



Le 23 août 2017, une énorme avalanche rocheuse s'est formée au piz Cengalo, un sommet de 3369 mètres d'altitude du massif de la Bernina en Suisse. En A, l'écroulement de 3,1 millions de mètres cubes de roche du versant nord-est du piz Cengalo sur le glacier Vadrec dal Cengal. En B, la même paroi après l'écroulement. En C, l'avalanche rocheuse a dévalé le fond du Val Bondasca. En D, le village de Bondo, situé à l'altitude de 800 mètres après le passage de la coulée boueuse et qu'une centaine de bâtiments ont été détruits ou endommagés.

torrentielles, ces avalanches de boues et de roches extrêmement puissantes qui se déclenchent brusquement en haut de certaines pentes déstabilisées. Dans l'Arctique, où le comportement du pergélisol affecte oléoducs, gazoducs, mines, installations militaires et autres infrastructures, son étude a commencé dès les années 1940, mais dans les Alpes, il a fallu attendre les années 1970.

C'est en effet pendant cette décennie que les recherches sur le pergélisol alpin ont débuté dans l'équipe de Wilfried Haeberli, de l'université de Zurich. À l'époque, on parlait peu encore de changement climatique, de sorte que l'idée d'une relation entre la dégradation du pergélisol et l'instabilité d'un versant paraissait osée. On s'attendait en effet *a priori* à ce que des parois rocheuses soient... solides. D'ailleurs les premières études des écroulements rocheux ne permirent pas de tirer des conclusions claires sur les processus à l'œuvre. Toutefois, plus le temps a passé plus l'impression que quelque chose de majeur était en train d'affecter les montagnes s'est renforcée partout dans le monde. En France, deux épisodes marquants déclenchèrent les recherches sur les processus géomorphologiques associés à l'évolution du pergélisol.

Le premier fut l'été caniculaire de 2003. Ses conséquences conduisirent en effet à une véritable prise de conscience, tant les alpinistes furent confrontés à de nombreuses chutes, à des crevasses bien plus ouvertes qu'avant sur les glaciers, tandis que le désenglacement des

faces nord entraînait une multiplication dangereuse des écroulements...

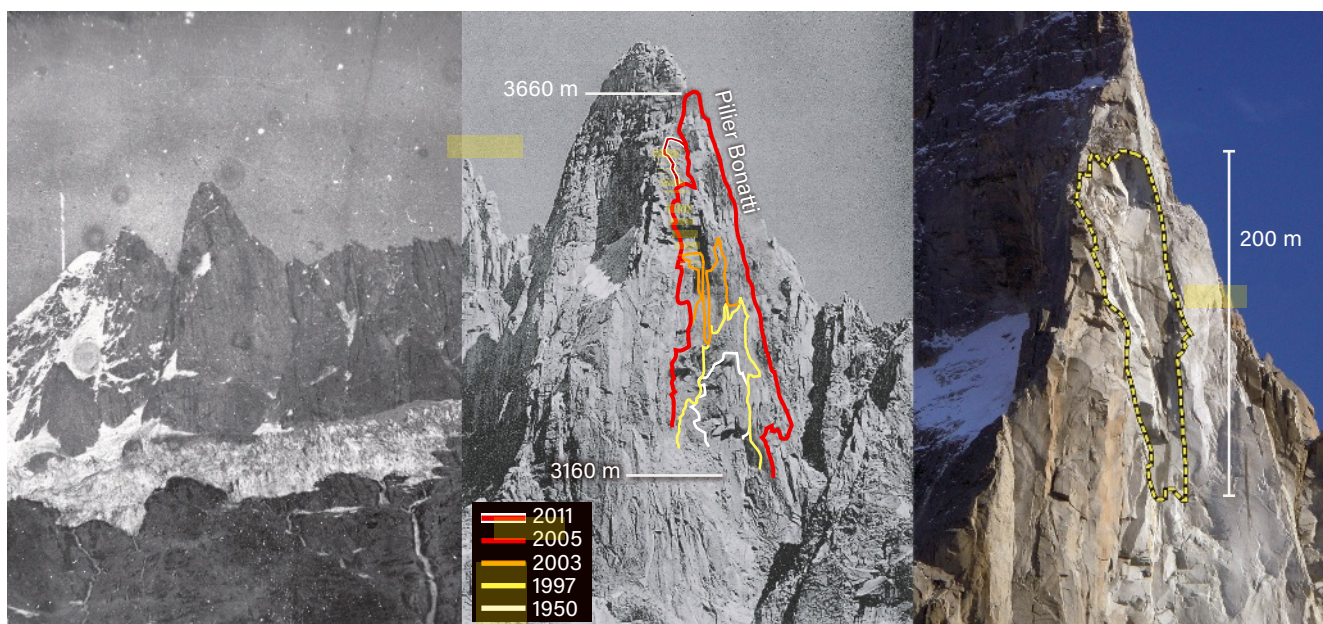
Le deuxième se produisit deux ans plus tard sur les Drus, deux célèbres pics du massif du Mont-Blanc. L'événement se déroula en quatre phases: à la fin de la matinée du 29 juin, un premier écroulement eut lieu, suivi de deux autres en début d'après-midi avant que, la nuit suivante, le pilier Bonatti entier ne s'effondre! Le 30 juin au matin, une poussière grise recouvrait le paysage sur des dizaines de kilomètres carrés, jusqu'au fond de la vallée de Chamonix, laissant à nu une grande cicatrice de 700 mètres de haut en lieu et place du célèbre pilier. En tout, huit itinéraires de courses classiques avaient disparu. À Chamonix, l'émotion fut forte, car, en alpinisme, cet énorme pilier granitique était emblématique depuis sa première ascension, en 1955, par l'Italien Walter Bonatti (voir la figure page 62, en haut).

Il fallait se rendre à l'évidence: une évolution notable de la haute montagne était en cours. Pour l'appréhender, l'analyse de larges corpus de données semblait nécessaire. Au laboratoire Edytem, avec Florence Magnin et Philip Deline, nous avons entrepris de réaliser cette tâche pour le massif du Mont-Blanc en recensant de la façon la plus complète possible les écroulements anciens et actuels afin de mieux évaluer la fréquence et l'intensité de ces événements.

RECENSER LES ÉCROULEMENTS

À partir de 2005, nous nous sommes attachés à recenser quasi systématiquement les écroulements anciens et actuels dans le massif et nous nous sommes particulièrement intéressés à l'ensemble du versant nord des aiguilles de Chamonix, où se trouvaient les Drus. Visibles depuis le centre-ville de la capitale historique de l'alpinisme, ces aiguilles contribuent à son environnement grandiose et sont médiatisées depuis longtemps. Ce point est important, car il implique qu'elles sont documentées depuis les débuts de la photographie de montagne dans les années 1850 (voir la figure page 62, en haut). La comparaison de plusieurs centaines de photographies nous a ainsi permis de couvrir la période allant de la fin du Petit Âge glaciaire (vers 1860) à aujourd'hui. À partir des modifications de la couleur et de la topographie des parois, nous avons ainsi pu mettre en évidence plusieurs dizaines d'événements, établissant leurs dates, les lieux d'écroulement, la topographie des secteurs affectés et les volumes concernés.

De 1862 à 2010, se sont donc succédé quelque 75 écroulements de 500 à 65000 mètres cubes (hors celui du pilier Bonatti de juin 2005). Une très bonne corrélation existe entre ces événements et la survenue dans les Alpes de périodes chaudes (voir la figure page 64, en bas).



Des écoulements rocheux se sont succédé sur la face ouest des Drus au cours du temps, avant l'effondrement du pilier Bonatti. À gauche, un daguerréotype montre l'état de ces pics en 1854. Au milieu, les derniers écoulements notables datés ; à droite, l'empreinte laissée par l'un d'entre eux.



Les glaciers rocheux sont un exemple de forme associée au pergélisol : ils consistent en une masse de blocs rocheux et de glace mélangés qui fluent le long de certains versants. Ici, celui du Laurichard, dans le massif du Combeynot, dans les Hautes-Alpes, qu'étudie le laboratoire Edytem.

systématiquement l'ensemble des écoulements survenus dans le massif du Mont-Blanc au cours du seul été 2003 en nous servant d'une image satellitaire datant de la fin de l'été (voir la figure page 64, en haut). Plus tard, à partir de 2007, nous avons documenté l'ensemble des écoulements se produisant tout au long de l'année dans les deux tiers centraux du massif à l'aide du réseau d'observateurs constitué de guides, de gardiens de refuges et d'alpinistes, que nous avions mis en place. En tout, 182 écoulements ont été décrits pour 2003 et plus d'un millier depuis 2007.

Ces écoulements concernent avant tout ce que l'on nomme la «couche active», c'est-à-dire l'épaisseur maximale de roche dégelant chaque année. C'est en tout cas ce que la comparaison des événements des étés caniculaires de 2003 et 2015 nous suggère. Exceptionnellement élevés, les nombres de déstabilisations de parois pendant ces étés furent assez similaires. Le volume total mobilisé en 2015 (170 000 mètres cubes) est cependant environ la moitié de celui mobilisé en 2003 (304 000 mètres cubes). De même, le volume moyen des écoulements de 2015 (1 100 mètres cubes) est à peu près la moitié du volume moyen de ceux de 2003 (2 000 mètres cubes).

Cette constatation s'explique aisément : la première canicule, celle de 2003, avait déstabilisé de nombreuses masses rocheuses, que la deuxième, celle de 2015, n'a, dès lors, pas pu affecter. En d'autres termes, les événements de 2015 se sont produits après le «nettoyage» des parois les plus instables en 2003.

La plupart se sont produits au cours des dernières décennies, celles de l'accélération du réchauffement climatique. Les étés très chauds – ceux de 1947, de 1976, de 1983 – furent accompagnés de nombreux écoulements. Mais c'est pendant l'été caniculaire de 2003 qu'ils se sont produits avec la plus grande fréquence, sans que de fortes précipitations ou des séismes ne puissent l'expliquer. Ces résultats renforçaient la théorie de Walter Haeberli attribuant un rôle central au pergélisol dans la déstabilisation des parois rocheuses.

Il fallait cependant le vérifier par une étude plus précise. Nous avons alors recensé

Les cicatrices laissées en 2003 indiquent que la couche active était particulièrement épaisse cette année-là d'après des mesures que nous avons faites sur l'aiguille du Midi (3842 mètres). L'épaisseur de la couche active est l'un des paramètres clés du phénomène d'écroulement, car son augmentation accroît les risques de déstabilisation des parois. Cette forme de dégradation du pergélisol a constitué le déclencheur des centaines d'écroulements des étés 2003 à 2015.

Comment exactement? Lorsque le pergélisol se réchauffe, la glace interstitielle vieille de plusieurs milliers d'années présente dans les fractures de la roche n'assure plus son rôle de ciment, ni celui d'obturation des fractures, ce qu'elle fait à plus basse température. Résultat: le «béton de glace» fracturé laisse circuler dans la roche de l'eau liquide, donc «chaude» (à plus de 0 °C). En 2015, cela pourrait avoir joué un rôle non négligeable en dégradant davantage la glace et en augmentant la pression hydraulique dans la roche. Comme les gendarmes du PGHM l'ont fait au Monêtier-les-Bains, on observe régulièrement la présence de glace dans les cicatrices des écroulements. Cela suggère que l'écroulement a emporté l'ensemble de la couche active du pergélisol, et s'est arrêté à une profondeur où la glace-ciment subsiste mais se dégrade.

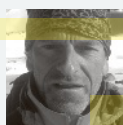
L'ÉVOLUTION DU PERGÉLISOL À L'ORIGINE DES ÉCROULEMENTS

Nous avons aussi montré que dans le massif du Mont-Blanc, le pergélisol occupe de 45 à 80% des 86 kilomètres carrés de parois ayant une pente supérieure à 40 degrés (valeur à laquelle la plupart des gens cessent d'être à l'aise debout). Il est sans doute présent dans les secteurs dont la structure le favorise à partir de 1900 mètres d'altitude en face nord et de 2400 mètres en face sud. Quoi qu'il en soit, sa présence est quasiment continue à partir de 2600 mètres en face nord et de 3000 mètres en face sud et totale au-delà de 3600 mètres, quelle que soit l'exposition au soleil.

Afin d'évaluer la répartition et l'évolution du pergélisol sous la surface, nous avons mesuré la température au fond des trois forages de 10 mètres de profondeur creusés en 2009 dans les parois de l'aiguille du Midi. Nous avons ainsi appris que les variations de la température de la couche active – qui mesure de 1,8 à plus de 6 mètres d'épaisseur – et du pergélisol – qui est «froid» ou «tempéré», sont en grande partie dues à la topographie, selon que celle-ci facilite plus ou moins l'écoulement des eaux; en revanche, les variations de la température profonde sont plutôt régies par les flux thermiques latéraux. Nous avons en outre noté qu'une couche de neige de plus de 60 centimètres refroidit les faces ensoleillées et réchauffe les faces à l'ombre; si en revanche elle est de moins de 60 centimètres, elle

LE TÉMOIGNAGE D'UN ALPINISTE SUR LES CHANGEMENTS

Propos recueillis par François Savatier



RÉGIS MERITAN

ingénieur agronome à la Commission européenne, alpiniste chevronné et grand connaisseur du massif des Écrins

Les chutes de pierres sont-elles plus fréquentes dans la perception des alpinistes ?

Leur fréquence a clairement augmenté, ainsi que celle des écroulements de parois. Pour autant, les études d'accidentologie en montagne nous ont appris que les avalanches et autres chutes de pierre n'entraînent qu'une faible proportion des décès en montagne, bien moins de 10 % des cas en général dans tous les massifs. La première cause d'accident en montagne a toujours été et reste l'erreur humaine, et la pire d'entre elles est sans doute de partir au mauvais moment. Et avec le réchauffement climatique, cela paraît de plus en plus délicat. Il m'est déjà arrivé de commettre une telle erreur : je m'étais retrouvé à la fin du mois d'août 2019 dans une voie rocheuse sur le versant sud de la Meije, réputée sûre, mais ce fut la terreur : tout bougeait ! Alors, tous les alpinistes diront la même chose : la situation en montagne a évolué et il est devenu vital de ne pas se tromper sur le moment de partir.

Dès lors, comment fait-on ?

De la manière suivante : les courses classiques que l'on faisait en été doivent désormais être faites à des périodes plus froides. Par exemple, ce que l'on faisait en juillet-août, on le fait désormais en juin-juillet. L'exemple emblématique de ceci est la traversée de la Meije, l'une des plus belles courses du massif des Écrins et des Alpes, devenu quasiment impraticable en août, depuis qu'une partie du pic du glacier carré s'est effondrée durant l'été 2018. Autre exemple, la goulotte Berhault, en face est du Pelvoux, dans les Écrins, ouverte depuis juillet 1978,

ne peut plus être envisagée qu'en novembre-décembre ou alors au début du printemps, quand règnent les conditions que l'on avait naguère en été. Pendant ces périodes, notamment à l'automne, il fait non seulement froid, mais le soleil est moins haut dans le ciel, ce qui limite la fonte, surtout si l'on n'est pas sur une face nord.

En novembre 2020, de retour justement de la goulotte Berhault, vous avez été projeté dans le vide par une chute de pierres et en avez réchappé de justesse. Cet accident est-il lié à l'effet du réchauffement climatique sur le massif des Écrins ?

Comment savoir ? Je guettais la goulotte Berhault depuis 2015, et, là, les conditions étaient idéales : il faisait – 10 °C, de sorte qu'a priori, les parois devaient être stables. Pourtant, ces pierres sont arrivées. Quelques jours avant, une autre chute de pierres avait causé un autre accident dans le couloir Chaud, une voie proche. La montagne a toujours été dangereuse et le reste de toute façon. Là, nous n'avions commis aucune imprudence, ni erreur de choix de notre fenêtre de présence en haute montagne. Il faisait très froid et nous étions trois alpinistes expérimentés. Mais l'accident est survenu... Est-ce lié aux effets du réchauffement climatique sur la montagne ? C'est impossible à dire, mais une chose est claire : les parois d'aujourd'hui sont moins stables que celles d'il y a trente ans.