

LES ALPES

01 2012

Club Alpin Suisse CAS
Club Alpino Svizzero
Schweizer Alpen-Club
Club Alpin Svizzer





La glace en question

Itinéraire scientifique au cœur des cascades de glace

Si les cascades gelées fascinent, leur rupture parfois brutale suscite des interrogations quant à leur stabilité. Afin de mieux comprendre ces structures éphémères, des chercheurs grenoblois se sont penchés sur un type particulier de cascades, les « free-standings ». Les premiers résultats de cette étude pionnière offrent aux glaciéristes quelques clés de lecture intéressantes.

Texte : M. Montagnat, J. Weiss et F. Damilano, Grenoble

Une cascade gelée qui s'effondre en l'espace d'une nuit ne saurait laisser de glace. Les « free-standings », lieu d'accidents tout aussi meurtriers que spectaculaires, en sont un bon exemple. Accessibles essentiellement aux glaciéristes chevronnés, ces structures verticales ont la caractéristique d'être ancrées en haut et en bas de la colonne de glace, mais sans contact avec le rocher à la périphérie. Elles peuvent se rompre instantanément, parfois dans leur totalité, sous l'effet de contraintes thermiques dont les conséquences sont encore amplifiées par la frappe des glaciéristes.

Un projet pionnier

Curieux de mettre en lumière ce phénomène, des chercheurs du Laboratoire de glaciologie et de géophysique de l'environ-



Chercheurs en pleine action sur la cascade «Nuit Blanche», en suspension au-dessus du bassin d'Argentière.

Photo : Monica Dalmasso, LGGE (Grenoble)

nement (LGGE) de Grenoble se sont engagés dans un projet scientifique original faisant œuvre de pionnier dans ce domaine¹. Accompagnés d'experts du milieu et d'un glaciologue, ils ont scruté ces structures pour apporter une réponse scientifique aux questions des pratiquants. Trois cascades du type «free-standing» ont ainsi été sélectionnées, en haute altitude pour s'assurer de leur formation tout au long de l'hiver. Il s'agit des cascades «Nuit Blanche» et «Shiva Lingam» dans le vallon du glacier d'Argentière, et de la «cascade de Rovenaud» dans le Valsavarenche, en Italie.

Durant les quatre années de la première phase de recherches (2006-2010), des cascades alpines ont été équipées de capteurs de pression et de température, d'appareils photo automatiques, et des prélèvements d'échantillons ont été effectués tout au long des saisons d'hiver.

Une formation progressive

La formation de ces cascades a été étudiée à partir du suivi photographique installé par le glaciologue Luc Moreau, des relevés de température de la glace et de l'air, ainsi que des prélèvements d'échantillons. Il en est ressorti que ces structures verticales se forment par agrégation de nombreuses stalactites dont les diamètres varient de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres. La structure qui en résulte est parcourue de canaux le long desquels l'eau peut s'écouler. La structure globale croît progressivement en lien avec le cumul des températures négatives, le «potentiel de froid», au cours de la saison.

¹ Projet initié et financé pour moitié par la Fondation Petzl

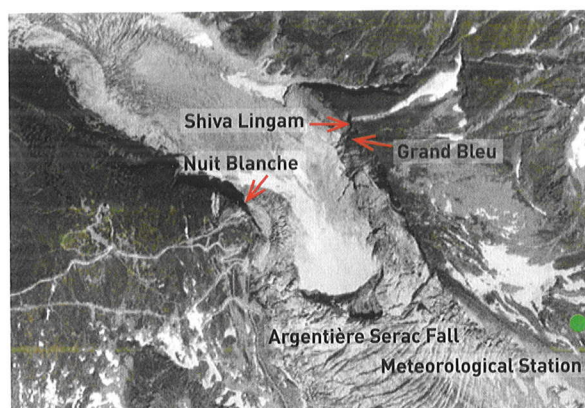
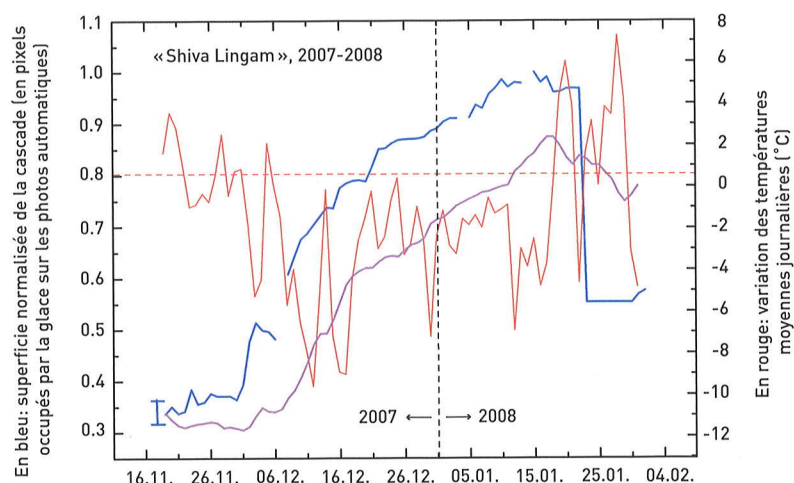


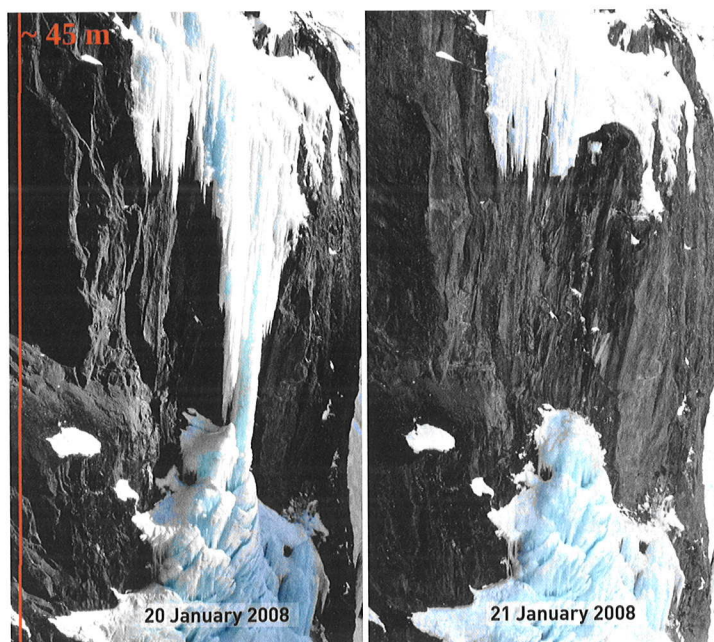
Image satellite estivale du bassin du glacier d'Argentière (Mont-Blanc), où sont situées les cascades étudiées.

Photo: Institut géographique national (IGN), France



Evolution de la superficie de la cascade « Shiva Lingam » au cours de la saison 2007-2008 (en bleu), mesurée à partir de photos automatiques (1/jour). En suivant la courbe bleue, on observe une rupture brutale de la cascade (20-21.01.2008) suite à une brusque variation de la température (en rouge). La courbe magenta indique l'évolution du potentiel de congélation au cours de la saison.

Graphique: LGGE (Grenoble)

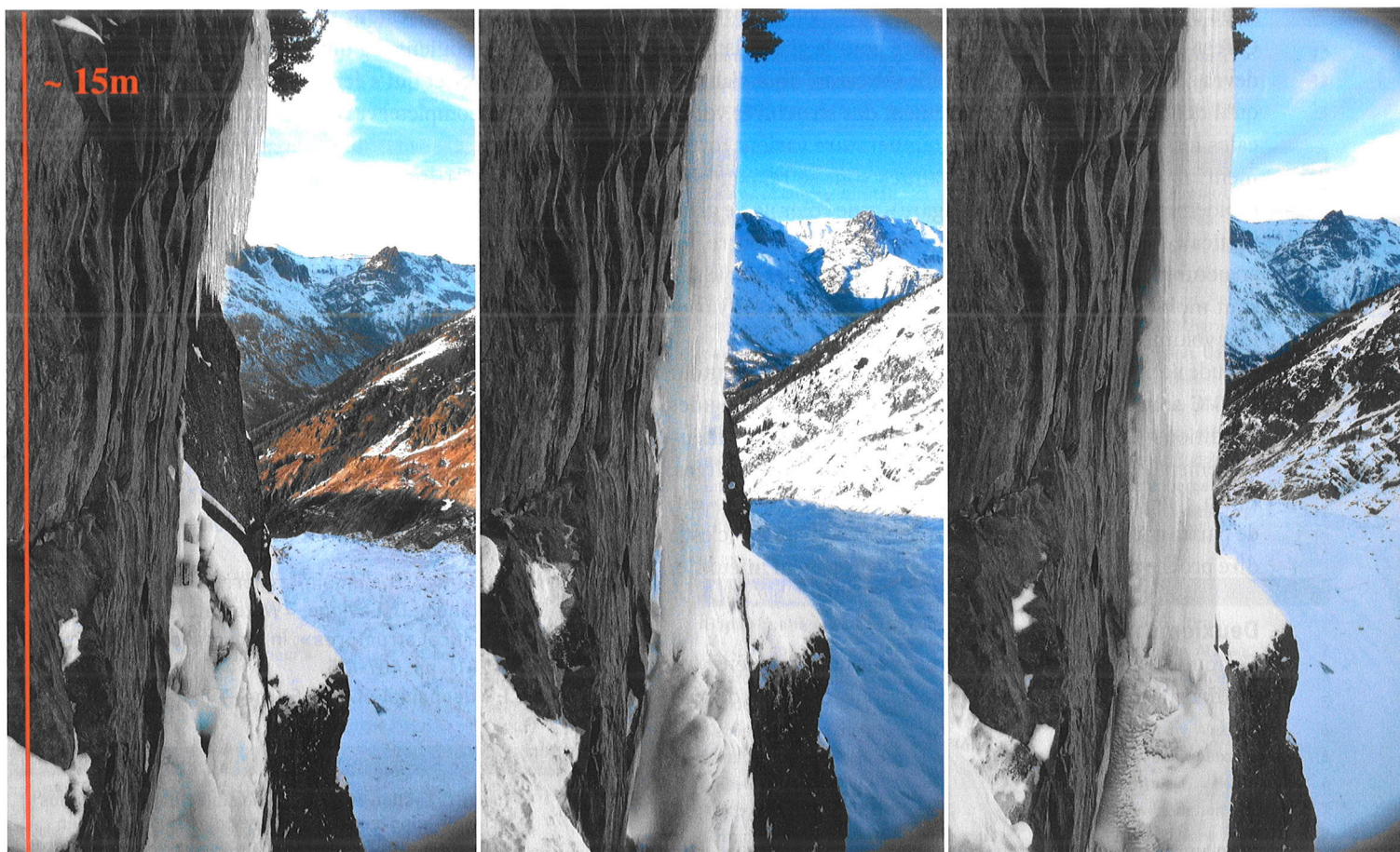


Rupture brutale du free-standing de la cascade « Shiva Lingam » dans la nuit du 20 au 21 janvier 2008, suite à une variation de température de l'ordre de 10°C durant la nuit. Photo: Luc Moreau, LGGE (Grenoble)

Mais cette évolution n'est pas linéaire, et une saturation est atteinte, au bout d'un mois environ pour les cascades étudiées. Cette saturation s'explique par le fait que, lorsque le volume de la structure augmente, celle-ci isole la zone de circulation de l'eau du froid extérieur, car la glace est un très bon isolant ! Tant que l'eau liquide n'apparaît plus à la surface, la cascade n'a plus ou presque plus de « matière » pour se nourrir. On peut cependant observer une nouvelle phase de croissance lorsque des fracturations locales permettent à l'eau de s'échapper de nouveau vers la surface.

Une disparition souvent brutale

Si la formation de ces cascades est progressive, leur destruction peut être brutale, en particulier pour les structures verticales étudiées. Le suivi photographique a permis de visualiser l'apparition de fractures horizontales qui apparaissent au niveau de la zone d'ancrage supérieure entre le rocher et la glace. Ces fractures peuvent être directement associées à un effort mécanique de traction qui agit sur la structure. Mais quelle en est la cause ? Le poids de la



Evolution du «free-standing» de la cascade «Nuit Blanche» durant l'hiver 2007-2008 sur la base de photos automatiques (de g. à d. : 28.11.2007, 17.12.2007 et 01.01.2008).

Photo : Luc Moreau, LGGE (Grenoble)

colonne de glace en elle-même va « tirer » sur la structure au niveau du point d'ancrage supérieur, mais la valeur de la contrainte produite est trop faible pour engendrer de telles fractures. Il en est de même, bien sûr, du poids d'un grimpeur accroché à la cascade. La cause principale de ces « efforts » qui agissent sur la cascade au point de la rompre brutalement, est à trouver dans les variations brutales de température.

En effet, comme la quasi-totalité des solides, la glace se dilate quand on la réchauffe, et se contracte quand on la refroidit. Imaginez maintenant que cette colonne de glace, accrochée en haut et en bas au rocher, n'est pas libre de faire évoluer son volume avec les changements de température ! Il va en résulter des efforts de traction sur le point d'ancrage supérieur. En raison des propriétés de la glace, ces efforts sont importants. Un calcul rapide montre qu'une chute de 2°C de la température de la glace peut suffire à atteindre la limite à rupture (une valeur bien connue pour la glace), et donc, théoriquement, engendrer l'effondrement de la cascade !

Des observations spectaculaires

Cette estimation est à modérer par le fait que la température peut diminuer progressivement, mais aussi qu'une baisse de la température de l'air ne va pas affecter instantanément l'ensemble de la structure de glace, mais plutôt pénétrer « lentement ». Cependant, un refroidissement de l'air de 6 à 8°C par heure suffit à placer la cascade dans des conditions critiques qu'un coup de piolet va perturber fortement.

Ceci a été vérifié par nos observations. Le premier indice, et aussi le plus spectaculaire, est la disparition de la cascade entre deux photos automatiques ! Chaque saison, « Shiva Lingam » s'est en effet effondrée au cours d'une nuit pendant laquelle les températures ont chuté d'environ 10°C.

En parallèle, grâce aux mesures en continu de nos capteurs de pression, nous avons pu relier les variations brutales de température à l'augmentation brutale de la tension dans la glace. Ces mesures ont aussi montré que des variations plus « lentes » de température n'engendraient pas de surtension dans la cascade !

Clés de lecture pour le glaciériste

Qu'est-il donc possible d'en conclure pour le glaciériste qui devra choisir la cascade sur laquelle s'exercer ? Tout d'abord, qu'il doit se méfier du comportement des structures verticales lorsque les conditions de température varient fortement. Il apparaît que les contraintes vont se relaxer plus rapidement dans le cas d'un « cigare », une colonne de glace verticale fixée au rocher sur toute sa hauteur. En outre, les structures dites « stalactites », qui ne reposent pas sur le sol, sont moins sensibles, car elles sont libres de laisser varier leur volume avec les variations de température.

L'étude ne permet pas de dire si les variations brutales autour de 0°C sont plus critiques que celles survenant dans des conditions plus froides, mais il ne devrait pas y avoir, théoriquement, de différences quant aux contraintes engendrées. Enfin, il ne faut pas perdre de vue qu'une glace « froide » est, de par sa nature, plus fragile qu'une glace « chaude » (c'est à dire proche de 0°C), car les fissures s'y propagent mieux.

Deuxième phase en cours

Ces quelques clés de lecture ne peuvent que compléter (ou confirmer) une expérience acquise au cours d'années de pra-

tique. De plus, elles restent partielles, et de nombreuses questions en découlent. La deuxième phase du projet, qui vient de démarrer et qui s'échelonne entre cet hiver et le suivant, entend compléter ces connaissances en s'intéressant d'une part à des cascades de plus basse altitude, donc plus instables, et, d'autre part, en allant se frotter aux glaces plus froides de l'Alaska, en collaboration avec des chercheurs de l'Université de Fairbanks.

→ Pour en savoir plus

F. Damilano, J. Weiss, « Itinéraire scientifique au cœur des cascades de glace », in : *Guides, Revue du Syndicat national des guides de montagne (SNGM)*, 2/2011

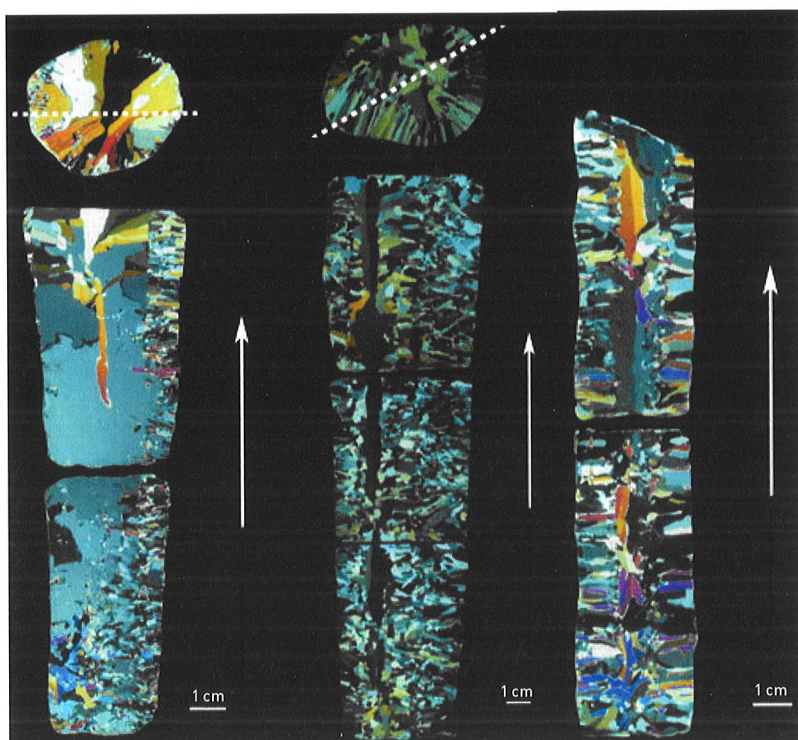
M. Montagnat, J. Weiss, B. Cinquin-Lapierre, P. A. Labory, L. Moreau, F. Damilano et D. Lavigne, « Waterfall ice : formation, structure and evolution », in : *Journal of Glaciology*, vol. 56, n° 196, 2010

J. Weiss, M. Montagnat, B. Cinquin-Lapierre, P.-A. Labory, L. Moreau, F. Damilano et D. Lavigne, « Waterfall ice : mechanical stability of vertical structures », in : *Journal of Glaciology*, vol. 57, n° 203, 2011, pp. 407-415

Vidéo (en all.): videoportal.sf.tv → Suche → Eisfälle

Coupe en lumière polarisée de trois stalactites de glace, révélant la structure des cristaux. Cette comparaison met en évidence la variabilité de microstructures prélevées le même jour.

Photo : Benjamin Cinquin-Lapierre, LGGE (Grenoble)



Vue de la section verticale d'une stalactite de glace sous forme de lame mince en lumière polarisée (haut) et en lumière naturelle (bas). On remarque l'alternance de gros grains et de petits grains. Ces derniers sont associés à la présence de bulles d'air, piégées lors d'un regel rapide.

Photo : Maurine Montagnat, LGGE (Grenoble)

