Charpoua depuis le Montenvers, puis le refuge du Couvercle, alors que rien n'avait été fait pour l'ancien accès alors qu'il était considéré comme dangereux depuis le milieu des années 1960. C'est pour cette même raison de développement touristique que les liaisons Requin-Envers des Aiguilles et Couvercle-Leschaux ont été aménagées et équipées, respectivement en 1990 et 2003.
- 38 Par ailleurs, la création en 2000 du Service des Pistes et Sentiers de la Ville de Chamonix n'est pas étrangère à l'évolution rapide des itinéraires sur la période récente puisqu'il est chargé de la gestion et de l'entretien des sentiers d'altitude. Sa responsabilité peut dès lors être engagée en cas d'accident. Cela explique (i) que l'entretien et l'aménagement des

sentiers soient assurés plus régulièrement qu'auparavant et (ii) qu'un seul itinéraire d'accès soit retenu et entretenu pour chacun des refuges.

- 39 Depuis la création du service, la CCVCMB garde la même politique quant à l'adaptation des itinéraires d'accès aux refuges de haute montagne : ils sont entretenus et équipés pour maintenir leur accès dans des conditions de sécurité acceptables pour les alpinistes sans recourir à des aménagements trop importants de type passerelles et filets (comm. pers. CCVCMB, mars 2015). Ce choix est dicté par des arguments éthiques (préservation du caractère sauvage du site) et juridiques (Site Classé où tout aménagement lourd modifiant l'état ou l'aspect des lieux est soumis à autorisation ministérielle ou préfectorale ; Choay et Merlin, 2005). Cependant, notre étude a montré que l'érosion des moraines et la perte d'épaisseur des glaciers rendaient les itinéraires de plus en plus dangereux et exposés, ce qui nécessite en retour des équipements toujours plus importants. La CCVCMB s'est interrogée sur l'éventualité de bloquer toute activité d'équipement et sur celle de démonter les équipements en place, si les conditions de maintien de la sécurité devenaient trop contraignantes. Cette éventualité remettrait en cause une très large part de la fréquentation du bassin de la Mer de Glace, pour les alpinistes et plus encore pour les randonneurs.
- 40 La question d'équiper les tronçons d'échelles en *via-ferrata* (avec ligne de vie) s'est également posée pour améliorer la sécurité et les rendre plus attractifs mais les exigences de sécurité seraient difficilement atteignables dans un contexte de haute montagne, en sus de questions éthiques et de représentations différentes en fonction des acteurs de la haute montagne (guides, gardiens, alpinistes, décideurs et associations de protection de l'environnement). Ces conflits d'acteurs renvoient à des questions de représentations sociales de la montagne et de la pratique de l'alpinisme (Piccardi *et al.*, 2014). Faut-il favoriser au maximum les équipements pour maintenir une activité économique forte, au risque de dénaturer l'environnement de pratique ? Cependant, n'est-ce pas l'un des fondements de l'alpinisme que de s'adapter au terrain ? Par ailleurs, ces itinéraires n'ont-ils pas également une valeur patrimoniale qui justifierait leur entretien ?

Quelle fréquentation des refuges ?

- 41 En lien avec l'évolution géomorphologique du bassin de la Mer de Glace et les difficultés d'adaptation et de gestion des itinéraires au niveau des transitions glacier-versant, se pose la question de l'évolution de la fréquentation des refuges, d'un point de vue à la fois quantitatif et qualitatif. La source la plus exhaustive de données correspond aux bilans de fréquentation des refuges (nombre de nuitées par saison estivale) mais outre le fait que les données sont extrêmement parcellaires, une baisse du nombre de nuitées ne peut pas être directement imputée à l'évolution de l'itinéraire d'accès ; de nombreuses autres raisons (météorologie, évolution socio-culturelle, etc.) pouvant être proposées. De plus, le nombre de nuitées ne donne aucune information qualitative. Aussi, le choix a été fait de baser cette analyse uniquement sur les résultats qualitatifs des entretiens semi-directifs menés avec les gardiens de refuges des années 1990-2000 et les employés du service Pistes et Sentiers de la CCVCMB.
- 42 D'après les personnes interrogées, l'ouverture des *Balcons de la Mer de Glace* a permis d'ouvrir les refuges aux randonneurs et de redynamiser une fréquentation qui tendait à diminuer. Les gardiens actuels confirment que la fréquentation par les randonneurs est aujourd'hui relativement importante, avec un pic entre le 15 juillet et le 15 août qui

permet de compenser la réduction d'activité observée lorsque les conditions sont moins propices à la pratique de l'alpinisme, souvent en raison d'étés de plus en plus chauds (Seneviratne *et al.*, 2014).

- 43 Cependant, l'évolution récente des transitions glacier-versant rend la fréquentation plus délicate pour les randonneurs et l'utilisation de techniques d'alpinisme tend à devenir nécessaire. Ainsi peut-on émettre l'hypothèse que les randonneurs vont progressivement abandonner le bassin au fur et à mesure de son évolution future. La fréquentation globale du secteur pourrait alors diminuer significativement, avec un impact économique fort pour les gardiens de refuges, les guides et la FFCAM. D'après les gardiens, les alpinistes sont moins affectés, leurs notions de prise de risque et d'engagement ainsi que leurs compétences techniques étant différentes.

Conclusions

- 44 L'évolution des milieux de haute montagne en lien avec le réchauffement climatique affecte de plus en plus durement les itinéraires d'accès au glacier et aux cinq refuges du bassin de la Mer de Glace. Ce travail, axé sur l'évolution de la haute montagne face au changement climatique mais intégrant une forte composante historique et sociale, montre que l'évolution des itinéraires est directement conditionnée par la dynamique de retrait du glacier (évolution paraglaciale). Ainsi, à partir des années 1960, et plus encore à partir des années 1990, la perte d'épaisseur du glacier et la dégradation corrélative de ses moraines latérales implique des modifications de tracé et la mise en place d'équipements de plus en plus régulières. Entre 2001 et 2016, des échelles sur une dénivellation de 411 m ont été ajoutées pour un total de 633 m à la fin de l'été 2016. De plus, les transitions glacier-versant tendent à être de plus en plus engagées, techniquement difficiles et dangereuses.
- 45 Ce travail intègre par ailleurs une forte composante patrimoniale dans le sens où tout un pan de l'histoire de l'alpinisme dans le secteur du Mont Blanc, berceau et haut lieu de l'alpinisme, a été reconstitué.
- 46 Enfin, les perspectives d'évolution géomorphologique du bassin étudié révèlent les limites de ces adaptations et posent la question de la gestion future des itinéraires et donc de la fréquentation à venir des refuges. Jusqu'à quel point sera-t-il possible de les équiper tout en maintenant des conditions de sécurité et de technicité acceptables ? C'est donc une partie de la pratique de la haute montagne et de son économie dans le bassin de la Mer de Glace qui pourrait être mise en péril. L'évolution des milieux de haute montagne ne risque-t-elle pas d'accélérer un déclin de l'alpinisme « classique » déjà – semble-t-il – enclenché (Weiss, 2011) ?

BIBLIOGRAPHIE

Adger W.N., Huq S., Brown K., Conway D., Hulme M., 2003.- « Adaptation to climate change in the developing world », in *Progress in development studies*, 3-3, p. 179-195.

Auer I., Böhm R., Jurkovic A., Lipa W., Orlik A., Potzmann R., Schöner W., Ungersböck M., Matulla C., Briffa K., 2007.- « HISTALP-Historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region », in *International Journal of Climatology*, 27-1, p. 17-46.

Ballantyne C.K., 2002.- « Paraglacial geomorphology », in *Quaternary Science Reviews*, 21-18, p. 1 935-2 017.

Behm M., Raffener G., Schöner W., 2006.- *Auswirkungen der Klima-und Gletscheränderung auf den Alpinismus*, Umweltverband, Vienne, p. 99.

Beniston M., 2005.- « Mountain climates and climatic change: an overview of processes focusing on the European Alps », in *Pure and Applied Geophysics*, 162, p. 1587-1606.

Beniston M., Haeberli W., 2001.- « Sensitivity of mountain regions to climatic change », in *Climate of the 21st century: changes and risks*, GEO Publications, Hambourg, p. 237-244.

Berthier E., Vincent C., Magnússon E., Gunnlaugsson Á., Pitte P., Le Meur E., Masiokas M., Ruiz L., Pálsson F., Belart J.M.C. et Wagnon P., 2014.- « Glacier topography and elevation changes derived from Pléiades sub-meter stereo images », in *The Cryosphere*, 8-6, p. 2275-2291.

Berthier E., Vincent C., 2012.- « Relative contribution of surface mass-balance and ice-flux changes to the accelerated thinning of Mer de Glace, French Alps, over 1979-2008 », in *Journal of Glaciology*, 58-209, p. 501-512.

Böhm R., Jones P.D., Hiebl J., Frank D., Brunetti M., Maugeri M., 2010.- « The early instrumental warm-bias: a solution for long central European temperature series 1760-2007 », in *Climatic Change*, 101, 1-2, p. 41-67.

Choay F., Merlin P., 2005.- « Dictionnaire de l'aménagement et de l'urbanisme », PUF, p. 964.

Church M., Ryder J.M., 1972.- « Paraglacial sedimentation: a consideration of fluvial processes conditioned by glaciation », in *Geological Society of America Bulletin*, 83-10, p. 3059-3072.

Deline P., 2008.- « Les changements climatiques et la dynamique paraglaciale dans le massif du Mont-Blanc », in *Bulletin de l'Association de géographes français*, 85-2, p. 153-160.

Deline P., Gruber S., Delaloye R., Fischer L., Geertsema M., Giardino M., Hasler A., Kirkbride M., Krautblatter M., Magnin F. et al., 2015.- « Ice loss and slope stability in high-mountain regions », in Haeberli W., Whiteman C. et Shroder J.F. (eds.), *Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters*, Elsevier Science, Saint-Louis, p. 521-561.

Einhorn B., Eckert N., Chaix C., Ravanel L., Deline P., Gardent M., Boudières V., Richard D., Vengeon J.-M., Giraud G., Schoeneich P., 2015.- « Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes. Impacts observés et potentiels sur les systèmes physiques et socio-économiques », in *Journal of Alpine Research/Revue de géographie alpine*, 103-2, consulté le 22 octobre 2016, <https://rga.revues.org/2829>.

Frei C., Calanca P., Schär C., Wanner H., Schädler B., Häberli W., Appenzeller C., Neu U., Thalmann E., Ritz C., others, 2007.- « Les changements climatiques et la Suisse en 2050 : Impacts attendus

- sur l'environnement, la société et l'économie », Organe consultatif sur les changements climatiques, Forum for Climate and Global Change, p. 172.
- Füssel H.-M., 2007.- « Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons », in *Sustainability Science*, 2-2, p. 265-275.
- Gardent M., Rabatel A., Dedieu J.-P., Deline P., 2014.- « Multitemporal glacier inventory of the French Alps from the late 1960s to the late 2000s », in *Global and Planetary Change*, 120, p. 24-37.
- Geertsema M., Clague J.J., Schwab J.W., Evans S.G., 2006.- « An overview of recent large catastrophic landslides in northern British Columbia, Canada », in *Engineering Geology*, 83-1, p. 120-143.
- Gilbert A., Vincent C., 2013.- « Atmospheric temperature changes over the 20th century at very high elevations in the European Alps from englacial temperatures », in *Geophysical Research Letters*, 40-10, p. 2 102-2 108.
- Huss M., 2012.- « Extrapolating glacier mass balance to the mountain range scale: the European Alps 1900-2100 », in *The Cryosphere*, 6, p. 1 117-1 156.
- IPCC [Field C.B., Barros V.R., Dokken D.J., Mach K.J., Mastrandrea M.D., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., et al.], 2014.- *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge-New York.
- Jaboyedoff M., Oppikofer T., Abellan A., Derron M.-H., Lloye A., Metzger R., Pedrazzini A., 2010.- « Use of LIDAR in landslide investigations: a review », in *Natural hazards*, 61, p. 5-28.
- Lukas S., Graf A., Coray S., Schlüchter C., 2012.- « Genesis, stability and preservation potential of large lateral moraines of Alpine valley glaciers: towards a unifying theory based on Findelengletscher, Switzerland », in *Quaternary Science Reviews*, 38, p. 27-48.
- Magnin F., Brenning A., Bodin X., Deline P., Ravanel L., 2015.- « Statistical modelling of rock wall permafrost distribution: application to the Mont Blanc massif », in *Géomorphologie*, 21(2), p. 145-162.
- Mercier D., 2011.- « La géomorphologie paraglaciale : Changements climatiques, fonte des glaciers et crises érosives associées », Editions universitaires européennes, p. 264.
- Nussbaumer S.U., Zumbühl H.J., Steiner D., 2007.- « Fluctuations of the « Mer de Glace » (Mont Blanc area, France) AD 1500-2050: an interdisciplinary approach using new historical data and neural network simulations », in *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 40, p. 177.
- Piccardi M., Tonetti R., Théodule A., Curtaz M., Spitz C., Huguet N., Louvier D., 2014.- « Fiches techniques opérationnelles », in *Projet Eco-Innovation en Altitude*, Espace Mont-Blanc, p. 87.
- Ravanel L., Deline P., 2011.- « Climate influence on rockfalls in high-Alpine steep rockwalls: The north side of the Aiguilles de Chamonix (Mont Blanc massif) since the end of the “Little Ice Age” », in *The Holocene*, 21-2, p. 357-365.
- Ravanel L., Deline P., 2013.- « A network of observers in the Mont Blanc massif to study rockfalls in high alpine rockwalls », in *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 36, p. 151.
- Ravanel L., Deline P., Lambiel C., Vincent C., 2013.- « Instability of a high alpine rock ridge: The lower Arête des Cosmiques, Mont Blanc Massif, France », in *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 95-1, p. 51-66.

- Ravanel L., Lambiel C., 2013.- « Évolution récente de la moraine des Gentianes (2 894 m, Valais, Suisse) : un cas de réajustement paraglacière ? », in *Environnements périglaciaires*, 18-19, p. 8.
- Reynaud L., Vincent C., 2000.- « Relevés de fluctuations sur quelques glaciers des Alpes françaises », in *La Houille Blanche*, 5, p. 79-86.
- Ritter F., Fiebig M., Muhar A., 2011.- « Impacts of global warming on mountaineering: A classification of phenomena affecting the alpine trail network », in *Mountain Research and Development*, 32, p. 4-15.
- Seneviratne S., Donat M., Mueller B., Alexander L., 2014.- « No pause in the increase of hot temperatures extremes », in *Nature Climate Change*, 4-3, p. 161-163.
- Tabeaud M., 2010.- « Les adaptations au changement climatique ou la re-découverte des acteurs et des territoires », in *Quaterni. Communication, technologies, pouvoir*, 71, p. 7-25.
- Temme A.J.A.M., 2015.- « Using Climber's Guidebooks to Assess Rock Fall Patterns Over Large Spatial and Decadal Temporal Scales: An Example from the Swiss Alps », in *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 97-4, p. 793-807.
- Vincent C., Harter M., Gilbert A., Berthier E., Six D., 2014.- « Future fluctuations of Mer de Glace, French Alps, assessed using a parameterized model calibrated with past thickness changes », in *Annals of Glaciology*, 55-66, p. 15-24.
- Vincent C., 2010.- « L'impact des changements climatiques sur les glaciers alpins », Thèse de doctorat, Université Joseph-Fourier Grenoble-1, p. 212.
- Vuilleumier R., 2014.- « Guide de bonnes pratiques pour une gestion durable des cabanes et refuges d'altitude », in *Projet Eco-Innovation en Altitude*, Espace Mont-Blanc, p. 28.
- Weiss J., 2011.- « Le réchauffement climatique implique-t-il une évolution des pratiques alpines ? », in *Les Actes des Assises de l'alpinisme et des activités de montagne*, Observatoire des pratiques de la montagne et de l'alpinisme, p. 140.

RÉSUMÉS

Le retrait glaciaire et les processus gravitaires associés, caractéristiques de l'évolution des milieux de haute montagne induite par le réchauffement climatique, affectent de plus en plus fortement les itinéraires d'alpinisme dont les sentiers d'accès aux refuges de haute altitude. Alors que ces changements n'ont quasiment fait l'objet d'aucune étude, cette recherche tente de caractériser et d'expliquer l'évolution sur un peu plus d'un siècle des accès aux cinq refuges situés autour de la Mer de Glace (massif du Mont Blanc), le plus grand glacier français (L = 11,5 km, S = 30 km²), haut lieu du tourisme alpin depuis 1741 et berceau de l'alpinisme. Ce travail repose sur une méthodologie en 3 étapes : 1) récolte et analyse de cartes, de topo-guides et de photographies, 2) conduite d'entretiens semi-directifs et 3) analyse de modèles numériques de terrain à haute résolution acquis par balayage laser terrestre. Si l'essentiel du xx^e siècle ne présente pas d'évolution marquée, la perte d'épaisseur du glacier et la dégradation associée des moraines latérales ont donné lieu à de nombreuses modifications des itinéraires à partir des années 1990. Malgré ces adaptations, leur dangerosité s'accroît et la nécessité de les équiper est sans cesse plus importante (633 m d'échelles actuellement), remettant en question l'accessibilité future des refuges.

Glacial shrinkage and the gravitational processes associated with it, which are characteristic of global warming effects in high mountain environments, are affecting mountaineering routes

more and more, including access routes to high altitude refuges. These changes have almost never been studied. Also, this research seeks to identify and explain the evolution of access trails to five refuges, located in the Mer de Glace basin (Mont Blanc massif), over more than a century. This glacier is the largest in France ($L = 11.5$ km, $SA = 30$ km²) is a major Alpine tourist attraction since 1741 and is the birthplace of mountaineering. This work is based on a three-step methodology: 1) collection and analysis of maps, climbing guidebooks and photographs, 2) semi-structured interviews and 3) analysis of high-resolution digital terrain models obtained through terrestrial laser scanning.

While there was not a significant evolution during most of the 20th century, glacier thickness loss and the associated erosion of lateral moraines have resulted in numerous modifications made to the access trails since the 1990s. Despite these adaptations, the danger they pose continues to rise, and the necessity to equip them is ever more important (633 m. of ladders at present), which raises doubts about the future accessibility of such high mountain refuges.

INDEX

Keywords : mountaineering, glacial shrinkage, paraglacial processes, high mountains, Mont Blanc massif

Mots-clés : alpinisme, retrait glaciaire, processus paraglaciaires, haute montagne, massif du Mont Blanc

AUTEURS

JACQUES MOUREY

Laboratoire EDYTEM, Université de Savoie Mont Blanc - CNRS, Chambéry, France.
jacques.mourey@univ-smb.fr

LUDOVIC RAVANEL

Laboratoire EDYTEM, Université de Savoie Mont Blanc - CNRS, Chambéry, France.