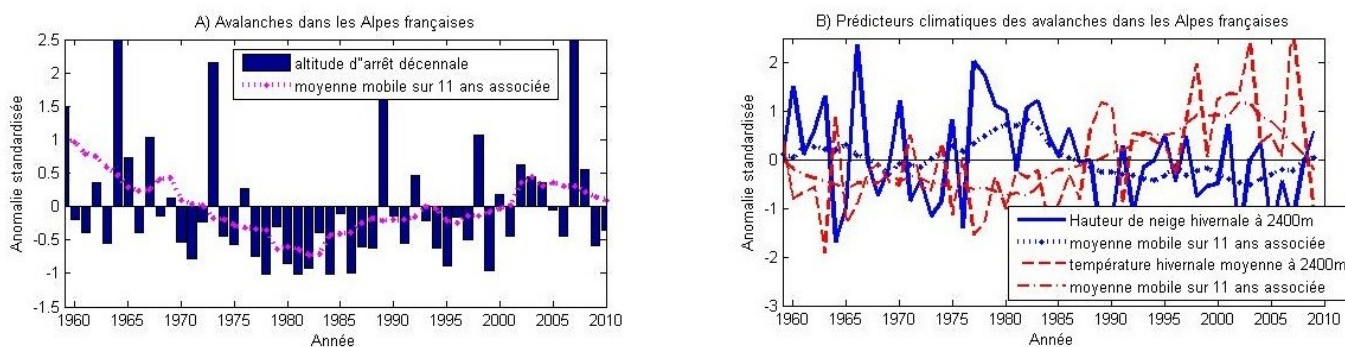


IMPACTS SUR LES RISQUES NATURELS¹⁰

Les phénomènes naturels sources de danger en montagne résultent de mécanismes complexes impliquant de nombreux processus physiques en interaction, et parfois des phénomènes couplés ou en cascade¹¹.

L'activité des aléas naturels présente généralement une forte variabilité spatiale et temporelle, dont les dispositifs d'observation ne rendent pas toujours suffisamment compte, si bien que l'influence du climat est souvent difficile à établir au niveau local. Enfin, les aléas correspondant à des situations extrêmes, leur fréquence est globalement faible, ce qui ne permet pas de constituer des échantillons d'observation suffisamment riches pour des analyses statistiques robustes. Les progrès scientifiques récents permettent néanmoins d'esquisser une approche régionalisée des évolutions observées et des impacts avérés sur les aléas naturels dans les Alpes françaises¹².

✓ Risque d'avalanche



Altitude d'arrêt décennale des avalanches dans les Alpes françaises (A) et facteurs nivo-météorologiques hivernaux prédictifs identifiés (B) (données : Météo-France). Le calcul d'anomalie est effectué par rapport à la période d'étude considérée. Source : Einhorn et al., 2015 (d'après Eckert et al., 2013¹³).

- L'Enquête Permanente sur les Avalanches répertorie les avalanches se produisant sur un nombre défini de couloirs répartis sur le territoire français.
- Sur le premier graphe, on constate, à l'échelle des Alpes françaises, que **l'altitude d'arrêt des avalanches est plus élevée sur la période climatique la plus récente (1980-2005)**, ce qui veut dire que **les avalanches sont de moindre intensité sur cette période**, qui correspond à une période de réchauffement climatique marquée. Les minima des altitudes d'arrêt enregistrés entre 1960 et 1980 correspondent à des hivers froids et fortement enneigés. L'influence des hivers plus froids et neigeux enregistrés depuis 1998 se distingue nettement, dans la mesure où les avalanches sont à nouveau descendues un peu plus bas.
- Dans les Alpes du Nord, le point de rupture a été identifié autour de l'année 1977. **L'épaisseur de neige en hiver semble être le principal paramètre de contrôle des avalanches dans cette zone**. Le point de rupture est légèrement plus tardif (entre 1979 et 1984) dans les Alpes du Sud, où les tendances semblent plus fortement corrélées à la température hivernale¹².
- On constate par ailleurs des **évolutions différentes selon l'altitude**¹⁴. En dessous de 2000 mètres, la réduction du nombre d'avalanches depuis 1980 a été drastique, alors qu'elle a récemment augmenté à haute altitude, peut-être en lien avec le possible accroissement de la variabilité climatique hivernale.

¹⁰ Source : « Données et connaissances sur les risques naturels pour les profils territoriaux montagne de l'ORECC », PARN, sept 2015. Avec la contribution des laboratoires IRSTEA ETGR, PACTE et EDYTEM. Travaux du PARN disponibles sur le site [Base de connaissances Alpes-Climat-Risques du PARN](http://base.de.connaissances.alpes-climat-risques.du.parn).

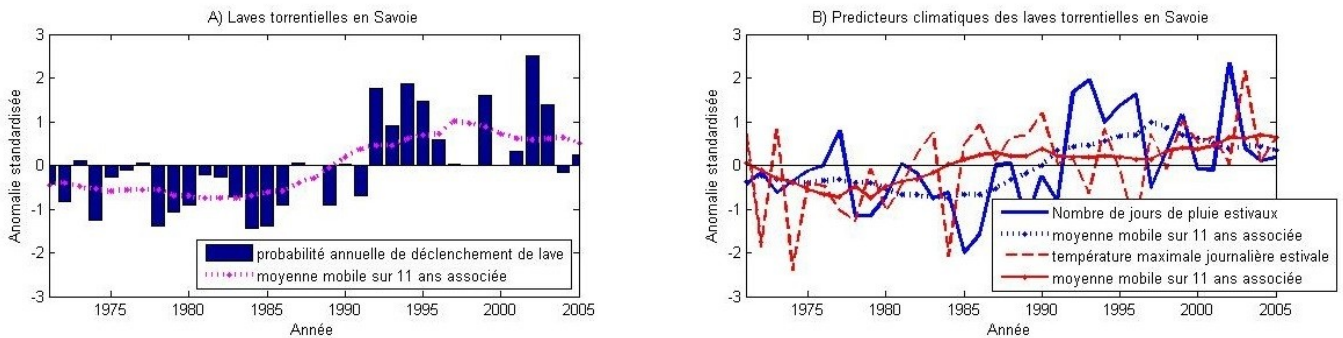
¹¹ Par exemple, des aléas torrentiels déclenchés par des phénomènes d'origine glaciaire et périglaciaire.

¹² Source : Einhorn B., Eckert N., Chaix C., Ravanel L., Deline P., Gardent M., Boudières V., Richard D., Vengeon JM., Giraud G., Schoeneich P. (2015) – Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes : Impacts observés et potentiels sur les systèmes physiques et socio-économiques. *Revue de Géographie Alpine* [En ligne], 103-2 (<https://rga.revues.org/2829>).

¹³ Source : Eckert N., Keylock C.J., Castebrunet H., Lavigne A., Naaim M. (2013) – "Temporal trends in avalanche activity in the French Alps and subregions: from occurrences and runout altitudes to unsteady return periods". *Journal of Glaciology*, Vol. 59, No. 213, pp. 93-114.

¹⁴ Source : Lavigne A., Eckert N., Bel L., Parent E. (2015) – "Adding expert contribution to the spatio-temporal modeling of avalanche activity under different climatic influences". *Journal of the Royal Statistical Society C (Applied Statistics)*, Vol. 64-4, pp. 651-671.

✓ Risque d'origine torrentielle



Fréquence annuelle de lave torrentielle en Savoie (A) et paramètres météorologiques estivaux prédicteurs identifiés (B) (données : Météo-France). Le calcul d'anomalie est effectué par rapport à la période d'étude considérée. Source : Einhorn et al., 2015 (d'après Jomelli et al., 2015¹⁵).

- Les **crues torrentielles** sont des événements de fort débit liquide et solide dans les chenaux à forte pente des torrents et rivières torrentielles, se déclenchant généralement suite à des épisodes hydrométéorologiques brutaux, et aux conséquences destructrices parfois catastrophiques¹⁶. Les **laves torrentielles**, ou coulées de débris, qui se produisent dans des bassins versants de montagne, se déclenchent généralement suite à de fortes pluies d'orage (dans quelques cas, la rupture de poche d'eau glaciaire peut aussi en être la cause¹⁷). Ces écoulements se caractérisent par une cinétique rapide, une forte capacité de transport solide et la présence de blocs rocheux de grande taille, dont les effets destructeurs peuvent être importants.
- L'analyse statistique de plus de 500 événements répertoriés depuis 1970 dans la base de données du RTM¹⁸ a montré le rôle essentiel joué par les variables climatiques à l'échelle régionale dans la probabilité d'occurrence des laves torrentielles. Dans certains secteurs, **l'augmentation de la fréquence des laves torrentielles depuis la fin des années 1980 serait un effet du réchauffement estival, qui entrainerait plus d'effets convectifs, et donc d'orages estivaux**. Dans d'autres secteurs en revanche, la configuration topographique et l'accumulation de sédiments paraissent l'emporter sur l'influence du climat.

✓ Risques liés à la dégradation du permafrost : écoulements, glacier rocheux instables et laves torrentielles

- Le permafrost (ou pergélisol) est un **terrain gelé en permanence**, et qui ne dégèle qu'en surface pendant la saison estivale. On le rencontre dans les Alpes au-dessus de 2600 mètres d'altitude environ en orientation Nord, surtout dans les endroits abrités du rayonnement solaire direct tels que les creux topographiques et en pied de parois. On estime qu'à partir de 3500 mètres, toutes les parois rocheuses sont gelées, quelle que soit l'orientation des versants.
- Phénomène lié au climat froid de la haute montagne, **le permafrost est impacté par le réchauffement climatique**. L'évolution de la température du sol ne dépend toutefois pas uniquement de la température de l'air. Dans les zones peu pentues, elle est très fortement influencée par le couvert neigeux, qui isole le sol des températures de l'air. Un enneigement précoce favorise la conservation de la chaleur emmagasinée pendant l'été, tandis qu'un enneigement tardif favorise le refroidissement automnal du sol. Au printemps, un déneigement tardif retarde le réchauffement du sol.
- Ces impacts se manifestent autant dans les **parois rocheuses** de haute altitude (typiquement au-dessus de 2600 à 3000 m en fonction de l'orientation de la paroi) que dans les **formations superficielles riches en glace** (éboulis, glaciers rocheux) situées en contrebas.
- Les **glaciers rocheux** constituent en montagne la manifestation la plus visible et la plus spectaculaire de la présence de permafrost. Ils sont constitués d'un mélange de glace et de débris rocheux, qui fluent sous l'effet de la déformation de la glace. La vitesse de déplacement des glaciers rocheux fluctue en fonction de la température du sol à une échelle pluriannuelle : on note une accélération progressive si le sol se réchauffe, et un ralentissement si le sol se refroidit. Les mesures de **vitesse de déplacement du glacier rocheux du Laurichard**, au col du Lautaret, illustrent cette variation. On

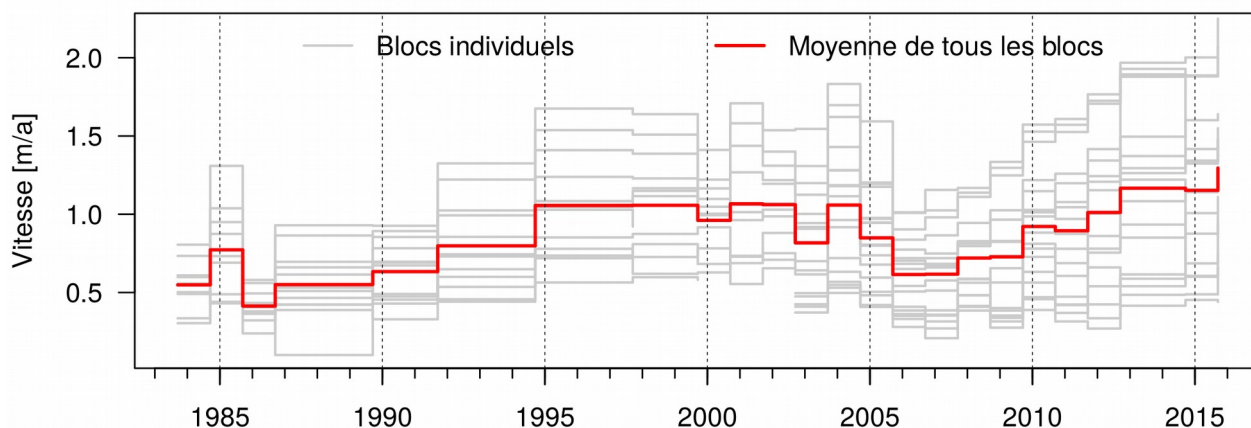
¹⁵ Source : Jomelli V. Pavlova I., Eckert N., Grancher D., Brunstein D. (2015) – "A new hierarchical Bayesian approach to analyse environmental and climatic influences on debris flow occurrence". *Geomorphology*, Vol. 250-1, pp. 407-421.

¹⁶ Exemples de catastrophes liées aux crues torrentielles : Le Grand Bornand en juillet 1987, Vaison-La-Romaine en sept. 1992, et plus récemment les crues torrentielles méditerranéennes dans le Var en juin 2010, nov. 2011 ou sur le littoral des Alpes-Maritimes en octobre 2015.

¹⁷ Exemple de la « catastrophe du glacier de Tête Rousse » (cf. PARN (2011) – Atelier international « *Gestion intégrée du risque généré par les poches d'eau du glacier de Tête Rousse – De la tragédie de 1892 à la gestion de crise de 2010* ». Actes complets, Projet ESPACE ALPIN AdaptAlp, Grenoble, 20 avril 2011, 60 pp).

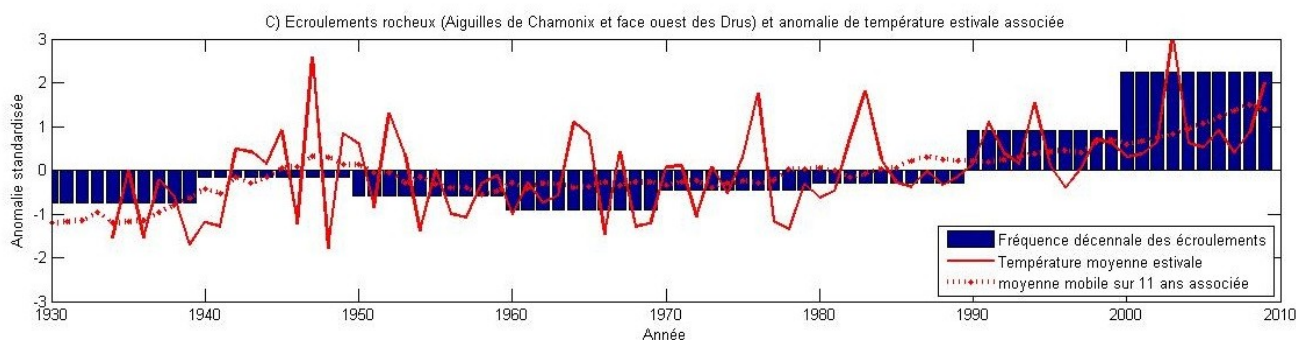
¹⁸ Service de Restauration de Terrains en Montagne de l'ONF.

note une **accélération progressive depuis 1986**, liée au réchauffement. Le ralentissement de 2005-2007 est dû à deux hivers consécutifs avec enneigement très tardif. La valeur record atteinte en 2015 est très probablement liée aux effets cumulés de l'épisode caniculaire de juillet 2015 survenu à la suite à d'une période de deux années particulièrement chaudes.



Variation des vitesses de déplacements du glacier rocheux du Laurichard (col du Lautaret), entre 1984 et 2015¹⁹.
En gris : valeurs des différents points mesurés. En rouge : vitesse moyenne.
Entre 1987 et 2000, les mesures ont été faites à intervalle de 2 ou 3 ans, et certaines fluctuations ont pu être lissées.

- Des épisodes de forte chaleur, liés au réchauffement climatique, peuvent engendrer des événements plus brutaux : **déstabilisation du glacier rocheux du Bérard (04) en 2006, détachement de couche active et lave torrentielle à Lanslevillard (73) en 2015**²⁰.



Nombre d'écroulements rocheux dans les Aiguilles de Chamonix et les Drus et anomalie de température associée à Chamonix (données : Météo-France). Le calcul d'anomalie est effectué par rapport à la période d'étude considérée. Source : Einhorn et al., 2015 (d'après Ravel et Deline, 2011²¹).

- Dans les parois rocheuses, ces épisodes peuvent également provoquer une forte **recrudescence des chutes de blocs et des éboulements**. Les reconstitutions basées sur le repérage des niches d'arrachement sur les photographies anciennes dans des secteurs à permafrost du massif du Mont Blanc montrent en effet une corrélation entre la fréquence décennale des écoulements rocheux (> 100 m³) et le réchauffement enregistré depuis le début du XXe siècle. Le regain d'activité constaté depuis les décennies 1990 et 2000 est particulièrement manifeste, en particulier lors des étés caniculaires (2003, 2015). Par ailleurs, ces phénomènes se produisent désormais dans des tranches d'altitude jusque-là non affectées (pour la première fois au-dessus de 4000m lors de l'épisode 2015).

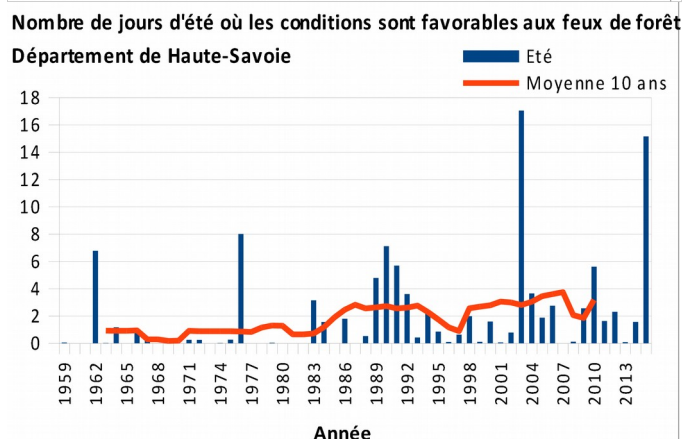
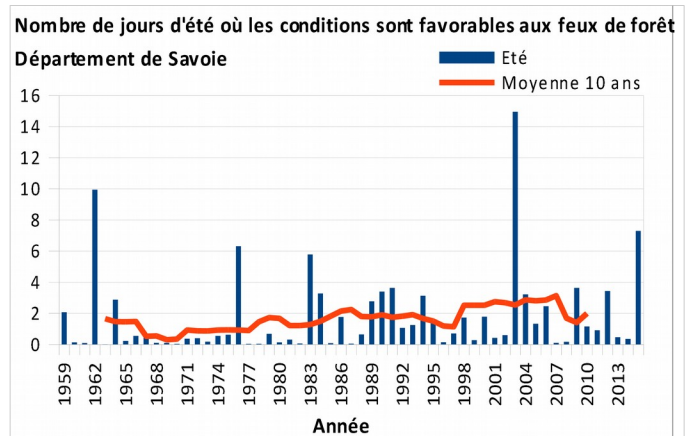
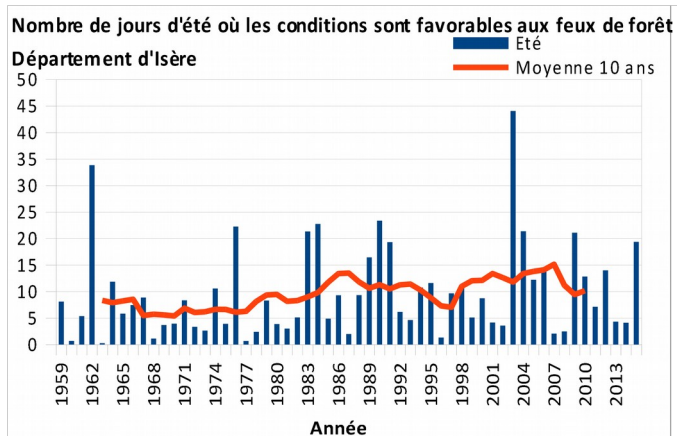
¹⁹ Source : Bodin X., Deline P., Schoeneich P., Ravel L., Magnin F., Krysiecki JM., Echelard T. (2015) – « Le permafrost de montagne et les processus géomorphologiques associés : évolutions récentes dans les Alpes françaises ». *Journal of Alpine Research | Revue de Géographie Alpine* [En ligne], 103-2 (<https://rga.revues.org/2806>), mis à jour.

²⁰ Source : Einhorn B. (2015) – Les risques naturels en montagne en 2015 : un avant-goût des impacts du changement climatique ? *Nature et Patrimoine en Pays de Savoie*, n°47, pp. 26-31 (http://risknat.org/wp-content/uploads/2014/12/Einhorn_2015_NPPS.pdf).

²¹ Source : Ravel 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'". *The Holocene*, Vol. 21, n°2, pp. 357-365.

✓ Risque de feux de forêt

Evolution du nombre de jours d'été où les conditions climatiques sont favorables aux feux de forêt (1959-2015)



- Les conditions favorables aux feux de forêt sont appréciées à partir de l'**indice forêt météo (IFM)**, qui permet de caractériser les risques de départs et de propagation de feux de forêts à partir de données climatiques et de caractéristiques du milieu (sol et végétation).
- Le **risque d'incendie de forêt s'est accru depuis les années 80 en été**, y compris dans la partie nord des Alpes, consécutivement notamment à l'augmentation des températures et à la recrudescence de sécheresses.

En résumé...

Les données d'observation existantes permettent de procéder à des analyses de corrélation, qui ne révèlent **pas de tendance claire et généralisée** concernant les risques naturels en montagne.

Cependant, des signes locaux, voire régionaux, de changement sont perceptibles : remontée des glaciers modifiant les conditions d'érosion des hautes vallées et provoquant notamment une recrudescence des éboulements en altitude durant les étés chauds, remontée en altitude des zones de départ de laves torrentielles, fonte des glaciers générant la déstabilisation de glaciers et de massifs rocheux et la formation de lacs et de poches d'eau glaciaires, disparition du permafrost posant des problèmes de stabilité de fondations des pylônes et bâtiments, augmentation de la proportion d'avalanches de neige humide, décalage des pics de crues de fonte nivale et glaciaire, apparition du risque feux de forêt dans de nouvelles zones de montagne...

Ces changements observés sont d'autant plus visibles que leurs **conditions de prédisposition et de déclenchement sont directement liées aux effets de la température**, en particulier du fait de l'évolution rapide de la cryosphère (retrait des glaciers, dégradation du permafrost et modification de l'enneigement). L'impact d'un changement éventuel dans l'intensité des pluies ne peut en revanche être prouvé, celles-ci souffrant d'un déficit d'observation en altitude, et en l'absence d'un signal clair dans les précipitations extrêmes.

Ces phénomènes, aujourd'hui locaux, ou observés sur des secteurs restreints, **pourraient être les prémices de changements ultérieurs plus importants** induits par la poursuite du réchauffement prévue par les modèles climatiques²².

Plus d'infos :

²² Source et plus d'infos : http://risknat.org/wp-content/uploads/2015/03/2008_Plaquette_ClimChAlp_PGRN_ONERC_Region-Rhone-Alpes.pdf

- [Fiche « Risque feux de forêt »](#) de l'ORECC
- [L'Observatoire National des Risques Naturels \(ONRN\)](#) regroupe des informations générales sur les aléas, l'exposition et la vulnérabilité des populations et donne accès aux bases de données thématiques nationales concernées par les risques naturels liés au changement climatique.
- [Observatoire PermaFrance](#) (risques liés au permafrost).
- [Météo-France - Pluies extrêmes](#)
- [IRSTEA - Enquête permanente sur les avalanches \(EPA\)](#)
- [ONF - Observatoire des Risques Naturels en Montagne \(RTM Evénements\)](#)
- [BRGM - Base de données mouvements de terrain](#)
- [Base de Données sur les Incendies de Forêt en France \(BDIFF\)](#)
- [Observatoire Hydro-Météorologique Méditerranéen Cévennes Vivarais \(OHMCV\)](#)
- [Débits de rivières alpines](#) (projet AdaptAlp)
- [Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versants \(OMIV\)](#)
- [Base de données des écroulements dans le massif du Mont-Blanc](#)
- Bases de données des aléas d'origine glaciaire (projets [Glaciorisk](#) et [GlaRiskAlp](#))
- [Base de connaissances Alpes-Climat-Risques du PARN](#)
- [Base de données Gaspar](#) : arrêtés de catastrophes naturelles
- [Base de données historiques sur les inondations \(BDHI\)](#)
- Données du secteur des assurances et de la réassurance
- Bases de données des services routes et risques des Conseils départementaux
- [Base de données du laboratoire EDYTEM](#) sur la vulnérabilité des infrastructures touristiques en haute montagne vis-à-vis des phénomènes induits par l'évolution de la cryosphère.
- [Inventaire des glaciers rocheux dans les Alpes réalisé par les services ONF-RTM](#) pour identifier les risques potentiels associés à la dégradation du permafrost.
- Les [actions de gestion intégrée des risques naturels en montagne](#) (GIRN) mises en œuvre par des territoires pour être plus résilients face à des événements incertains et potentiellement changeants.