Comprendre le risque avalanche

Sebastiàn Escalon, Ur Etna, Thierry Caquet, Mohamed Naaim, Patrick Flammarion

▶ **To cite this version:**

Sebastiàn Escalon, Ur Etna, Thierry Caquet, Mohamed Naaim, Patrick Flammarion. Comprendre le risque avalanche. "Ressources" n°1, la revue INRAE, 1, pp.40-55, 2021, 10.17180/nb59-ks43 . hal-03451284

HAL Id: hal-03451284
https://hal.inrae.fr/hal-03451284

Submitted on 26 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

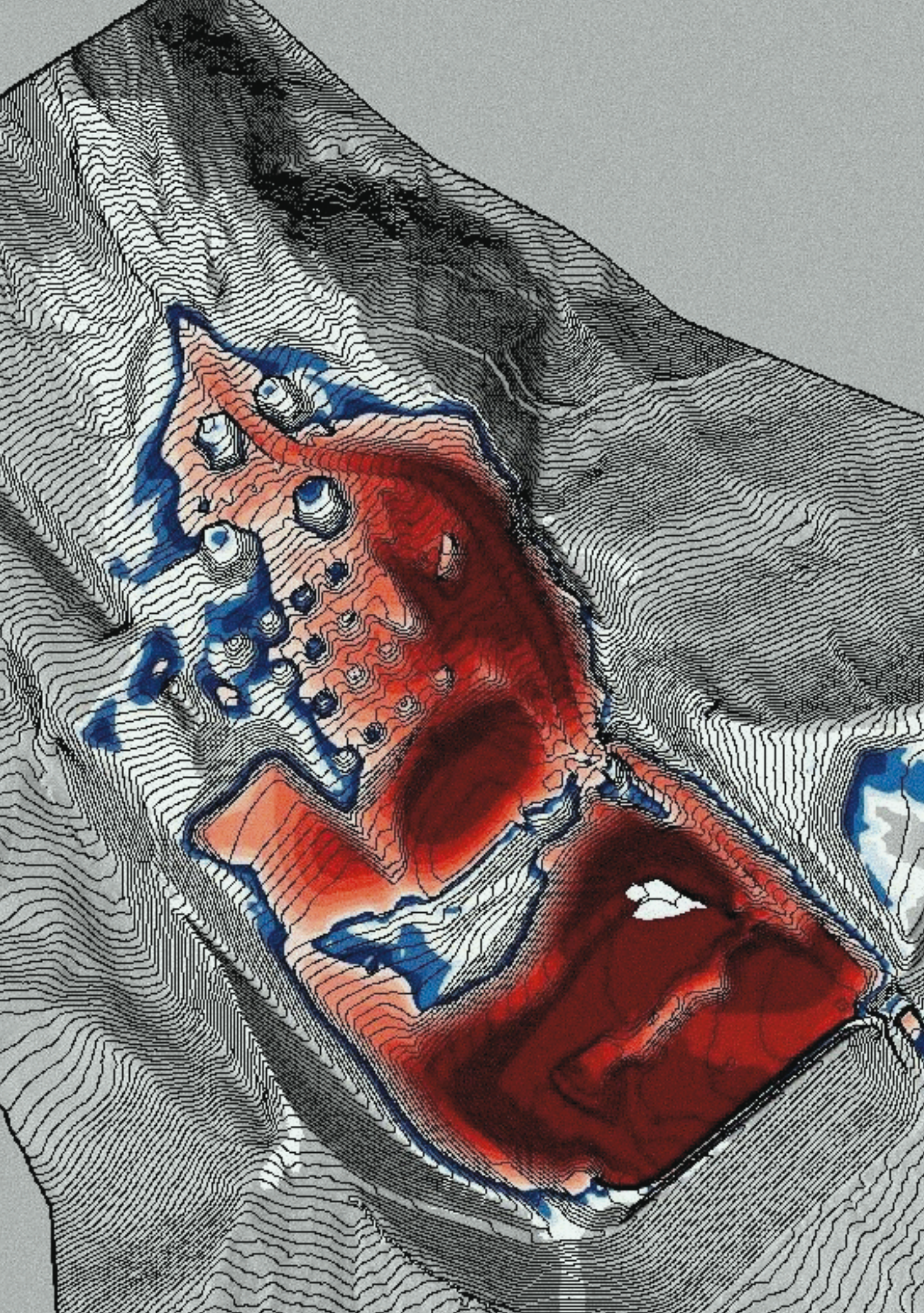
Copyright

COMPRENDRE LE RISQUE AVALANCHE

Dans le rude milieu de la montagne, les composantes du risque – aléa, exposition, vulnérabilité – sont particulièrement délicates à appréhender. À l'aide d'une palette d'outils toujours plus perfectionnés, les chercheurs développent les connaissances sur un risque en pleine évolution à l'heure du changement climatique.

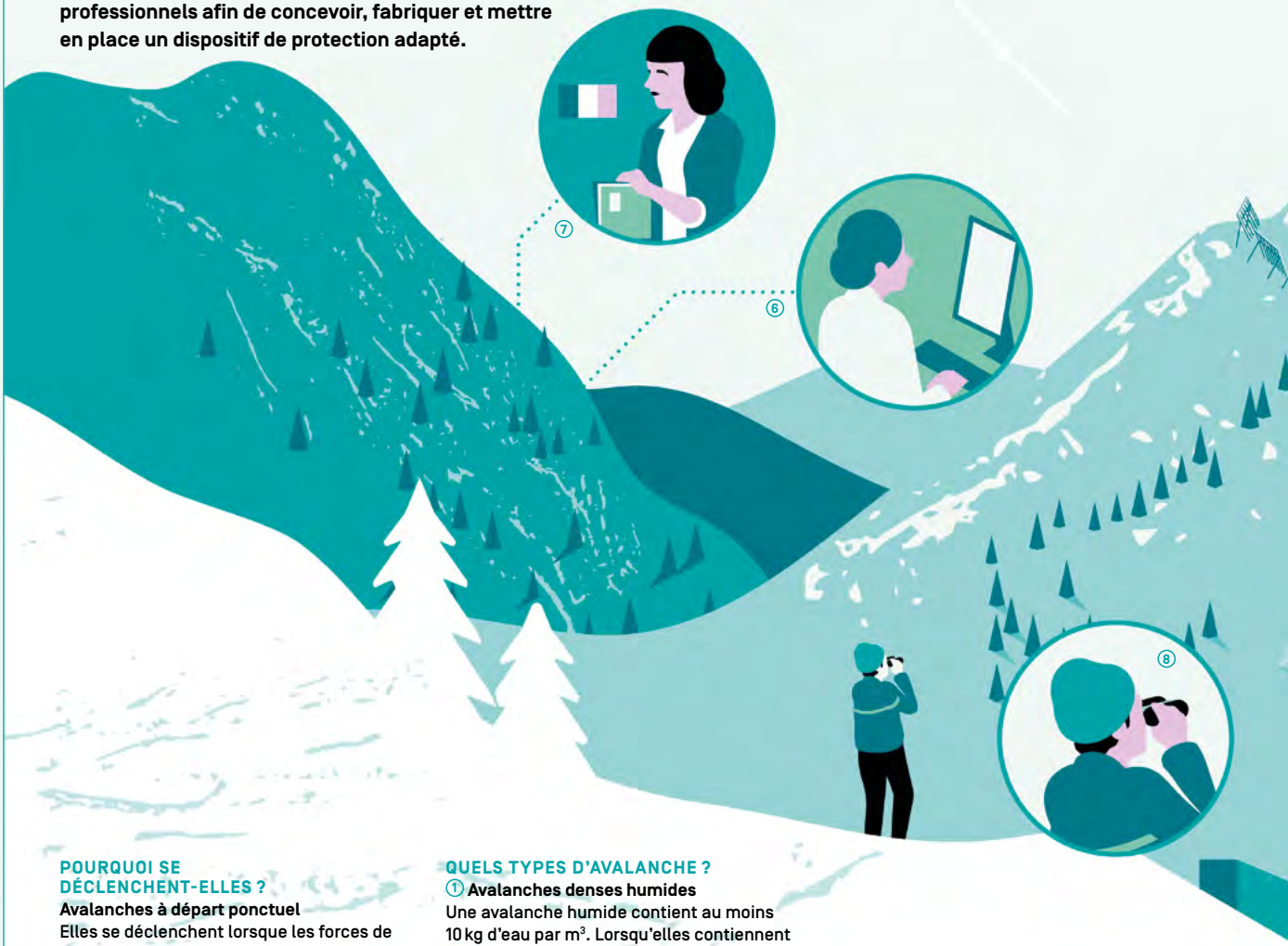
Ce dossier est dédié à Xavier Ravanat, membre de l'unité ETNA, décédé en février 2021 lors d'un accident en montagne.

© M. Naaim/INRAE



L'écosystème du risque Avalanche

La prévention contre les avalanches implique une connaissance fine des phénomènes en jeu et une interaction continue avec un réseau d'acteurs professionnels afin de concevoir, fabriquer et mettre en place un dispositif de protection adapté.



POURQUOI SE DÉCLENCHENT-ELLES ?

Avalanches à départ ponctuel
Elles se déclenchent lorsque les forces de cohésion du manteau neigeux ne suffisent plus à assurer sa stabilité. C'est souvent le cas des avalanches humides ou des avalanches de neige fraîche.

Avalanches à départ linéaire
Elles se déclenchent lorsqu'une « couche faible », peu cohésive, se retrouve sous une couche plus cohésive, plus dure. Il suffit d'une surcharge, comme le passage d'un skieur ou la chute d'une corniche, pour que la couche faible se fracture, conduisant à la déstabilisation de la couche sous-jacente et au déclenchement de l'avalanche.

QUELS TYPES D'AVALANCHE ?

① Avalanches denses humides
Une avalanche humide contient au moins 10 kg d'eau par m^3. Lorsqu'elles contiennent plus de 30 kg d'eau par m^3, les forces de frottement sont fortement réduites et l'avalanche peut parcourir de plus longues distances. Malgré leur vitesse généralement plus faible, elles sont capables d'exercer des pressions très élevées, notamment lorsque de gros volumes sont mis en jeu.

② Avalanches denses sèches
Ce sont des avalanches de neige dont la masse volumique est comprise entre 200 et 400 kg/m^3. Elles sont capables d'exercer de très fortes pressions sur les bâtiments, quand elles vont vite (jusqu'à 150 km/h).

③ Avalanches en aérosol
Composées de neige en suspension dans l'air, elles se forment au-dessus des avalanches denses. Elles peuvent atteindre 50 mètres de hauteur et remonter sur le versant opposé contrairement à la partie dense.

QUELS DISPOSITIFS PARAVALANCHES ?

④ Ouvrages de défense active
Ils visent à empêcher les avalanches de se former. Constitués de râteliers, claies, vire-vent, toits-buse ou barrières à neige, ces dispositifs mis en place dans la zone de départ stabilisent le manteau neigeux ou modifient la répartition de la neige afin d'éviter qu'une surcharge ne déclenche l'avalanche.

⑤ Ouvrages de défense passive
Ils visent à ralentir, dévier ou stopper l'avalanche. Ils sont constitués de tas freineurs, de digues de déviation, de galeries et de digues d'arrêt.

QUI SONT LES ACTEURS IMPLIQUÉS ?

Le travail mené par l'unité ETNA ⑥ sur la connaissance du phénomène et la conception d'outils de prévention ne peut se faire sans une forte synergie avec d'autres laboratoires, notamment le Centre d'étude de la neige (CEN, au sein du Centre national de recherches météorologiques - CNRM), dans le cadre de projets collaboratifs à l'échelle nationale ou européenne voire internationale.

Les interactions fortes avec l'ensemble des acteurs des risques naturels en montagne, donneurs d'ordre ou opérationnels : Direction générale de la prévention des risques (DGPR) au ministère de la Transition écologique (MTE) ⑦, Service Restauration des terrains en montagne (RTM) de l'Office national des forêts (ONF) ⑧, bureaux d'études ⑨, communautés de communes ⑩ associations... permettent une prévention au plus près des besoins de tous.

UNE APPROCHE SYSTÉMIQUE

POUR UN RISQUE EN GRANDE ÉVOLUTION

Grâce à un engagement continu des chercheurs depuis 50 ans, l'approche et les outils d'étude du risque Avalanche se perfectionnent, dans une optique résolument multidisciplinaire et intégrative. Indispensable, à l'heure où le changement climatique complexifie la donne.

Rendre la zone non constructible ou l'aménager avec un ouvrage de protection ? Entre développement et sécurité, la compétition pour l'espace est toujours féroce en montagne. Les décisions liées au risque avalancheux se chiffrent en millions d'euros et peuvent avoir des conséquences sur des vies humaines. Les questions de recherche associées sont complexes et recouvrent plusieurs échelles, allant de la compréhension de la physique des avalanches à celle des évolutions des composantes de ce risque : aléa, vulnérabilité et exposition.

Appréhender le risque dans sa globalité

1970 fut une année noire pour la montagne française. Le 10 février, une avalanche dévalait sur un chalet du centre de vacances UCPA à Val-d'Isère tuant 39 personnes. Deux mois plus tard, sur le plateau d'Assy, un glissement de terrain, mélange de boue, de neige et d'eau, s'abattait sur un sanatorium. Bilan : 72 morts.

Ces deux tragédies ont eu l'effet d'un électrochoc : la France s'est vue démunie face à ces phénomènes récurrents mais difficilement prévisibles. La création du Service de nivologie du CTGREF[1], ancêtre de l'actuelle unité de recherche Érosion torrentielle, neige et avalanches (ETNA) d'INRAE, fut alors décidée, lui donnant pour mission principale de mieux appréhender les risques causés par les avalanches. *« À ses débuts, l'unité s'intéressait principalement à la localisation des avalanches, au développement et à la mise au point des dispositifs de protection »*, retrace Florence Naaim, directrice d'ETNA. *« Puis, nous avons basculé sur la recherche concernant la nivologie et plus spécifiquement la physique des avalanches ; nous nous intéressons désormais également aux enjeux, à leur vulnérabilité et à l'ensemble des mécanismes physiques et sociaux à l'origine du risque. Ainsi, nous ne nous focalisons pas uniquement sur l'aléa mais traitons le risque dans sa globalité avec une approche systémique. »*

Cette dynamique reflète la reconnaissance du caractère systémique du risque intégrant conjointement les dimensions d'aléa, de vulnérabilité et d'exposition et leurs évolutions respectives, promu notamment par le cadre de Sendai (2015)[2]. En effet, prévenir les dommages nécessite de comprendre comment différents facteurs (climat, topographie, pratiques de l'espace et choix d'aménagement par les sociétés, etc.), en se conjuguant, peuvent conduire à la catastrophe, ce qui requiert une vision à la fois globale et interdisciplinaire. Le laboratoire compte d'ailleurs aujourd'hui 30 chercheurs, ingénieurs et techniciens, aux

disciplines variées : physiciens, modélisateurs, spécialistes de la mesure, statisticiens, historiens...

Observer, modéliser, quantifier

S'inscrivant dans une tradition d'observation entamée en 1899 avec la création de l'Enquête permanente sur les avalanches (EPA, *lire p. 47*) – toujours gérée conjointement avec l'Office national des forêts (ONF) et le ministère de la Transition écologique (MTE) –, les travaux basés sur des approches à prédominance naturaliste ont été complétés dans les années 1970 par des recherches sur la physique et la modélisation des processus. Afin de mieux quantifier l'aléa, définir les zones où le risque peut être considéré comme acceptable et optimiser les stratégies d'atténuation du risque, les chercheurs ont, dans les années 2000, associé aux modèles déterministes de propagation des avalanches l'information contenue dans l'EPA dans un cadre statistique. Des modèles numérico-probabilistes de plus en plus précis pour l'évaluation des « avalanches centennales » en ont résulté. De l'échelle du couloir avalancheux, l'approche a été étendue à celle de massifs, permettant l'évaluation des aléas sur les couloirs pas ou peu documentés. Cette modélisation probabiliste de l'aléa, locale puis régionale, permet de caractériser la variabilité de l'activité avalancheuse à différentes échelles de temps et d'espace. C'est utile pour comprendre pourquoi certains massifs sont plus actifs que d'autres, en lien avec leur topographie et leur localisation, de même pour comprendre les liens entre activité avalancheuse et forçage météorologique (*voir glossaire p. 48*).
Dans le même temps, les enjeux et leur vulnérabilité ont été intégrés. Pour ce faire, des modèles de vulnérabilité du bâti et de ses occupants aux avalanches ont été développés. Ils ont été couplés aux modèles d'aléas, sous la forme de modèles de risque quantitatifs permettant le calcul de niveaux de risque individuel exprimés en taux de décès ou de destruction, et l'optimisation d'ouvrages de protection. Et désormais les sciences humaines et sociales complètent cette approche. →

↑ **Avalanche en aérosol, aussi dite « de poudreuse », reconnaissable par la formation d'un nuage d'air et de neige en surface, lors de son écoulement dans la pente.**

p. 41 **Modélisation numérique de l'avalanche de Taconnaz (15 avril 2021), qui a été stoppée par un système paravalanche.**

1. CTGREF : Centre technique du génie rural des eaux et forêts, ancêtre d'Irstea qui a fusionné le 1er janvier 2020 avec l'Inra pour former INRAE.

2. Le cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes 2015-2030, adopté par la 3e Conférence mondiale de l'ONU, s'inscrit dans une suite de textes ratifiés depuis 1994 pour améliorer la réduction des risques au niveau mondial.

© M. Deschâtres/INRAE

↑ Les chercheurs interprètent des photographies aériennes pour réaliser la Carte des localisations des phénomènes d'avalanches (CLPA).

Ainsi, l'expertise historique permet par exemple de mieux exploiter et valoriser les archives. De même, l'analyse de l'évolution des choix d'aménagement et des perceptions du risque par les sociétés est prise en compte pour comprendre les facteurs de vulnérabilité et l'exposition actuelle, et pouvoir agir dessus...
Un risque maîtrisé alors ? Loin de là ! Les systèmes socio-environnementaux de montagne évoluent à présent extrêmement rapidement sous l'action des changements globaux (climatiques, sociétaux, etc.), altérant ainsi le risque.

Un changement climatique aux multiples impacts

L'impact du changement climatique sur l'aléa a été la première question traitée. Les chercheurs ont d'abord étudié l'évolution de l'activité avalancheuse aux échelles des processus climatiques. Ils ont ainsi montré qu'au début des années 1980 une série d'hivers très rudes a conduit à un pic de l'activité avalancheuse en France, puis que, dès le milieu des années 1980, les avalanches sont devenues moins fréquentes et moins importantes à basse et moyenne altitude, avec une proportion plus grande d'avalanches de neige humide. Pour le futur, des travaux menés conjointement avec le Centre d'étude de la neige de Météo France sur la base des scénarios du GIEC (*lire p. 48*) ont permis de montrer que l'évolution déjà en cours va s'amplifier, avec, par exemple, une diminution globale projetée de l'activité avalanches de 20 à 30 % au cours du XXIe siècle du fait d'une réduction drastique de l'enneigement. À noter toutefois un cas particulier en haute altitude où, du fait de précipitations neigeuses extrêmes, le nombre d'avalanches pourrait augmenter pendant quelque temps, avant de diminuer, avec l'occurrence encore possible d'avalanches de neige froide et sèche de grande ampleur, comme cela a été le cas en

Si globalement l'enneigement diminue, dans les territoires de montagne, le risque avalancheux persiste, avec de nouveaux contours.

1999 à Montroc, dans la vallée de Chamonix. Une avalanche avait alors emporté 14 chalets et tué 12 personnes. Les travaux en cours visent à affiner ces estimations afin d'obtenir des projections futures plus réalistes en termes d'évolution du nombre, de l'intensité, de la localisation et de la saisonnalité des avalanches.

Impact du tourisme et du bâti

Les autres déterminants du risque évoluent au moins aussi rapidement. Avec le réchauffement et la déprise agropastorale, les versants se reboisent très rapidement. En parallèle, les zones bâties voient globalement leur taille augmenter, notamment du fait de l'essor du tourisme hivernal, tandis que des ouvrages de protection sont construits alors que d'autres se dégradent parfois, faute d'entretien suffisant, l'ensemble jouant sur l'exposition au risque. Les chercheurs mettent à jour cette mécanique complexe, très variable d'un contexte local à un autre, en conjuguant approches qualitatives et quantitatives à différentes échelles de temps et d'espace. Il a pu notamment être montré que, dans les très hautes vallées alpines, le risque lié aux avalanches pour le bâti et ses occupants avait vraisemblablement augmenté au cours des dernières décennies, sous l'action conjuguée d'un aléa toujours présent et d'une exposition en augmentation. A contrario, aux altitudes plus basses, le risque est en diminution sous l'action conjuguée d'une réduction de l'enneigement et d'un boisement progressif des couloirs, parfois jusqu'aux zones de départ d'avalanches. Des calculs de risque quantitatifs ont pu montrer comment le renforcement des bâtiments exposés et la gestion de la forêt à fonction de protection, pouvaient être conjugués pour s'adapter à ces évolutions et maîtriser le risque.

Ainsi, si globalement l'enneigement diminue, dans les territoires de montagne, le risque avalancheux persiste avec de nouveaux contours. Appelés à élaborer des stratégies d'adaptation aux investissements à long terme, les acteurs de ces territoires doivent pouvoir s'appuyer sur des connaissances exactes et fiables. L'approche systémique de la recherche et des travaux de plus en plus précis accompagnent ces décideurs pour appréhender au plus près un risque en grande évolution. ●

RESSOURCES

Un jeu de données unique au monde

« Là où une avalanche est venue, elle repassera ». Voilà ce que nous enseigne la sagesse populaire. En 1899, face aux dégâts provoqués par les avalanches, Paul Mougin, ingénieur des Eaux et Forêts, lançait ainsi une initiative originale : réaliser un inventaire des avalanches survenues en Savoie. Ceci permettrait de garder une trace de ces événements et d'évaluer l'étendue des forêts détruites chaque année.

L'ingénieur Mougin ne pouvait pas savoir que, 120 ans plus tard, son œuvre perdurerait : hiver après hiver, 260 agents de l'ONF collectent des données sur les avalanches sur 3 600 couloirs répartis dans 11 départements français (Alpes et Pyrénées). Consciencieusement, ils notent leurs dates, leurs altitudes de déclenchement et d'arrêt, leurs volumes et bien d'autres caractéristiques. Ces données alimentent l'Enquête permanente sur les avalanches (EPA) qui regroupe aujourd'hui plus de 100 000 observations. À la suite de la catastrophe de Val-d'Isère en février 1970, cette chronique d'événements a été complétée à la demande de l'État par une carte-inventaire des emprises maximales des phénomènes : la CLPA (Carte de localisation des phénomènes avalancheux).

Cette carte reprend les phénomènes observés ou historiques via la représentation des limites extrêmes atteintes par les avalanches. Elle est réalisée par l'unité de recherche ETNA, d'abord à l'aide de photos-interprétations et d'observations de terrain, puis par recueil de documents d'archives et de témoignages auprès des habitants et des professionnels de la montagne. EPA et CLPA, dispositifs financés par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) du ministère de la Transition écologique, et gérés par INRAE, offrent des visions temporelle et spatiale complémentaires d'un même phénomène et fournissent un jeu de données unique, exploité pour l'expertise et la recherche, en libre accès sur : *www.avalanches.fr*

CARTE DE LOCALISATION DES PHÉNOMÈNES AVALANCHEUX (CLPA)

850 000 hectares cartographiés

25 000 emprises d'avalanches répertoriées

13 000 témoignages recueillis

GLOSSAIRE

Aléa

Phénomène plus ou moins probable sur un espace donné, caractérisé par sa localisation, son intensité, son ampleur, sa fréquence et le degré de probabilité qui lui est associé.

Vulnérabilité

Condition provoquée par des facteurs ou processus physiques, sociaux, économiques et environnementaux, qui ont pour effet de rendre les personnes, les communautés, les biens matériels ou les systèmes plus sensibles aux aléas.

Exposition

Situation des personnes, infrastructures, logements, capacités de production et autres actifs tangibles situés dans des zones à risque.

Mesures d'atténuation ou de mitigation

Elles correspondent à la réduction ou limitation des conséquences négatives d'un événement dangereux.

Forçage

(de l'activité avalancheuse) Caractéristiques météorologiques qui déterminent l'enneigement et donc l'activité avalancheuse locale : température, précipitation, vent…

(Source : cahier n° 10 de l'ANR : Risques et catastrophes naturelles ; INRAE)

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Que dit le GIEC sur les avalanches ?

Connu pour ses synthèses internationales de référence (6e rapport publié le 9 août 2021) le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) produit également des « rapports spéciaux ». Celui dédié aux océans et à la cryosphère (*Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* – SROCC), en 2019, a été le premier comportant un chapitre spécifique sur les zones de montagne.

« *Alors que les rapports du GIEC font traditionnellement la part belle aux glaciers et aux milieux polaires, ils ne disaient jusqu'ici presque rien de l'évolution des avalanches et du risque associé en raison d'un manque de résultats disponibles dû à la complexité du problème* », expose Nicolas Eckert, chercheur de l'unité ETNA. En effet, pour détecter des changements passés, il est nécessaire de disposer de séries d'observations longues et homogènes, et de les exploiter avec un arsenal statistique relativement avancé. De même, pour appréhender les évolutions futures de l'activité avalancheuse, il faut convertir les scénarios d'évolution globaux du climat en scénarios locaux d'évolution de la météorologie et de l'enneigement. Cela nécessite d'utiliser des techniques complexes de changement d'échelle et de correction de biais : forçage des modèles régionaux de circulation (CRM) par les modèles généraux (CGM), adaptation à la topographie de montagne, modélisations de l'enneigement à l'aide de modèles physiques corrigés par l'observation. Il est alors possible d'alimenter des relations empiriques entre enneigement et activité avalancheuse établies sur le passé.

Ce rapport, auquel INRAE a contribué, conclut avec un niveau de confiance élevé que les aléas naturels en montagne, dont les avalanches spontanées, se produiront dans le futur dans des lieux et/ou à des saisons où ils ne se produisaient pas jusqu'alors. Cette formulation, fruit d'un compromis scientifique et politique, sans nier la possible réduction locale de l'aléa avec l'enneigement, met l'accent sur les problèmes potentiellement posés par l'évolution rapide dans la localisation spatiale et temporelle des phénomènes dangereux. Ainsi, on s'attend à davantage d'avalanches de neige humide aux altitudes élevées et au cœur de l'hiver, où l'enneigement est pour l'instant préservé. Cette évolution doit être prise en compte, par exemple, pour adapter les dimensionnements des remontées mécaniques qui pourraient être touchées par des avalanches exerçant potentiellement de fortes pressions en pleine saison touristique.

UNE RECHERCHE À MULTIPLES FACETTES

De l'échelle du micromètre à celle d'un massif montagneux, de l'observation à la modélisation, les chercheurs convoquent l'ensemble des techniques et technologies d'aujourd'hui, en nivologie et au-delà, pour connaître et anticiper ce phénomène complexe.

« La physique des avalanches reste une thématique-clé… Nous travaillons de l'échelle du grain de neige à celle du massif », explique Florence Naaim, directrice de l'unité de recherche ETNA. En effet, lorsqu'on parle d'avalanches, *« on ne peut pas comprendre le très grand sans connaître le tout petit »*. Observation, expérimentation et modélisation constituent le triptyque des chercheurs permettant d'améliorer la connaissance pour mieux anticiper les phénomènes.

Des observations grandeur nature pour alimenter les connaissances

Les chercheurs d'ETNA s'appuient sur plusieurs sites de terrain pour réaliser leurs observations. Pour comprendre la dynamique des avalanches, ils disposent depuis 1973 d'un lieu exceptionnel : le site expérimental du Lautaret, dans les Hautes-Alpes. Grâce à un exploseur au gaz, ils peuvent y déclencher des avalanches et les analyser sous toutes les coutures. *« On étudie leurs caractéristiques telles que la vitesse d'écoulement ou le volume de neige déplacé. Grâce à des systèmes d'imagerie, on peut filmer l'avalanche avec une caméra rapide ou en 3D, et mieux comprendre l'interaction entre l'avalanche et le terrain. Les capteurs posés sur un obstacle le long du parcours nous permettent de mesurer la pression qu'elle exerce »*, explique Emmanuel Thibert, chercheur à ETNA. *« On a ainsi montré qu'une avalanche peut entraîner une grande quantité de neige allant jusqu'à 10 fois celle mobilisée dans la zone de départ, ou encore que le coefficient permettant de calculer la pression exercée sur un obstacle à partir de la vitesse de l'avalanche et de sa masse volumique était jusqu'alors très largement sous-estimé (d'un facteur 10) dans les zones de faible vitesse (zones d'arrêt) »* détaille Florence Naaim.

Au col du Lac-Blanc à 2 700 m, à proximité de la station de l'Alpe-d'Huez (Isère), les chercheurs étudient l'interaction entre la neige et le vent en collaboration avec leurs collègues du Centre d'étude de la neige du Centre national de recherches météorologiques (CNRM). En effet, le vent est un élément central dans le déclenchement des avalanches. Celui-ci modifie les dépôts de neige et crée des corniches ou des accumulations qui, à tout moment, peuvent entraîner des avalanches. *« Véritable soufflerie naturelle, instrumenté depuis 30 ans, notre site a permis d'éprouver de nouvelles techniques de mesure, et de créer une base de données climatologiques unique, attirant équipes scientifiques autrichiennes et japonaises. Ce sont, en effet, plusieurs centaines de tonnes de neige par mètre linéaire* →

© H. Raguet

↑ Maquette modélisant une avalanche dense. Un procédé qui a permis le dimensionnement du paravalanche de Taconnaz.

de crête que voient défiler nos capteurs chaque saison », précise Florence Naaim.

Des expérimentations en laboratoire pour mieux comprendre

Mais étudier les avalanches « en vrai » ne suffit pas. Pour comprendre la façon dont chaque grain de neige roule sur les autres, accélère ou ralentit, d'autres méthodes sont nécessaires. C'est ainsi que les modèles réduits entrent en jeu. Ceux-ci permettent de réaliser des expériences sur la dynamique des écoulements neigeux. *« Nous utilisons deux analogies »*, décrit Thierry Faug, chercheur et ingénieur de l'unité. *« Pour les avalanches denses et sèches, on mime le comportement des grains de neige sèche, à savoir leur cohésion et leur frottement, en utilisant des billes de verre et de la poudre de PVC. Pour les avalanches en aérosol, nous faisons couler un fluide lourd, de l'eau salée par exemple, dans un fluide plus léger, de l'eau claire. Le fluide lourd permet d'imiter le mélange d'air et de particules de glace en suspension qui constitue ce type d'avalanches. »*

Il faut cependant descendre à des échelles encore plus réduites pour connaître les lois qui régissent la déformation de la neige dans le manteau neigeux et son écoulement durant l'avalanche. *« Les propriétés mécaniques de la neige dépendent de la microstructure du matériau »*, rappelle Guillaume Chambon, directeur de recherche adjoint de l'unité ETNA. Pour étudier cette microstructure, les chercheurs utilisent des tomographes à rayons X. *« Ces appareils nous permettent d'observer des détails de quelques micromètres. On peut ainsi étudier l'évolution de la neige en fonction de divers paramètres, comme la température ou la pression, et créer des modèles tridimensionnels pour explorer la réponse mécanique du matériau au moyen d'expériences numériques »*, ajoute le chercheur.

Des modèles numériques pour l'exploitation des données

Toutes ces observations et expériences ne pourraient cependant être exploitées, notamment pour la prévention, sans une autre méthode employée par l'unité : la modélisation numérique. Le but ? *« Nous essayons d'intégrer dans un même modèle des connaissances qui vont de l'échelle microscopique à celle d'un versant entier »*, explique Guillaume Chambon. Ces modèles et simulations numériques permettent ensuite de déclencher des avalanches virtuelles en faisant varier les paramètres de départ. À partir de ces modèles croisés avec les scénarios climatiques du GIEC, il est alors possible d'imaginer à quoi ressembleront les avalanches du futur. La combinaison de ces méthodes a déjà porté ses fruits. Les modèles d'avalanches denses et en aérosol sont déjà très fiables, et permettent, par exemple, de faire des recommandations précises sur les structures paravalanches à mettre en place.

Le changement climatique invite cependant la recherche à poursuivre ses travaux pour mieux connaître les avalanches humides, dans lesquelles l'eau liquide et la glace se mêlent, et dont la dynamique n'est pas encore bien comprise.
Pour cela, l'observation, l'expérimentation et la modélisation seront sans doute encore une fois la combinaison gagnante pour perfectionner la connaissance d'un phénomène complexe et optimiser les outils de prévention. ●

CLIMAT

Les avalanches humides, un risque émergent

L'une des évolutions majeures provoquées par le changement climatique est l'augmentation de la fréquence des avalanches humides. Ces avalanches constituent un risque émergent vis-à-vis duquel certains sites ne sont pas bien préparés.

Les écoulements dus aux avalanches humides, lorsqu'ils surviennent plus tôt dans la saison hivernale, sont capables de mobiliser de gros volumes de neige et d'eau, et d'exercer des pressions élevées de l'ordre de 10 t/m², malgré leur faible vitesse, et causer d'importants dégâts. Dans certains cas extrêmes, lorsque la proportion d'eau est très élevée, ces écoulements peuvent parcourir des distances étonnamment longues allant de plusieurs centaines de mètres au kilomètre, dépassant les périmètres habituels. Autre problème : la dynamique des avalanches humides n'est pas encore bien connue. « *Nous sommes là à la limite de nos connaissances sur ce phénomène. Nous ne savons pas encore bien modéliser leur comportement* », admet Thierry Faug, chercheur à l'unité ETNA.
Or, dans beaucoup de sites de montagne, les dispositifs paravalanches sont dimensionnés pour protéger contre un scénario d'avalanche de neige froide et sèche. Face à une avalanche humide de fortes dimensions, ces protections pourraient, dans certains cas, ne pas suffire.

Revoir les dispositifs de protection

Ainsi, les dispositifs de défense active, faits de râteliers, filets, claies ou vire-vent pour empêcher le déclenchement des avalanches en haut des pentes, pourraient être emportés ou s'avérer inopérants. En effet, avec le réchauffement, le comportement de la neige en reptation[1] change du fait de son humidification. « *La présence d'eau en plus grande quantité alourdit la neige et entraîne plus de glissements du manteau neigeux et ceci amplifie les forces sur les ouvrages* », explique Thierry Faug. Aussi, ils devront être conçus pour résister à des pressions désormais plus fortes en raison de l'évolution du manteau neigeux et des conditions de départ des avalanches.
Ils devront également être envisagés dans de nouveaux sites, où le glissement à la base était peu actif jusque-là.
La défense passive pourrait elle aussi souffrir de cette évolution. Ce type de stratégie vise à freiner, dévier ou stopper l'avalanche à l'aide de tas freineurs, de digues d'arrêt ou de digues de déviation. Mais, sur certains sites, la marge de ces structures de protection par rapport aux aléas n'est pas très grande.
Or, l'avalanche humide ne suit pas toujours la trajectoire attendue suivant la plus grande pente. Une avalanche humide de grand volume, du fait de ses trajectoires difficiles à prédire, pourrait alors déborder ces protections et causer des dégâts.
L'heure n'est pas à la panique mais à la prudence. « *Il n'y a pas à réinventer les stratégies paravalanches* », tempère Thierry Faug. « *Néanmoins, il y a des endroits où il faudra optimiser les dispositifs afin de réduire la vulnérabilité, notamment en envisageant un scénario neige humide en plus de, ou à la place, du scénario neige sèche.* » Pour ce faire, les chercheurs continuent de collaborer avec les acteurs de la montagne pour une adaptation au plus juste. ●

1. Reptation : mouvement lent de la neige sous l'effet de la gravité, qui combine tassement et cisaillement ainsi que glissement à la base.

© C. Maréchal/RTM73

LA COLLABORATION AU CŒUR DE LA PRÉVENTION

Fortement impacté par le changement climatique, le risque Avalanche évolue rapidement. Entre recherche et expertise, la collaboration entre les scientifiques et les multiples acteurs de la prévention est la clé de la connaissance et de l'anticipation des risques actuels et émergents.

Avec des températures et des précipitations en grande évolution, les territoires de montagne sont amenés à rapidement s'adapter pour assurer aux habitants une activité économique d'avenir et préserver une activité touristique majeure en France, le tout dans la plus grande sécurité. Pour cela, ils déploient des stratégies locales d'adaptation élaborées en cohérence avec la politique nationale de prévention des risques portée par le ministère de la Transition écologique (MTE), en particulier la Direction générale de la prévention des risques (DGPR), et nourries, en premier lieu, par les travaux de la recherche d'INRAE et du Centre national de recherches météorologiques (CNRM).

Une prévention des risques collective pour une meilleure efficacité

Classé dans la catégorie des risques majeurs de la politique nationale de prévention, le risque lié aux avalanches est pris en charge par une multitude d'acteurs. Porté par l'État, il est confié aux services Restauration des terrains de montagnes (RTM) de l'Office national des forêts (ONF). Ceux-ci sont amenés à caractériser le risque qui doit être pris en compte dans la planification et l'aménagement du territoire, en particulier *via* les Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPRNP), qui s'imposent aux plans d'occupation des sols. Les communes, en charge de la sécurité publique, de la prévention et l'organisation des secours contre les catastrophes, les départements et les régions mobilisés pour la sécurité du réseau routier, l'aménagement du territoire et l'information préventive, et les citoyens, premiers concernés et bénéficiaires de cette prévention, complètent le dispositif de prévention des risques et de protection des bâtiments et infrastructures.

Expertise scientifique et prévention, un dialogue fructueux

Si le développement des connaissances et les nouvelles données jouent un rôle essentiel dans l'élaboration des plans de prévention et les prescriptions pour l'ensemble des actions (conception de dispositifs de défense active et passive, localisation et construction des routes de montagne, plantation de forêts de protection, édification de

refuges...), les scientifiques peuvent également être missionnés comme experts en matière de protection paravalanche auprès des collectivités locales, des bureaux d'études et des communes. « *Nous n'intervenons que dans les cas complexes, lorsque l'utilisation des derniers résultats de la recherche est requise et/ou que les enjeux sont tels que le commanditaire de l'expertise se tourne exclusivement vers nous* », explique Florence Naaim, directrice de l'unité de recherche ETNA. « *INRAE a d'ailleurs reçu pour la première fois, en janvier dernier, la certification ISO 9001 pour l'ensemble de son système qualité d'expertise ayant trait à la gestion des risques gravitaires en montagne, dont les avalanches* ». Sur ce sujet, comme sur d'autres traités par les équipes d'INRAE, recherche et expertise sont en dialogue permanent. Les résultats de la recherche sont mobilisés pour accompagner les porteurs de politiques publiques. En retour, le dialogue avec ces acteurs nourrit la recherche *via* l'émergence de nouvelles questions et contribue à lui donner du sens.

Le dialogue avec les porteurs de politiques publiques nourrit la recherche *via* l'émergence de nouvelles questions et contribue à lui donner du sens.

Données et modélisation à la rescousse

Ainsi les chercheurs d'ETNA ont, par exemple, participé à la conception de la digue de Taconnaz (en association avec le bureau d'études Ingerop pour le compte de la Communauté de communes de la vallée de Chamonix–Mont-Blanc), un ouvrage massif de 25 m de haut, placé au pied du plus long couloir d'avalanches des Alpes dans le massif du Mont-Blanc. « *Notre tâche a été de dire quelle taille, quelle position et quelle forme devaient avoir la digue et les autres dispositifs de défense passive* », explique Thierry Faug, chercheur de l'unité. La combinaison des données historiques issues de l'Enquête permanente sur les avalanches (EPA) et des modèles numériques de propagation a permis de déterminer les événements centennaux de référence (définis par le volume et l'énergie de l'avalanche).

Les différentes stratégies de protection, conçues pour arrêter les avalanches denses, ont alors été testées par modélisation physique au laboratoire (billes de verre et PVC), puis mises à l'épreuve de la modélisation numérique sur topographie réelle, le risque résiduel lié à la partie poudreuse de l'écoulement ayant été estimé à partir de la modélisation physique (eau salée dans l'eau). « *Et comme l'expert garde son ADN de chercheur, nous avons profité de la construction des dispositifs paravalanches pour y inclure des capteurs automatiques de vitesse et de pression, afin de nous permettre d'évaluer l'efficacité des dispositifs paravalanches et de mieux comprendre leur influence sur l'écoulement* », poursuit Thierry Faug. Des pressions d'impact allant jusqu'à 95 t/m² ont ainsi pu être enregistrées, en accord avec la prédiction des modèles. Un contrôle qualité, en quelque sorte...

Diffuser les connaissances

En parallèle, afin d'aider les bureaux d'études et les maîtrises d'œuvres à réduire la vulnérabilité des zones habitées, des guides techniques sur les dispositifs de protection sont rédigés. Ainsi, un guide européen de référence pour la construction de digues paravalanches d'arrêt et de déviation a pu être réalisé en 2009 à partir des travaux d'équipes de recherche européennes dont ETNA. D'autres objets de diffusion des connaissances sont régulièrement élaborés.

L'impact rapide du changement climatique, en particulier sur l'occurrence et la nature des avalanches, impose le maintien de recherches sur l'aléa, le risque et la mise à jour des données, mais c'est surtout grâce à une collaboration continue avec les acteurs nationaux et locaux qu'une prévention adaptée et efficace sera possible. ●

Une gestion du risque qui s'appuie sur la science

Un entretien avec Véronique Lehideux, cheffe du service Risques naturels et hydrauliques au ministère de la Transition écologique

Véronique Lehideux pilote le service chargé d'élaborer et d'animer la politique nationale de prévention des risques naturels et de coordonner les actions de prévention des risques majeurs. Nous l'avons interrogée sur le risque Avalanche, sa prévention et la collaboration avec la recherche.

Face à l'évolution du climat et de l'urbanisme, comment s'assurer que les procédures d'évaluation et de prévention du risque Avalanche ne deviennent pas obsolètes ?
La prévention des risques naturels s'appuie en premier lieu sur les Plans de prévention des risques naturels (PPRN). Ils visent à la prise en compte des aléas dans l'urbanisme, en empêchant la densification et l'augmentation de vulnérabilité dans les zones les plus exposées, et en la réduisant en prescrivant des mesures dans les autres zones. Leur élaboration s'appuie sur l'événement le plus grave connu ou sur une référence propre à l'aléa – la centennale pour la crue et l'avalanche par exemple. Pour l'avalanche, la référence tri-centennale a été ajoutée pour délimiter les zones d'aléas de référence exceptionnelle (zones jaunes). L'amélioration des connaissances de l'impact du changement climatique sur les aléas pourra poser, à terme, la question de l'évolution des seuils de référence, comme cela a été fait sur le risque de submersion marine. Il faut pour cela que cet impact soit aussi très bien documenté. Pour les avalanches, un autre paramètre d'évolution à prendre en compte est la nature de la neige. Son contenu devient plus riche en eau. Afin de mieux connaître les changements de comportement induits, la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) missionne INRAE depuis plusieurs années pour étudier et modéliser les avalanches humides. Concernant les risques en montagne, le ministère a initié un travail sur les risques d'origine glaciaire et/ou périglaciaire avec l'appui d'INRAE. Il est aujourd'hui piloté par l'ONF avec une implication toujours très forte d'INRAE.

Quel est l'objectif de ce travail sur les risques d'origine glaciaire ?
L'objectif est d'anticiper ces risques nouveaux : dégel du pergélisol ou effondrement de glacier. Sur ce dernier, INRAE porte avec l'Institut des géosciences de l'environnement (IGE) une action d'appui sur le suivi et le devenir du glacier de Taconnaz, qui tend à devenir tempéré. Des laboratoires de l'Observatoire des sciences de l'univers de Grenoble (ETNA, IGE, Isterre) se sont mobilisés en appui à la préfecture et la mairie de Saint-Gervais sur l'étude des poches d'eau dans le glacier de Tête-Rousse. INRAE a également contribué à la vidange du lac du glacier d'Arsine en 1986. Ce sont des exemples concrets de recours aux dernières avancées de la recherche afin de diagnostiquer et de proposer des solutions que les bureaux d'études ne seraient pas en mesure de gérer. La DGPR soutient ces actions afin de faire progresser la connaissance et de caractériser les bassins de risques.

Comment la prévention des risques naturels intègre-t-elle les éléments de contexte économique et social des zones concernées ?
La prévention des risques naturels a pour objectif premier la préservation des vies humaines et la réduction des dommages. Elle est priorisée sur les zones de fort croisement entre aléas et enjeux et, dans ces zones, est proportionnée à l'importance des risques. Interdire qu'il y ait davantage de constructions dans les zones les plus exposées à certains risques naturels contribue à préserver le tissu économique et social, et à assurer la soutenabilité du dispositif de solidarité nationale qu'est le régime « Catnat ». La prévention des risques naturels est une composante à part entière du développement durable des territoires et de l'adaptation au changement climatique. Le juste émoi qui suit des catastrophes naturelles rappelle qu'il est responsable de ne pas construire en zone fortement exposée aux risques naturels.

Dans un contexte transfrontalier, comment la France gère-t-elle les liens entre recherche, expertise et appui aux politiques publiques, pour le risque avalanche ?
La France est membre de la convention alpine qu'elle a présidée en 2019 et 2020. Elle assure également la présidence de la stratégie de l'Union européenne pour la région alpine (SUERA) depuis 2020, et a accepté de prolonger cette présidence d'un an du fait du contexte sanitaire. Ces deux instances permettent de mettre en relation des chercheurs, des universitaires, des associations, des gestionnaires, des décideurs en matière de politiques publiques de l'ensemble des pays alpins. Les groupes de travail sont l'occasion de partager et de développer des connaissances, des bonnes pratiques tout en les adaptant au contexte spécifique de chaque pays en termes de gouvernance et de transcription dans la réglementation. On peut citer, à titre d'exemple, les projets européens Interreg. Les échanges transfrontaliers sont très importants pour maintenir une certaine harmonisation et sont en accord avec les attentes des élus locaux.

Pouvez-vous donner un exemple de travaux réalisés en coopération avec nos pays voisins ?
Certaines études réalisées en coopération avec les experts italiens, suisses et français, ont permis d'établir les contours des zones rouges et bleues du PPR avalanche sur les couloirs les plus sensibles de la vallée de Chamonix, en confrontant les méthodes, modèles et pratiques. Par ailleurs, côté pyrénéen, la cartographie des extensions maximales des avalanches de Catalogne en Espagne a été réalisée à partir de la méthodologie développée en France par INRAE. ●

« Le ministère a besoin de la recherche à la fois pour diagnostiquer les nouveaux risques et proposer des actions de prévention. »

À LIRE

Les risques naturels en montagne
Florence Naaim-Bouvet et Didier Richard, Édition Quae, Oct. 2015.
Avalanches, risques glaciaires, crues et laves torrentielles, mouvements de pente et chutes de blocs font partie du vécu de tout habitant ou pratiquant de la montagne. Cet ouvrage apporte au lecteur, simple amateur ou passionné de montagne, du grand public au décideur, une meilleure connaissance des phénomènes, des techniques de protection pour s'en prémunir, des recherches en cours et de leurs limites... Il a été rédigé par les meilleurs spécialistes du domaine afin de renforcer la prise de conscience des risques et des actions de prévention par les différents acteurs de la montagne. Schémas pédagogiques, photos prises sur le vif et témoignages en font un ouvrage de référence sur les risques naturels dans tous les massifs montagneux européens.