

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.

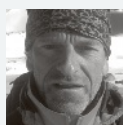
L'ÉVOLUTION DU PERGÉLISOL À L'ORIGINE DES ÉCROULEMENTS

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.

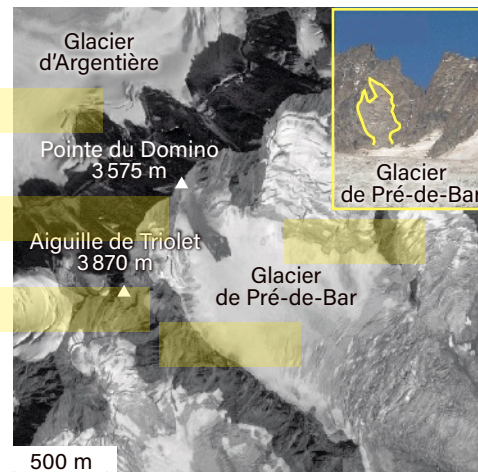
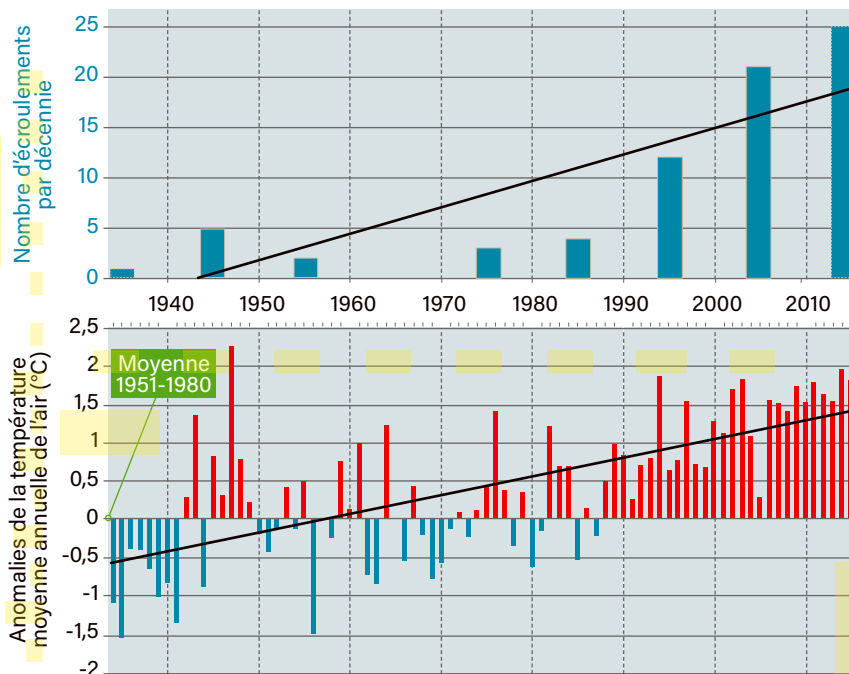
Dès lors, comment fait-on ?

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.



L'éroulement de la pointe du Domino pendant l'été 2003, sur le versant italien du massif du Mont-Blanc, reconnu à partir de son dépôt sur le glacier de Pré-de-Bar, visible sur une image prise par le satellite SPOT-5 le 22 août 2015.

L'évolution du nombre d'éroulements constatés sur la face ouest des Drus et sur le versant nord des aiguilles de Chamonix entre 1930 et 2010, mise en regard des anomalies de la température (par rapport à la moyenne 1951-1980) pendant la même période.

refroidit toutes les parois, quelle que soit leur exposition. L'enneigement influence donc l'épaisseur de la couche active!

Puisque nous connaissons mieux la distribution actuelle du pergélisol alpin, nous avons tenté de modéliser ce que pourrait être sa répartition d'ici à la fin du siècle compte tenu des scénarios climatiques proposés par le Giec en 2013 (ils seront certainement réévalués à la hausse dans le prochain rapport d'août 2021!). Nous avons utilisé pour cela la carte de la température probable à la surface des parois du massif du Mont-Blanc, afin de fixer les conditions initiales de la température de surface; ensuite, nous nous sommes servis d'une équation décrivant la conduction thermique dans la roche et avons pris en considération les processus de gel et de dégel dans les fractures du substrat rocheux afin de modéliser les séries climatiques allant de 1850 (connu) à 2100 (à prédire).

UNE DÉSTABILISATION ÉCLAIRÉE PAR DES MODÉLISATIONS

Quelles conclusions principales ressortent de cet exercice? Pour commencer, le fait que la perturbation thermique induite par le changement climatique depuis la fin du Petit Âge glaciaire (du xiv^e à la fin du xix^e siècle) est, d'après notre modèle, sensible jusqu'à 60-70 mètres de profondeur, d'où la déstabilisation possible de pans entiers de montagne comme au piz Cengalo en 2018; ensuite le fait qu'à la fin du xx^e siècle,

seulement quelques secteurs à pergélisol subsisteront au cœur des sommets évasés au-dessous de 3300 mètres d'altitude avec toutes les modifications de morphologie des montagnes que cela suppose; finalement, selon le scénario le plus pessimiste du Giec (pour le moment!), le pergélisol disparaîtrait au moins jusqu'à 4300 mètres d'altitude dans les faces sud et dans les sommets étroits ayant moins de 3850 mètres d'altitude. Étant donné que le mont Blanc culmine à 4808 mètres, on voit bien que nos montagnes comportent beaucoup de parties hautes susceptibles d'être déstabilisées.

Or, dans les seules Alpes françaises, près d'un millier d'éléments d'infrastructures – refuges, remontées mécaniques, structures associées, etc. – sont implantés sur du pergélisol. Plusieurs d'entre elles ont déjà subi des dommages en contexte de paroi. En août 1998 par exemple, le refuge des Cosmiques, situé à 3613 mètres d'altitude dans le massif du Mont-Blanc, s'est vu déstabilisé après un éroulement rocheux ayant mobilisé 600 mètres cubes directement sous le refuge. Il a donc fallu se livrer à de nombreux travaux de renforcement de son assise.

Compte tenu du degré d'anthropisation élevé de certains massifs de haute montagne – au premier chef les Alpes! – et de l'accélération du changement climatique, l'intensification des recherches sur le pergélisol – indicateur pertinent du réchauffement climatique – est une nécessité. Pas seulement dans massif du Mont-Blanc: tous les massifs de haute montagne du monde connaissent des évolutions comparables. Or, pour le moment, très peu de travaux de recherche sont menés hors des Alpes sur les éroulements de parois. ■

BIBLIOGRAPHIE

P.-A. Duviard *et al.*, **Qualitative risk assessment and strategies for infrastructure on permafrost in the French Alps**, *Cold Regions Science and Technology*, vol. 189, article 103 311, 2021.

J. Mourey *et al.*, **The effects of climate change on high mountain environments - Evolution of mountaineering routes and their conditions of use in the Mont-Blanc massif over half a century**, *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, vol. 51(1), pp. 176-189, 2019.

X. Gallach *et al.*, **Timing of rockfalls in the Mont Blanc massif (western Alps). Evidences from surface exposure dating with cosmogenic ¹⁰Be**, *Landslides*, vol. 15, pp. 1991-2000, 2018.