



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Décembre 2022

Risques d'origine glaciaire et périglaciaire

Éléments en soutien à un plan d'action

Dominique LACROIX - IGA
Laurent MAYET - IGÉSR
Pierre-Alain ROCHE - IGEDD

Rapport n° 014441-01



IGEDD
INSPECTION GÉNÉRALE
DE L'ENVIRONNEMENT ET
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Rapport n° 22045 R



Rapport n°21-22 315 A

IGÉSR INSPECTION GÉNÉRALE
DE L'ÉDUCATION, DU SPORT
ET DE LA RECHERCHE

Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport

Statut de communication	
<input type="checkbox"/>	Préparatoire à une décision administrative
<input type="checkbox"/>	Non communicable
<input type="checkbox"/>	Communicable (données confidentielles occultées)
<input checked="" type="checkbox"/>	Communicable

Sommaire

Résumé.....	6
Synthèse.....	8
Liste des recommandations.....	12
Introduction	13
1 Les risques d'origine glaciaire et périglaciaire (ROGP) en France : des risques en milieu montagnard moins bien connus que les autres	15
1.1 Les risques naturels d'origine glaciaire et périglaciaire (ROGP) : un ensemble hétérogène et complexe de phénomènes qui mettent en jeu la glace en haute montagne	15
1.1.1 Les territoires de montagne connaissent d'importants risques naturels	15
1.2 Les événements glaciaires et périglaciaires recensés en France	18
1.2.1 Les glaciers et le pergélisol en France sont d'une assez faible étendue géographique	19
1.2.2 La réduction des glaciers est déjà très forte dans les Alpes et les Pyrénées et s'accélère.	20
1.2.3 Des EGP très nombreux mais seule une faible part d'entre eux représente des risques en vallée.....	21
1.2.4 Un processus transitoire pour quelques décennies dont l'ampleur et la brutalité sont difficiles à anticiper.....	22
1.2.5 Les ROGP recensés en France	22
1.3 Des risques accentués par le réchauffement climatique	24
1.3.1 Des phénomènes qui s'amplifient actuellement mais qui pour certains peuvent être détectés.....	24
1.3.2 Des processus cumulatifs et non répétitifs dont l'évaluation doit procéder de méthodes spécifiques.....	26
1.4 Les lieux où des personnes ou des biens sont potentiellement exposés sont la montagne et quelques vallées densément habitées assez peu nombreuses	27
1.5 Des risques parmi d'autres, mais qui constituent un sujet d'inquiétude singulier	29
2 L'appréhension des risques d'origine glaciaire et périglaciaire en France en 2022	30
2.1 Cartographie des acteurs de terrain.....	30

2.1.1	La conscience « montagnarde » des ROGP émerge au début des années 2000	30
2.1.2	Les maires sont en première ligne avec une double responsabilité sécuritaire et réputationnelle	31
2.1.3	Les préfets et leurs services : gestion de crise et prévention.....	31
2.1.4	Les acteurs de la connaissance des phénomènes, de l'observation, de la surveillance, de l'expertise et de l'ingénierie	32
2.1.5	Les acteurs de la montagne	33
2.2	Les ROGP ne sont que peu identifiés dans les documents de prévention et de préparation à la gestion de crise	34
2.2.1	Au niveau départemental, ce qu'en disent les DDRM (dossiers départementaux des risques majeurs)	34
2.2.2	Les plans communaux de sauvegarde (PCS) ne prennent pas en compte les ROGP, sauf exceptions notables	34
2.2.3	Les StePRiM ne les intègrent pas	35
2.3	Des réponses opérationnelles efficaces ont jusqu'à présent été apportées dans des délais adéquats	35
2.4	La prise en compte des ROGP dans les activités touristiques et sportives	36
2.4.1	Les remontées mécaniques et l'adaptation des stations de sport d'hiver ...	36
2.4.2	L'alpinisme, la randonnée et les refuges : doctrine et pratiques de prévention	36
2.4.3	Un important contraste entre la gestion des risques hivernaux d'avalanches de neige et les ROGP	38
2.5	L'approche nationale de la DGPR à travers le PAPROG : une mobilisation à renforcer.....	38
2.6	Les programmes d'observation	40
2.7	Les avancées des connaissances, les innovations et les progrès.....	40
3	La prévention des ROGP en Suisse et en Italie.....	44
3.1	La Suisse (cantons du Valais et de Berne)	44
3.2	L'exemple italien (Val d'Aoste).....	46
4	Proposition de plans d'action destinée à soutenir le projet de stratégie de l'État	51
4.1	Une stratégie interministérielle sur les ROGP, pour accompagner et dynamiser les dynamiques locales existantes	51
4.1.1	De solides acquis qui peuvent justifier une démarche qui ne paraît pas avoir été portée à un niveau adéquat	51
4.1.2	Des dynamiques de proximité fragiles à conforter et encourager	51

4.2 Les ROGP sont avant tout un enjeu de connaissance et de partage de l'information.....	52
4.2.1 Conforter l'observation et sa capitalisation afin d'établir une « levée de doutes »	52
4.2.2 Dynamiser la recherche fondamentale sur les ROGP et mieux valoriser ses résultats et avancées auprès de la recherche opérationnelle	53
4.2.3 Partager la connaissance.....	56
4.3 Renforcer prévention et protection	56
4.3.1 En matière de prévention, inscrire les ROGP dans les stratégies multirisques et non dans une stratégie spécifique	56
4.3.2 Un partage des responsabilités (État-collectivités) à conserver pour les ROGP et à inscrire dans les documents de planification	57
4.3.3 Organiser largement le partage d'informations sur le contexte glaciaire prévalant	57
4.4 Une organisation à mieux structurer, notamment en renforçant le rôle du RTM auprès des décideurs locaux.....	58
4.5 Établir un calendrier opérationnel.....	58
4.5.1 Dès 2023 : valoriser les efforts réalisés et achever le processus de caractérisation des enjeux à grande maille	59
4.5.2 2023-2027 : développement de la démarche	59
4.5.3 2028-2032 : valorisation et consolidation des acquis	59
Annexes.....	62
Annexe 1. Lettre de mission.....	63
Annexe 2. Liste des personnes rencontrées	66
Annexe 3. Glossaire administratif	71
Annexe 4. Glossaire technique	74
Annexe 5. Organismes scientifiques et techniques.....	78
Annexe 6. Exemples de phénomènes de très grande ampleur dans le Monde	79
Annexe 7. Les glaciers des Alpes et des Pyrénées fondent de plus en plus vite... 80	
Annexe 8. Méthodologie suivie par le RTM pour l'élaboration des cartes d'aléas et de risques d'origine glaciaire et périglaciaire.....	84

Annexe 9. Les outils de prévention et de gestion de crise existants	87
Annexe 10. Les risques qui affectent les infrastructures en haute montagne.....	88
Annexe 11. Exemples de cas connus et traités de ROGP en France.....	90
Annexe 12. Les dispositifs concernant les avalanches	94
Annexe 13. Les principaux programmes européens : Glaciorisk, Permadataroc, GlariskAlp.....	99
Annexe 14. Les programmes de recherche concernant les ROGP soutenus par l'ANR.....	103
Annexe 15. Les systèmes d'observation français	109
Annexe 16. Les trois avancées de recherche les plus cruciales identifiées par la mission.....	114
Annexe 17. Le texte de la stratégie ROGP préparé par la DGPR (projet mars 2022)	117
Annexe 18. Références bibliographiques et documentation utilisée par la mission	124
Annexe 19 : propositions d'actions de recherche sur les ROGP par les laboratoires concernés (Edytem, IGE/ETNA, ISTerre, CNRM/CEN)	129

Résumé

Le réchauffement climatique entraîne de fortes accélérations de mouvements naturels et des déstabilisations des glaciers, des glaciers rocheux et des parois en gel permanent (pergélisol) dont les conséquences sur les vies et activités humaines, au-delà de la fréquentation de la haute montagne, peuvent être importantes en vallée pendant les prochaines décennies. Depuis la fin du petit âge glaciaire au milieu du XIX^e siècle l'histoire nous a appris que, d'un événement en apparence modeste, la rupture d'une poche d'eau sous-glaciaire de quelques dizaines de milliers de m³, pouvait résulter, par des effets amplificateurs majeurs durant la propagation sur des pentes très fortes, une catastrophe entraînant la mort de centaines de personnes, en France comme dans d'autres pays alpins. Les enjeux réputationnels, dans des massifs de notoriété mondiale où le tourisme d'été est d'un poids considérable, sont également à prendre en compte et les pouvoirs publics, par manque de connaissance de ces processus fortement évolutifs, ne sont pas parfaitement armés pour éclairer la population résidente et saisonnière sur les risques encourus, ce qui laisse trop de place à l'émotion véhiculée par les réseaux sociaux.

Ces risques sont en France localisés dans un assez faible nombre de grands massifs alpins. Ils sont difficiles à inventorier mais un processus de levée de doutes en cours est conduit par l'ONF (service RTM)¹ pour permettre de mieux sérier les sites présentant des risques majeurs. La mission propose d'accélérer ce programme pour disposer aussi rapidement que possible d'une vision claire des enjeux. C'est en effet maintenant qu'il faut déployer des réponses adaptées là où c'est nécessaire.

L'ensemble de ces évolutions, dont le calendrier et la brutalité sont et resteront incertains, suppose de renforcer l'exploitation des moyens de télédétection et de suivi de la situation et de compléter les sites qui doivent faire l'objet d'une surveillance spécifique. Les exemples italien et suisse sont à suivre, et supposent un renforcement de cette observation. Pour cela il convient d'augmenter les moyens du service RTM, qui apporte d'ores et déjà un précieux soutien aux pouvoirs publics et de le mettre en situation de produire, en collaboration avec les autres équipes scientifiques et techniques, un bulletin au minimum annuel.

L'instabilité des glaciers, mais aussi des pentes en pergélisol, suppose des investigations en milieu difficile, par nature coûteuses, pour connaître l'évolution des régimes thermiques internes, qui conditionnent le mode de désagrégation et de décrochage de masses plus ou moins importantes. Si les chercheurs français sont en pointe dans ce domaine, il est pertinent aujourd'hui d'intensifier leurs efforts. De même la dynamique de propagation de ces mélanges de glace, de roche et d'eau sur des pentes très fortes doit faire l'objet de travaux d'approfondissement : la combinaison de ces deux facteurs (ampleur des événements source et propagation) est la déterminante des aléas subis et de la délimitation des zones potentiellement exposées, connaissance indispensable pour y réduire les risques par des mesures d'alerte, de maîtrise des occupations du sol ou de protection structurelle. Ces analyses opérationnelles sont déjà engagées pour quelques grands sites qui sont très vraisemblablement les plus exposés ; il n'est donc pas nécessaire d'attendre très longtemps pour entrer dans les processus de prévention que ces connaissances préalables doivent éclairer.

La mobilisation des acteurs est réelle : d'une part la direction générale de la prévention des risques a concentré sur ce sujet des moyens très significatifs à travers un programme dit PAPROG mobilisant services techniques et chercheurs dans une dynamique pluridisciplinaire effective. D'autre part l'interface entre les chercheurs et les décideurs, chaque fois qu'un enjeu est détecté, est opérationnelle, et au-delà, les acteurs de la montagne (guides, gardiens de refuges, etc...) sont en contact fructueux avec les chercheurs qui sont souvent eux-mêmes guides et en tout cas praticiens éclairés de la montagne.

¹ Un glossaire des acronymes administratifs est proposé en annexe 3

Il faut donc renforcer cette dynamique qui s'est construite sur le terrain et que les administrations centrales ont su encourager. Des moyens supplémentaires sont à mobiliser maintenant et les enjeux le justifient.

Au-delà des dynamiques de coopération locales existantes, la mission estime opportun de structurer une communauté opérationnelle regroupant les scientifiques, les gestionnaires du risque et les experts de terrain, avec un objectif d'interfécondité entre les travaux de recherche et la prévention des risques, un croisement effectif entre les besoins de l'opérationnel et la capacité de la recherche à y apporter des réponses appropriées, des flux d'informations et une meilleure visibilité de ce domaine de recherche. Cette structuration pourrait prendre la forme d'un groupement d'intérêt scientifique (GIS).

La mission a sollicité les laboratoires impliqués dans la recherche sur les risques d'origine glaciaire et périglaciaire (ROGP) pour produire une première évaluation des moyens nécessaires en vue de réaliser plusieurs actions de recherche urgentes et propose sur cette base, de dynamiser la recherche sur les ROGP au moyen d'un financement « Flash » de l'ANR qui vise à soutenir rapidement des besoins urgents de recherche sur des thématiques ciblées, notamment liés à une situation de crise ou d'incertitude relative à l'étendue et à la dangerosité d'un risque naturel, à l'exemple des ROGP.

Synthèse

Par lettre de mission du 20 avril 2022, les ministres de la transition écologique, de l'intérieur et de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, ont demandé au conseil général de l'environnement et du développement durable (désormais inspection générale), à l'inspection générale de l'administration et à l'inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche de réaliser une mission conjointe destinée à identifier les enjeux liés aux risques d'origine glaciaires et périglaciaires (ROGP) et à « formuler des propositions concrètes d'organisation et de leviers pour conduire une stratégie interministérielle de prévention ».

Pour réaliser ses travaux, la mission a pris connaissance d'une documentation fournie, rencontré les acteurs nationaux mais également des responsables des questions glaciaires et de sécurité civile en Suisse (cantons de Berne et du Valais) et en Italie (région du Val d'Aoste).

Les glaciers encore présents en France (glaciers blancs et glaciers rocheux) se situent essentiellement dans le massif des Alpes, la plupart se concentrant sur quatre départements (Haute Savoie, Savoie, Isère et Hautes Alpes) avec en particulier ceux plus emblématiques (Mer de Glace, glacier de l'Argentière, des Bossons, ...) localisés dans le massif du Mont Blanc, au-dessus et sur le territoire des communes de Chamonix, des Houches, de St Gervais et des Contamines-Monjoie, ainsi que dans le massif des Écrins et de la Vanoise. La superficie totale des glaciers blancs français est estimée à environ 200 km², à comparer aux 1300 km² cumulés des glaciers italiens et suisses.

Les phénomènes générateurs des ROGP sont de natures variées :

- Les avalanches de glace et de roche mêlées ; un glissement accéléré du glacier entraînant non plus la chute de simples séracs (phénomène habituel), mais celle d'importantes langues glaciaires, voire, dans la pire des hypothèses, la totalité du glacier. Ce phénomène découle notamment de la transformation du glacier qui passe d'un état « froid » (adhérent à la roche) à celui de « tempéré » (avec présence d'eau entre le glacier et la roche réduisant son adhérence). Le glacier de Tacconnaz, par exemple, particulièrement surveillé à ce titre, connaît une évolution progressive de ce type : sa désagrégation peut intervenir par petites étapes successives d'effets limités, ou bien ne se produire que dans plusieurs décennies, sous forme de mouvements de très grande ampleur ;
- Les accumulations d'eau qui peuvent se former (soit devant les glaciers lors de leur retrait, soit à leur surface ou leur périphérie comme à Rochemelon ou aux Bossons, soit à l'intérieur même du glacier ou sous celui-ci, comme cela a été le cas au glacier de Tête Rousse à St Gervais qui a fait 175 victimes en 1892) créent un risque d'écoulements torrentiels, sous forme uniquement d'eau (par exemple du fait du déversement brutal d'un lac glaciaire) ou bien de laves torrentielles (eau transformée en boue charriant des matières solides) ;
- Les glissements et mouvements de terrain. Ils proviennent principalement de la déstabilisation de parois en pergélisol ou de glaciers rocheux à l'occasion de modifications de leurs régimes thermiques.

Ces risques naturels sont susceptibles d'être amplifiés par des phénomènes en cascade en fonction de la situation :

- C'est durant leur propagation, sur des dénivelés importants avec de fortes pentes, qu'ils peuvent entraîner de très forts volumes de matériaux ;
- Ces importants volumes de matériau (neige, glace, rochers, boue, etc..) peuvent se déverser dans un lac naturel ou artificiel, occasionnant la surverse ou la rupture de ce lac, ou

barrer totalement ou partiellement un vallon ou une vallée. Cet embâcle retenant une importante retenue d'eau originaire du torrent ou de la rivière qui les parcourt et est ensuite susceptible de se rompre brutalement (débâcle).

Si ces différents phénomènes sont relativement bien identifiés, notamment en raison de précédents historiques, en France ou à l'étranger, des éléments importants de connaissance scientifique font encore défaut aujourd'hui pour que l'on soit véritablement en capacité d'évaluer concrètement la réalité et l'ampleur des risques et d'anticiper de façon opérationnelle la survenue des événements. À titre d'exemple, il n'y a pas aujourd'hui de modélisation satisfaisante de la propagation des laves torrentielles permettant, en fonction des paramètres du contexte (volume concerné, pente, matériaux déposés antérieurement susceptibles d'être entraînés...), de déterminer la zone d'impact potentielle. Autre exemple, la connaissance de la présence de poches d'eau sous-glaciaires et des risques susceptibles d'en découler, est extrêmement incomplète. La connaissance même de l'importance du phénomène glaciaire et périglaciaire en France, en particulier associée à la présence d'enjeux susceptibles d'être impactés, demeure aujourd'hui encore perfectible.

Des travaux d'amélioration de la connaissance ont été engagés depuis quelques années à l'initiative de la direction générale de la prévention des risques (DGPR) et de l'institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), notamment sous la forme d'un plan national d'action pour la prévention des risques glaciaires et périglaciaires (PAPROG). Ces travaux conduits à divers niveaux et par différents laboratoires de recherche ou administrations, doivent impérativement être poursuivis et même amplifiés, à commencer par l'inventaire des glaciers en cours de réalisation par le service de restauration des terrains en montagne (RTM).

À l'inverse, la mission a pu constater lors de ses entretiens et de ses déplacements dans les départements savoyards, une réelle sensibilisation de l'ensemble des acteurs concernés, qu'il s'agisse des administrations de l'État (préfectures, services de secours en montagne, DDT, ...), des collectivités locales (communes, départements), du monde de la recherche (avec notamment des chercheurs également pratiquants, voire professionnels de la montagne), des professionnels (guides, gardiens de refuges...). Tous sont extrêmement mobilisés et actifs avec notamment la constitution de réseaux sociaux dédiés qui leur permettent de partager les observations qu'ils peuvent être amenés à effectuer sur les glaciers (chute de séracs, nouvelles failles, ouverture de crevasses, glissement accéléré...). Cette surveillance humaine a ainsi permis d'identifier il y a quelques années le risque de surverse du lac glaciaire des Bossons et de réaliser des travaux en conséquence (ouverture d'une brèche permettant une vidange partielle). Certains sites, comme l'Aiguille du midi, le glacier de Tacconnaz ou encore celui de Tête Rousse, font par ailleurs l'objet d'une surveillance renforcée à travers des dispositifs d'instrumentation.

Même si cette mobilisation demande à être mieux structurée et organisée, la mission recommande de veiller à ce que la mise en place d'une stratégie nationale sur les ROGP, dont l'intérêt n'est pas contesté, soit bien conçue, dans la dynamique déjà mise en place, pour encourager et conforter des initiatives locales qui se sont avérées jusqu'ici pertinentes et ont sans doute permis durant les dernières années d'éviter de nouvelles catastrophes au glacier des Bossons à Chamonix ou en aval de celui de Tête Rousse à Saint Gervais.

Cette stratégie devrait permettre de mieux appréhender la réalité d'un risque dont la double particularité est son caractère très aléatoire (la majorité des glaciers fondra sans doute sans provoquer le moindre dégât, en tout cas humain ou aux infrastructures) et en tout état de cause éphémère si l'on considère que la plupart des glaciers ont a priori vocation à se réduire drastiquement à l'échéance du siècle entamé. Toutefois, il convient de considérer que l'amenuisement progressif des glaciers ne constitue pas un élément de réduction du risque, mais au contraire, d'aggravation, les matériaux que le recul du front de glace laisse en surface de la roche, constituent en effet autant d'éléments supplémentaires à charrier lors d'un éventuel effondrement majeur, et l'accélération des processus intensifient massivement les transports de sédiments.

Les précédents historiques montrent que l'essentiel des victimes ou des dégâts enregistrés depuis un siècle et demi sont le fait d'un nombre très restreint d'événements (le seul événement de 1892 totalise 88% des décès de la période).

Dans ce contexte, la mission recommande l'élaboration d'un plan d'action autour de 4 axes de travail :

- Conforter l'observation et sa capitalisation :
 - En achevant les inventaires, en les actualisant régulièrement (suivi par télédétection, moyens aériens, formalisation des observations terrain ...) pour déterminer les sites devant faire l'objet d'une surveillance particulière (levée de doutes) ;
 - En organisant et en gérant les observations des sites à enjeu, activité qui mobilise à la fois le monde de la recherche et les services opérationnels ;
 - En mettant en place, lorsque cela paraît opportun, une surveillance renforcée en temps réel (visées laser par exemple pour ce qui concerne l'avancée des langues glaciaires) pour les sites présentant les risques les plus évidents, à l'instar des pratiques suisse et italienne ;
 - En constituant un pôle de compétence et d'échange sur les ROGP, sous forme d'un état des événements tenu par le service de restauration des terrains en montagne.
- Poursuivre les efforts de modélisation notamment sur le processus de transition thermique des glaciers et les propagations de matériaux à partir de désagrégation de glaciers ;
- Accentuer la prise en compte opérationnelle en intensifiant la démarche de levée de doutes engagée par le service RTM pour l'achever en un an et en engageant des études approfondies de réduction des risques sur les quelques glaciers qui auront été identifiés au niveau national comme à risque ;
- Partager, informer, mobiliser la connaissance à travers :
 - Un bulletin de début de saison bâti notamment à partir des suivis annuels d'ensemble, du bilan des événements observés et des circonstances climatiques du moment et de leur possible impact ;
 - Une réunion départementale d'échange d'informations sur les ROGP au printemps ;
 - Un séminaire biennal de bilan des avancées de connaissance regroupant l'ensemble des acteurs publics et privés concernés.

Pour la mise en œuvre de ce plan d'action, la mission considère souhaitable de faire évoluer le rôle du service RTM qui a une parfaite connaissance des risques naturels en montagne et qui semble très consensuel parmi les décideurs locaux, en réaffirmant et en confortant ses missions en matière :

- d'appui opérationnel, de surveillance et de connaissance ;
- de conseil aux autorités décisionnaires de sécurité civile (maires et préfets) ;
- de capitalisation des inventaires et des connaissances de terrain ;
- de valorisation de ses travaux par l'élaboration d'un bulletin annuel de début de saison.

Ce rôle accru qui serait confié par le ministère de la transition écologique au service RTM suppose que la convention qui lie ce dernier à l'Etat soit amendée pour intégrer ces missions dont le coût est estimé à 600 000 euros par an (6 ETP) et que le plafond d'emploi du RTM soit relevé en conséquence.

Côté recherche, la mission a sollicité les laboratoires impliqués dans la recherche sur les ROGP pour proposer une liste d'actions prioritaires de recherche sur une durée de 3 à 4 ans, assortie d'un premier chiffrage des coûts associés, dont le montant global a été estimé à 3.8 M€. La mission propose en ce sens :

- la création d'un groupement d'intérêt scientifique pour renforcer les échanges entre les chercheurs et les gestionnaires du risque ;
- la mise en place d'un financement Flash de l'ANR sur la base des besoins de recherche urgents identifiés par la mission auprès des laboratoires impliqués dans la recherche sur les ROGP (annexe 19). Le dispositif Flash permet grâce à une procédure accélérée de sélection et de financement de mobiliser rapidement une communauté scientifique pour répondre à un besoin urgent de recherche liée à une situation de crise ou d'incertitude relative à l'étendue et à la dangerosité du risque d'origine glaciaire et périglaciaire.

Liste des recommandations

- Recommandation 1. (RTM) Achever l'inventaire des parois de montagne à pergélissol, engager sans tarder la réactualisation de l'inventaire des glaciers blancs (2015) et systématiser l'actualisation annuelle de l'inventaire des lacs glaciaires. 53**
- Recommandation 2. (DGPR et RTM) Finaliser au plus vite le processus de levée de doutes pour ce qui concerne la cartographie des sites potentiels à risque ; conforter en conséquence, les moyens du service RTM pour réaliser cette levée de doutes avant fin 2024 plutôt que fin 2025. 53**
- Recommandation 3. (MESR et universités concernées) Créer un « observatoire des ROGP » sous la forme d'un groupement d'intérêt scientifique (GIS) pour construire une communauté opérationnelle regroupant les scientifiques et les gestionnaires du risque autour des ROGP qui pourrait naturellement être abrité par l'OSUG ou par l'Institut du risque de l'UGA. 55**
- Recommandation 4. (MESR et ANR) Dynamiser la recherche sur les ROGP au moyen d'un financement Flash de l'ANR afin de répondre à un besoin urgent de recherche sur une thématique ciblée, liée à une situation d'incertitude sur l'étendue et la dangerosité du risque d'origine glaciaire et périglaciaire. 55**
- Recommandation 3. (DGPR en relation avec les parties prenantes) Mettre en place l'organisation d'un séminaire biennal destiné à faire le point sur l'état de la recherche en matière de ROGP en alternance avec un séminaire plus restreint. Un premier séminaire devrait intervenir en 2024, au plus tard. 56**
- Recommandation 4. (Préfets des départements concernés) Organiser avant l'été une réunion départementale annuelle de concertation des acteurs institutionnels et professionnels de la montagne en vue d'un partage d'informations et d'expériences sur la situation glaciaire et périglaciaire constatée. 57**
- Recommandation 5. (DGPR et RTM) Faire établir par le service RTM un bulletin annuel à l'échelle des massifs concernés (Alpes et éventuellement Pyrénées) de la situation glaciaire et périglaciaire à partir des données, informations et analyses recueillies auprès des différents organismes techniques et scientifiques mobilisés sur les ROGP Ce bulletin serait présenté dans les réunions départementales de printemps (voir recommandation précédente). 58**
- Recommandation 6. (DGPR, ONF) Renforcer le rôle du service RTM en lui confiant de nouvelles missions sur les ROGP sous convention avec le ministère de la transition écologique ; réévaluer son plafond d'emplois en conséquence 58**

Introduction

La commande

Lors d'une audition au Sénat le 3 octobre 2019², la ministre de la transition écologique et solidaire, Élisabeth Borne, annonçait pour les territoires de montagnes, « *un plan de prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire*. » La direction générale de la prévention des risques (DGPR) a engagé en 2020 dans cet esprit un travail autour d'un projet de stratégie pour la prévention et la gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire (ROGP) qui n'a pas abouti à une approbation interministérielle ; ce qui n'a pas empêché cette direction de mettre en place de nombreuses actions. Le 20 avril 2022 les ministres concernés par ces sujets (la ministre de la transition écologique, le ministre de l'intérieur et la ministre de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation) ont signé la commande jointe en annexe 1. Telle que formulée, il s'agit d'une « *mission d'expertise sur l'identification des enjeux liés aux risques d'origine glaciaire et périglaciaire* » qui s'attachera « *à la lumière des analyses conduites* », à « *compléter la réflexion interministérielle engagée en précisant les axes principaux à développer dans le projet de stratégie* ». La commande demande d'identifier :

- les principaux enjeux liés à la prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire ;
- les démarches scientifiques structurantes permettant de lever les verrous en matière d'acquisition de données et de modélisation ;
- la nature des connaissances nécessaires pour que les collectivités territoriales et les services déconcentrés de l'État puissent mener des actions de prévention ;
- la nature des données et des suivis utiles à l'anticipation de la gestion des risques, à l'évitement des crises, à défaut leur bonne gestion ;
- les possibilités de surveillance de secteurs à risque et leur articulation avec les missions dévolues aux autorités chargées de la gestion des crises.

La méthode

La mission a rencontré dans un premier temps les administrations centrales concernées, des chercheurs, des spécialistes opérationnels d'organismes techniques et des services de l'État des quatre départements les plus directement concernés par les ROGP à savoir : les Hautes-Alpes, l'Isère, la Savoie et la Haute-Savoie. Avec leur soutien, elle a réalisé deux déplacements en Savoie et Haute-Savoie pour rencontrer les acteurs concernés. Elle a également engagé des contacts avec les services de surveillance des risques naturels en montagne en Italie (Région autonome de la Vallée d'Aoste) et en Suisse (canton du Valais et canton de Berne) pour développer une analyse comparative avec des pays alpins voisins qui partagent à des degrés divers, des préoccupations de connaissance et de sécurité civile en lien avec les ROGP. Enfin, la mission s'est appuyée sur la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) et a consulté l'Agence nationale de la recherche pour apprécier l'investissement recherche direct et indirect dans le champ d'études des ROGP qualifié d'« émergent » dans la lettre de saisine. Les noms et fonctions des personnes rencontrées par la mission sont récapitulés en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

² https://www.senat.fr/seances/s201910/s20191003/s20191003_mono.html

Le rapport

Le premier chapitre décrit le contexte de la commande et les enjeux du sujet. Le deuxième fait un état des lieux des démarches déjà entreprises. Le troisième résume les expériences de deux pays alpins voisins (Italie et Suisse) consultés par la mission. Le quatrième présente les propositions de la mission. Les annexes détaillent ces divers éléments et comportent des glossaires thématiques : administratif (Annexe 3) et technique (Annexe 4) une liste des organismes scientifiques et techniques concernés (Annexe 5) et une bibliographie regroupant les documents consultés par la mission (Annexe 18).

1 Les risques d'origine glaciaire et périglaciaire (ROGP) en France : des risques en milieu montagnard moins bien connus que les autres

Les phénomènes glaciaires et périglaciaires relèvent de ce que les spécialistes appellent la « cryosphère » qui rassemble toutes les portions de la surface des mers et des terres émergées où l'eau est présente à l'état solide. Selon le rapport spécial³ du GIEC (SR17) publié en 2019, la cryosphère terrestre comprend les « glaciers », les « inlandsis », les « banquises », les « icebergs », les « calottes glaciaires », la « glace de mer », la « glace de lac » ou la « glace de rivière », et les sols gelés de manière permanente ou saisonnière (« pergélisol »).

1.1 Les risques naturels d'origine glaciaire et périglaciaire (ROGP) : un ensemble hétérogène et complexe de phénomènes qui mettent en jeu la glace en haute montagne

Un risque naturel est la combinaison d'un aléa et d'une vulnérabilité. En général l'aléa est caractérisé par la probabilité qu'un phénomène d'une intensité donnée se produise. La vulnérabilité traduit la sensibilité des activités humaines à ce phénomène (exposition des biens et des personnes).

L'aléa peut lui-même être décomposé en deux facteurs, à savoir la fragilité et l'instabilité de la structure ou configuration naturelle concernée et les conditions physiques extérieures (climatique, pluviométrique, nivologique, etc.) susceptibles de favoriser la survenance d'un phénomène naturel, voire le développement même de l'aléa. La référence à des conditions physiques extérieures dans la définition du risque naturel peut engager des historiques sur des périodes de temps longues (plusieurs années voire davantage), ce qui contribue à complexifier la tâche de la prévention du risque naturel qui repose sur la surveillance opérationnelle. S'agissant des aléas glaciaires et périglaciaires, cette double détermination de l'aléa recouvre, au plan scientifique, une dynamique complexe qui engage des couplages croisés entre le sol, la glace, l'eau et l'atmosphère. Le phénomène de pente qui caractérise la montagne est déterminant dans les conséquences en termes de risques pour les activités humaines en aval et notamment en vallée.

Enfin, et ce n'est pas la moindre des considérations, la compréhension et le suivi de la dynamique des phénomènes glaciaires et périglaciaires des aléas s'inscrit dans un contexte postglaciaire de retrait des glaciers et de dégradation du pergélisol, aggravé par le changement climatique.

1.1.1 Les territoires de montagne connaissent d'importants risques naturels

En montagne, les phénomènes naturels susceptibles de générer des risques sont nombreux et de grande ampleur⁴ :

- crues torrentielles avec des transports solides importants, laves torrentielles ;
- avalanches de neige froide ou dense ;
- mouvements de terrain (chutes de blocs ou de pans de montagne) ;
- combinaison d'écoulements gravitaires sur les versants de grands volumes mêlant eau, neige, matériaux de taille (granulométrie) variée : avalanches de glace, et de roche mêlées, coulées de boue.

³ Rapport spécial du GIEC sur les océans et la cryosphère dans un monde dont le climat change, 2019 (SR17).

⁴ D'autres risques naturels (feux de forêts) y sont également présents, en lien moins direct avec l'objet de la présente mission.

La vulnérabilité à ces événements naturels est particulièrement importante du fait des activités humaines :

- **Dans les vallées** (à la fois parcourues par des torrents ou rivières torrentielles et comportant des versants susceptibles d'avalanches, coulées de boue, éboulement, etc...) : infrastructures de transport (avec peu d'itinéraires alternatifs), industries (souvent à forte intensité énergétique pour bénéficier des capacités de production de l'hydroélectricité), concentrations de populations, résidentes ou non, colonisation des versants par le développement urbain ;
- **En montagne** : barrages hydroélectriques et réseau de transport d'électricité à haute tension, développement de l'économie touristique en haute altitude, stations de ski (habitat et commerces saisonniers, remontées mécaniques, retenues d'eau pour l'alimentation en eau potable et l'alimentation des canons à neige) et fortes concentrations de randonneurs, de pratiquants de sports de plein air (rafting, canyoning, sports aériens...) et d'alpinistes, connaissant plus ou moins bien les risques qu'ils encourent.

Les autorités françaises ont regroupé certains de ces risques sous le terme « risques d'origine glaciaire et périglaciaire ».

L'expression « risques d'origine glaciaire et périglaciaire » (ROGP) est un terme utilisé par l'administration française pour regrouper les **risques naturels en montagne ayant pour source des zones couvertes de glace, englacées, récemment déglacées, ou leurs abords directement influencés par la présence des glaciers, ou concernées par le dégel des sols gelés en permanence en profondeur (pergélisol).**

Les zones sources

Les formations qui nous intéressent ici comme zones sources sont dites glaciaires (les glaciers blancs) et périglaciaires (pergélisols de parois rocheuses et glaciers rocheux).

Les événements sources

Nous regroupons sous le terme « **événements glaciaire et périglaciaire** » (**EGP**) les phénomènes naturels suivants, qui se jouent dans les zones sources, lesquelles constituent des zones de départ:

- **Événements glaciaires** (liés aux glaciers blancs) :
 - les carapaces de glace des fortes pentes (parois glaciaires), les glaciers suspendus, les séracs, où les langues terminales peuvent se décrocher. Les glaciers froids où la glace « colle » au substratum peuvent se transformer en glaciers tempérés où de l'eau peut circuler entre la glace et le substratum, diminuant fortement l'adhérence du glacier à la paroi (les glaciers peuvent aussi être polythermiques). Ces glaciers blancs peuvent être couverts de matériaux : glaciers couverts ou glaciers noirs ; ces couvertures peuvent, à partir d'une certaine épaisseur, les isoler thermiquement et réduire leur fonte estivale ou quand elles sont minces, en diminuant leur albédo⁵ et en augmentant la part du rayonnement absorbé, accroître cette fonte ;
 - Au sein des glaciers blancs, des **lacs glaciaires** peuvent se former et leur rupture libérer de grands volumes d'eau dans certains cas brutalement. On distingue selon leur position : les lacs proglaciaires en front de glacier, les lacs supra-glaciaires, en surface, et les lacs intra ou sous-glaciaires (ou poches d'eau) à l'intérieur du glacier. (Figure 1 infra).

⁵ Albédo : part des rayonnements solaires qui sont renvoyés vers l'atmosphère. L'albédo permet de calculer grâce à un facteur entre 0 et 100 le rayonnement solaire réfléchi par une surface, 0 correspondant à une surface absorbant tous les rayons, et 100 à une surface renvoyant tous les rayons.

- **Événements périglaciaires** (liés aux glaciers rocheux ou au pergélisol de parois rocheuses) :
 - les versants et les moraines d'une vallée glaciaire peuvent être déstabilisés par l'abaissement du niveau du glacier (voir l'exemple du refuge de la Pilatte, encadré 6) ;
 - la glace permanente du pergélisol de paroi rocheuse maintient en cohésion les matériaux ; la paroi peut se désagréger à plus ou moins grande échelle quand cette glace fond ou connaît des cycles successifs de gel-dégel ;
 - dans le cas des glaciers rocheux qui ne sont pas à proprement parler des glaciers, des débris rocheux issus d'éboulis ou de moraines sont mélangés à de la glace (souvent en très faible quantité) sur un versant. Leur fonte peut libérer de grands volumes de matériaux. La surface de ces glaciers rocheux est sensiblement plus grande que celle des glaciers.

Le déclenchement d'un phénomène source peut provenir de causes très diverses, à l'instar du skieur dont le simple passage peut déclencher une avalanche. Il faut souvent très peu de choses pour déclencher un événement glaciaire ou périglaciaire qui menace. La dynamique des événements glaciaires et périglaciaires est par ailleurs dépendante des conditions extérieures qui ont prévalu au cours des derniers mois, voire au cours des dernières années, ainsi que bien sûr, des conditions extérieures prévalentes au moment de la survenance d'un événement, lesquelles peuvent jouer le rôle de facteur déclenchant. L'altitude (qui influe sur le régime thermique), la pente (qui détermine les conditions de départ) et le dénivelé (écart entre les altitudes maximale et minimale) qui influent l'ampleur potentielle de l'événement générateur sont essentiels dans les risques naturels, générés par des sites glaciaires ou périglaciaires situés en haute montagne.

Tableau 1: Altitudes, pentes et dénivelés de plusieurs glaciers blancs français. Source : Glaciorisk

Nom du glacier	Altitude maximale	Altitude minimale	Pente
Glacier de Tacconnaz	3200m	1500m	30°
Glacier de l'Argentière	3800m	1400m	14°
Glacier des Bossons	4807m	1200m	26°
Glacier de Tête Rousse	3260m	2950m	27°

L'événement source se propage, s'atténue ou s'amplifie, par une cascade d'événements

Les événements sources, à partir de leur zone de départ, se propagent en s'amplifiant (par entraînement de matériaux mobilisables) ou en s'atténuant (par dépôt si l'inclinaison de la pente devient plus faible ou s'ils rencontrent des obstacles suffisants) ; ils peuvent générer les divers événements mentionnés plus haut qui constituent des dangers à l'aval (étant entendu que ces processus et événements peuvent avoir d'autres origines que les EGP). Ces événements peuvent soit s'atténuer en cours de propagation, soit être à l'origine de diverses cascades amplificatrices aux conséquences parfois bien plus importantes que les événements générateurs : c'est le cas par exemple lorsqu'un important volume de matériau (neige, glace, rochers, boue, etc..) vient se déverser dans un lac naturel ou artificiel ou obstruer l'écoulement d'un cours d'eau (embâcle), occasionnant la surverse ou la rupture de ce lac ou la débâcle brutale de cet embâcle. Risques naturels et technologiques peuvent alors se mêler étroitement.

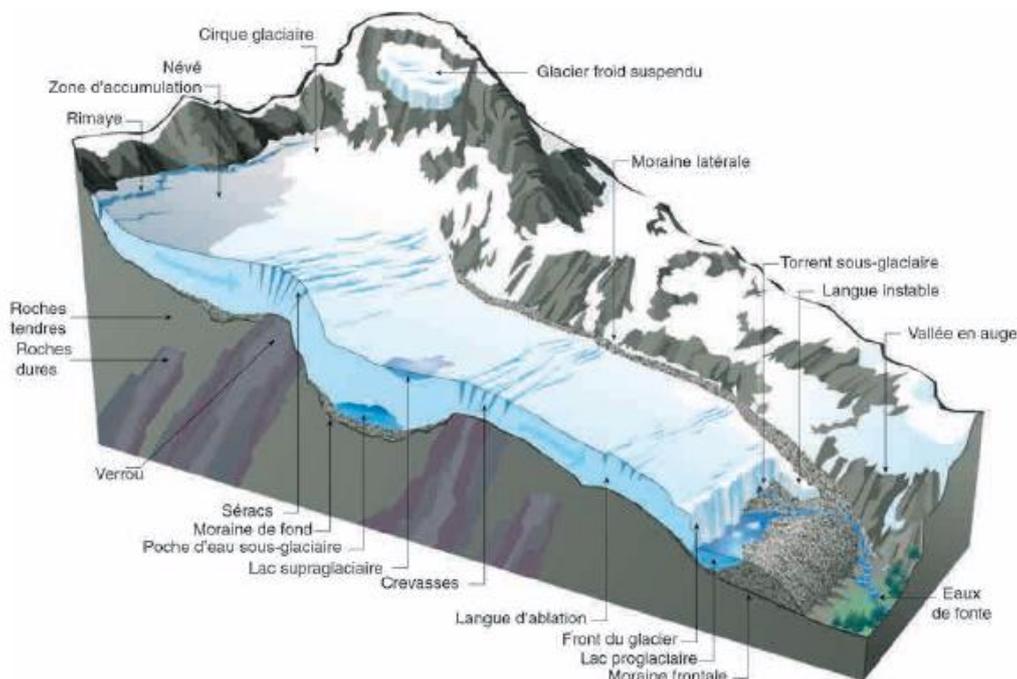


Figure 1: Coupe schématique d'un glacier présentant les principales situations à risques. Source : Naaim-Bouvet et Richard, dir., "Les risques naturels en montagne", 2015, Quae, d'après Buisson et al., 1999. © Graphies.

Du fait de ces processus en cascade et de cette dynamique d'amplification, le volume de matériaux qui arrive en vallée peut être nettement supérieur, (par exemple d'un facteur 10 pour l'événement de Tête Rousse) au volume du phénomène d'origine généré en montagne (Encadré 1). Interviennent alors de nouveau les caractéristiques déterminantes du volume des matériaux disponibles sur le parcours, de dénivelé (importance du parcours susceptible de mobiliser des matériaux) et de pente (qui conditionnent avec le dénivelé et la nature de l'écoulement la capacité à mobiliser ces matériaux).

Encadré 1. La rupture de la poche d'eau du glacier de Tête Rousse en 1892. (Sources : Mougin P. et Bernard G., 1922, Vincent C. et al., 2010, Gilbert A. et al., 2012)

En 1892, la rupture d'une poche d'eau de l'ordre de 100 000 m³ formée dans le petit glacier suspendu de Tête Rousse dans le massif du Mont-Blanc a suffi à générer une coulée de lave torrentielle constituée de boues, roches et débris végétaux, de l'ordre d'un million de m³ qui a ravagé les vallées du Bionnassay, du Bon Nuant et de Bionnet au Fayet. Cette coulée a fait plus de 175 victimes sur la commune de Saint-Gervais-les-Bains. Ce glacier a fait l'objet de travaux pour éviter la reconstitution d'une poche importante. Il connaît toujours une poche d'eau de volume variable, et fait l'objet d'une surveillance active. De nouveaux travaux sont intervenus en 2022.

1.2 Les événements glaciaires et periglaciaires recensés en France

En 2007, un rapport de l'OCDE⁶, indiquait pour les Alpes européennes, « les effets les plus nets des changements climatiques sur les risques naturels concernent les zones glaciaires et le pergélisol. Dans une perspective nationale, les dommages associés à ces dangers ont des implications

⁶ OECD « Changements climatiques dans les Alpes européennes : Adapter le tourisme d'hiver et la gestion des risques naturels », 2007 <https://www.oecd.org/fr/env/cc/changementsclimatiquesdanslesalpes europeennesadapterletourismedhiveretlagestiondesrisquesnaturels.htm>

économiques limitées étant donné que les régions touchées sont généralement isolées et très peu peuplées. Ces dommages ont en revanche beaucoup plus d'importance pour les communautés locales et peuvent aussi avoir des conséquences négatives indirectes pour l'industrie du tourisme.

»

1.2.1 Les glaciers et le pergélisol en France sont d'une assez faible étendue géographique

Selon les indications recueillies par la mission, la surface des glaciers blancs français (surface englacée) serait en 2022 de l'ordre de 200 km² dans les Alpes françaises (228,7 km² mesurés en 2015 avec le satellite Sentinel-2, Paul et al., 2020), moins qu'en Italie (350 km²) et beaucoup moins qu'en Suisse (944 km²) selon l'inventaire des glaciers suisses (ICS 2010)⁷ dans l'ensemble des Alpes⁸ et 1 km² dans les Pyrénées. La surface des glaciers français connaîtrait une régression de l'ordre de 2 % par an.

Les zones de pergélisol, notamment les glaciers rocheux, représenteraient une surface de l'ordre de 700 km² (Marcer et al., 2017), soit environ 10 % des territoires situés à une altitude au-dessus de 2000m (Duvillard et al., 2021). À titre de comparaison, en Suisse, les mesures du pergélisol coordonnées par le réseau PERMOS⁹ font état d'une surface totale environ deux fois plus grande que celle occupée par les glaciers, soit environ 1900 km², équivalant à 5 % de la surface du territoire.

Seule une partie de ces surfaces est susceptible de constituer un ROGP. L'ONF a entrepris un processus de levée de doute quant aux secteurs et zones concernées qui montre d'ores et déjà une concentration de ces risques potentiels dans ces territoires limités (Annexe 8 et figure 2). Les partis pris et biais méthodologiques utilisés pour l'établissement de cette cartographie sont présentés en annexe 8.

⁷ L'inventaire des glaciers suisses (ICS) réalisé en 2010 sur la base de photographies aériennes par la Commission d'experts du réseau de mesures cryosphère (CEC) de l'Académie suisse des sciences naturelles a dénombré une surface totale de glace de 944 km² pour un nombre total de glaciers de 1419.

⁸ On peut rapprocher ce chiffre de l'extension maximale des glaciers au quaternaire, qui a été chiffrée à 220 000 km². Cette comparaison n'est pas vaine : elle montre notamment à quel point les moraines héritées de cette histoire climatique sont sans commune mesure avec les flux actuels.

⁹ Les mesures du pergélisol au niveau suisse sont coordonnées par le réseau PERMOS (*Permafrost Monitoring Switzerland*) hébergé par l'Université de Fribourg. <https://ekk.scnat.ch/fr/>

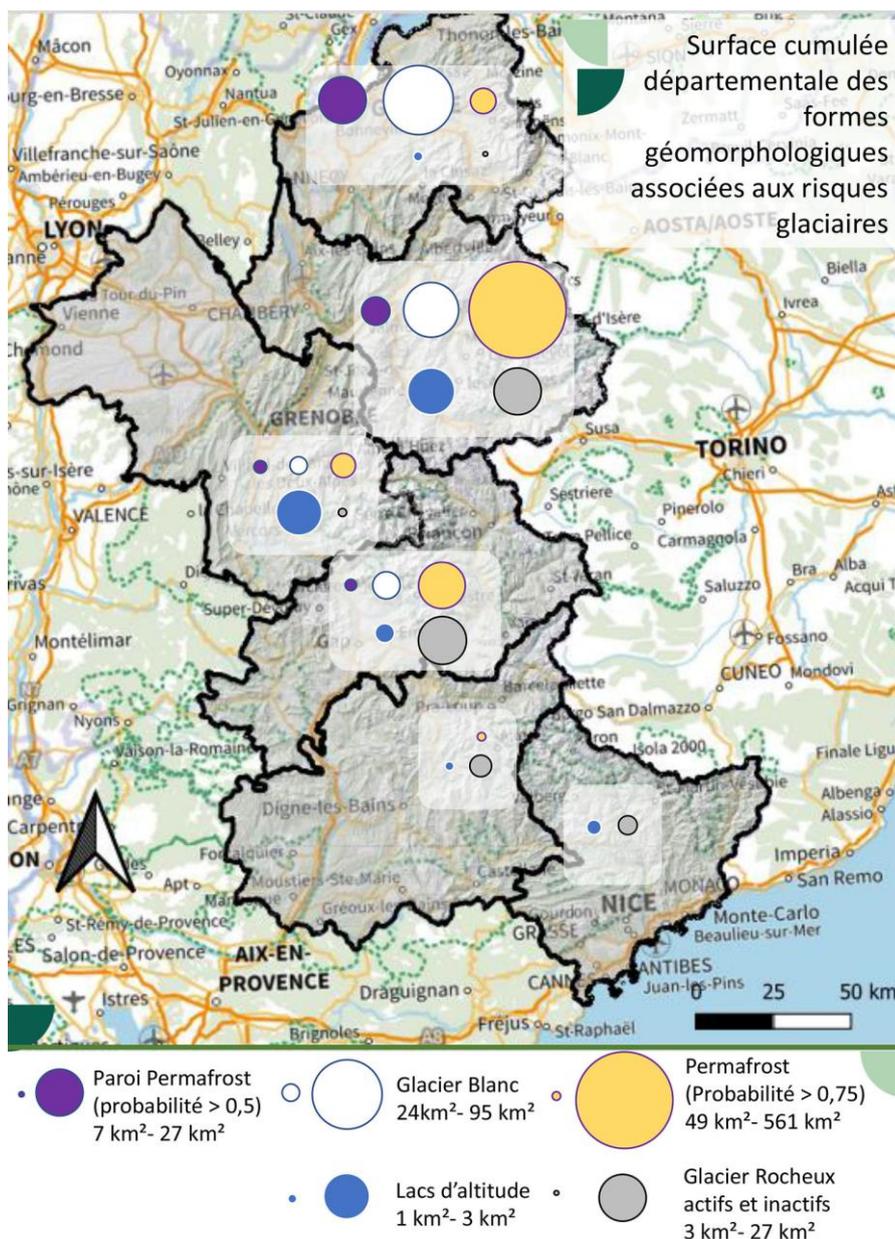


Figure 2 : Surface cumulée par département des formes géomorphologiques associées aux ROGP (source : RTM, 2022, pour le compte de la mission)

1.2.2 La réduction des glaciers est déjà très forte dans les Alpes et les Pyrénées et s'accélère.

La dynamique d'évolution des glaciers

De nombreux travaux de recherche convergent pour consolider le constat selon lequel les glaciers alpins ont au cours du XX^e siècle, à quelques exceptions de courte durée ou quelques cas parti-

culiers, connu une réduction très sensible de leur surface et de leur volume. Ils accusent des augmentations de température interne qui peuvent faire passer les glaciers dits « froids » (température interne nettement inférieure à la température de fusion de la glace) à des glaciers dits « tempérés » (température interne proche de la température de fusion) ou mixtes (Annexe 7). À moyen terme (vers la fin du XXI^e siècle), même dans des scénarios de bonne maîtrise des évolutions de température, et sauf changements drastiques et improbables des régimes de précipitations (aujourd'hui non envisagés dans les scénarios), il ne resterait pas de glaciers dans les Pyrénées et la taille des glaciers alpins français serait réduite d'un important facteur compris entre 5 et 10, soit une surface résiduelle totale de glaciers comprise entre 70 et 140 km².

La période actuelle s'inscrit dans ce que les spécialistes nomment une période paraglaciale (Mercier, 2019) caractérisée par des transports gravitaires de matériaux particulièrement intenses (Figure 3).

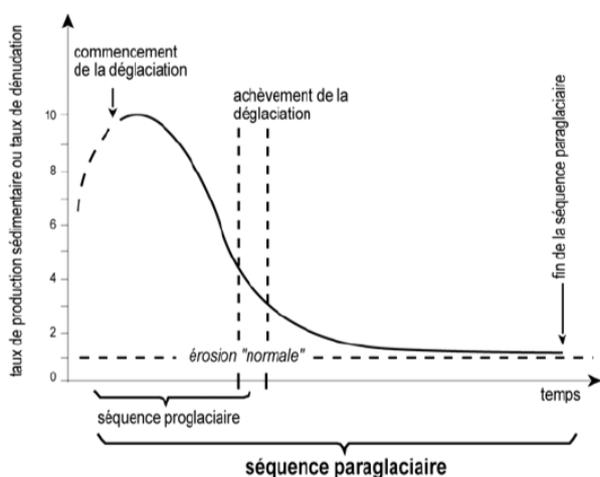


Figure 3: La séquence paraglaciale. Source : Mercier D., 2019, d'après Church et Ryder, 1972.

Les glaciers s'amenuisent très sensiblement et de façon accélérée : à terme, cela conduira à une réduction des événements glaciaires et périglaciaires par épuisement des volumes mobilisables (Annexe 7).

1.2.3 Des EGP très nombreux mais seule une faible part d'entre eux représente des risques en vallée

Les EGP ont une fréquence élevée et font partie de la vie naturelle de la haute montagne. Les randonneurs, les alpinistes, les refuges, voire les remontées mécaniques en haute montagne y sont donc fortement et habituellement exposés. Ils peuvent à ce titre, comme avec le glacier de la Marmolada en Italie, en juillet 2022, occasionner la mort d'une dizaine de personnes (en l'occurrence, selon le dernier bilan officiel, 11 morts et 8 blessés), ce qui, au regard des statistiques globales de décès en montagne, représente des événements d'ampleur exceptionnelle¹⁰.

Une petite part de ces EGP a une ampleur physique et une localisation qui conduisent à des risques majeurs en vallée par les phénomènes d'enchaînement décrits ci-dessus. La difficulté principale

¹⁰ Le système national d'observation de la sécurité en montagne (SNOSM) a publié une statistique sur la période 2009-2020 (SNOSM, 2021) qui montre des fluctuations fortes du nombre de décédés : entre 150 et 250/an ; en moyenne 205/an). Il distingue, en montagne comme en station de ski les décédés traumatiques (personne décédée suite à une chute, glissade, chute de pierre, choc sur un obstacle ... : 118/an en moyenne, chiffre en croissance entre 2010 et 2020), les décédés non traumatiques : personne décédée suite à un arrêt cardiaque, malaise, hypothermie... (60/an en moyenne, en forte hausse) et les décédés en avalanche (personne victime d'une avalanche dont le décès peut résulter d'asphyxie, d'hypothermie ou de traumatisme(s).. 28/an en décroissance sensible).

est que les sites concernés, les délais de survenue de ces phénomènes et leur ampleur sont mal cernés et font l'objet de programmes de recherche et d'inventaires avec le risque d'avoir à faire face à des événements auxquels les pouvoirs publics, n'en ayant pas encore l'expérience, seraient mal préparés.

Encadré 2. « Plus petits et plus éloignés des lieux habités » ne signifie pas « moins dangereux ».

En fondant, les glaciers voient leur volume diminuer et leur front remonter en altitude et s'éloigner des lieux habités. Ils pourraient sembler ainsi de moins en moins dangereux pour les lieux habités. Cela n'est vrai que si les pentes sont faibles comme à la Mer de Glace, par exemple. En effet, si la pente est significative, comme par exemple au glacier des Bossons et au glacier de Tacconnaz, et s'ils ont laissé à leur aval en se retirant des volumes de matériaux déposés significatifs, ceux-ci peuvent être stables en temps normal, mais rester mobilisables par une coulée venant de l'amont. Le volume de l'écoulement s'amplifie alors et les matériaux, dévalant un important dénivelé, gagnent en énergie cinétique.

1.2.4 Un processus transitoire pour quelques décennies dont l'ampleur et la brutalité sont difficiles à anticiper

Si l'on peut raisonnablement supposer, par exemple, que la Mer de Glace, comme elle le fait depuis plusieurs décennies, s'épuisera progressivement en fondant et en alimentant un débit soutenu du torrent de l'Arveyron sans occasionner d'événement brutal qui constituerait un risque naturel, il n'en va pas de même pour tous les glaciers et versants.

Il n'y a pas besoin de très grands volumes de glace ou d'eau pour initier sur des versants très pentus des phénomènes dangereux. L'origine peut être des parois tenues par le gel permanent (cas des glaciers rocheux) qui voient leurs matériaux perdre en cohésion et s'effondrer ; des glaciers blancs « collés » en quelque sorte par le froid qui deviennent « tempérés » et moins adhérents à leur substratum ; des lacs ou poches d'eau de fonte qui se forment et dont les matériaux barrant l'écoulement peuvent se rompre brutalement.

Une revue de ces divers sujets du point de vue de leur détection et leur traitement est au cœur du programme de travail sur les ROGP qui fait l'objet du présent rapport.

1.2.5 Les ROGP recensés en France

Dans le cadre du projet européen Glaciorisk (2000-03) 87 événements, concernant 28 glaciers ont été recensés et documentés en France (Tableau 2).

Tableau 2 : L'inventaire d'événements glaciaires dans les Alpes recensés dans la base Glaciorisk. Source : <http://www.nimbus.it/glaciorisk/StatView.asp> , données sélectionnées et regroupées par la mission.

Pays	Nombre d'événements	Nombre de glaciers	Nombre de morts	Nombre de blessés
Suisse	276	78	442	10
France	87	28	225	6
Italie	114	47	23	11
Autriche	24	14	3	0
TOTAL	501	167	721	67

Selon cette même base de données, sur les 87 événements glaciaires recensés en France, 37 concernent des écoulements provenant de lacs glaciaires ou poches d'eau, ce qui illustre l'importance de ce risque. S'agissant des décès occasionnés par ces événements, la mission note que sur un total de 225 décès, une très forte majorité (218) est liée aux mêmes phénomènes. La dangerosité de ce type d'événement se confirme au niveau des quatre pays étudiés (Autriche, Italie, France et Suisse), avec 421 des 721 décès recensés pour l'ensemble des glaciers de ces pays.

Le recensement français a été complété par étapes successives et comporte désormais 219 événements bien documentés et dont l'identification comme ROGP est réputée certaine (163 cas), douteuse (20 cas) ou probable (36 cas)¹¹. Le tableau de l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** résume les principales données de ces événements (Source : da Silva Q., RTM, 2021).

- La chronique de la survenue de ces événements (Figure 4) est intéressante à plusieurs titres et semble en phase avec les évolutions des séquences de pertes de masse glaciaire (voir Annexe 7) ; ces événements ne sont pas absents durant le Petit Âge Glaciaire, ils ont connu une première accélération à la fin du PAG, peut-être un peu ralentie dans la période 1950-1980¹², ils sont enfin, de plus en plus fréquents depuis 1980.

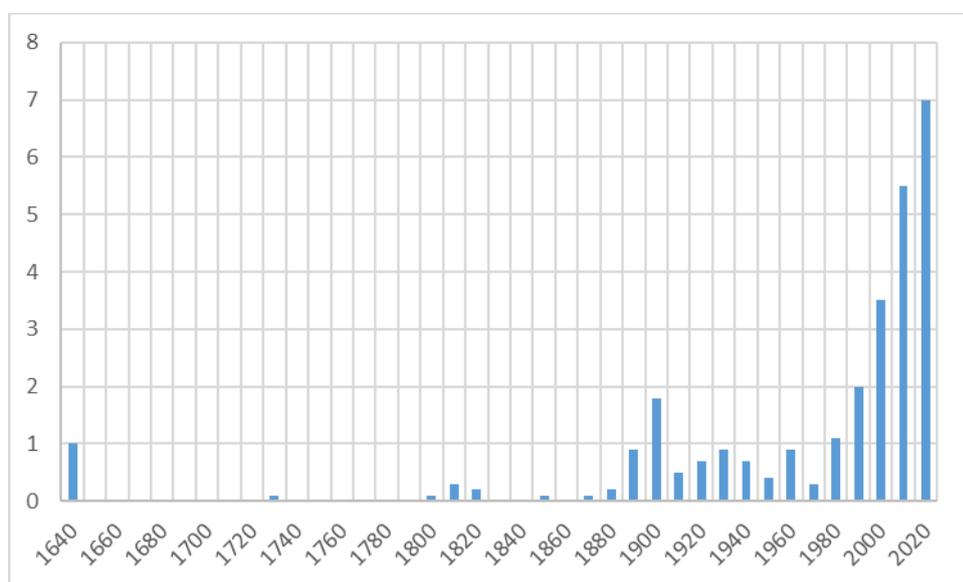


Figure 4: Nombre annuel d' EGP recensés en France. Source : mission, données da Silva Q., RTM, 2021. Nota : les données sont moyennées par décennie sauf pour 2020-2021 où la moyenne est établie sur 2 ans. Cet inventaire est sans doute loin d'être exhaustif jusqu'en 1850.

L'événement du glacier de Tête Rousse en 1892 représente, avec une estimation de 175 personnes décédées, à lui seul 78% des 225 personnes décédées identifiées dans ce recensement.

¹¹ On peut supposer que les biais d'échantillonnage sont encore significatifs, notamment compte-tenu du fait que nombre des événements recensés récemment sont situés en haute montagne et que des événements similaires ont pu ne pas être documentés avant le développement progressif de la fréquentation de la haute montagne au XXe siècle. Néanmoins durant toute cette période la pratique de conserver la mémoire écrite des événements affectant les vallées était bien établie et les sources documentaires plutôt bien conservées.

¹² Da Silva note : « Néanmoins, on remarquera que la décennie 1971-1980, particulièrement fraîche sur la période considérée, et même à l'échelle du XXème siècle, est la seule décennie où aucun événement de notre base de données (hors chute de séracs) n'est recensé. Et ce alors même que sept événements ont été recensés durant la décennie précédente. Cela montre donc une réelle corrélation entre évolution climatique et nombre d'événements recensés, au-delà des biais d'observation. »

Encadré 3. Principaux événements recensés en France ayant occasionné des victimes.
Source : données extraites de da Silva Q., RTM, 2021.

La catastrophe de Tête Rousse en 1892 : 175 victimes (voir l'encadré 1) ;

- une importante chute de séracs sur le versant nord du Dôme du Goûter (massif du Mont-Blanc) en 1994 (9 alpinistes décédés) ;
- la rupture de la langue terminale du glacier du Tour (Chamonix, 1949, volume estimé de 0,5 à 2 Mm³, décès de 6 promeneurs dans l'avalanche ;
- des chutes des séracs de la Charpoua (Massif du Mont Blanc) : 1 victimes alpiniste en 1997 et 2 victimes alpinistes en 2014 ;
- au glacier d'Argentières, une crue brutale du torrent de l'Arveyron en 1904, sans doute liée à la rupture d'une poche d'eau, 2 personnes noyées ;
- une avalanche de glace de l'Aiguille de Charmoz (Chamonix) en 1889 qui engloutit une maison tuant 1 personne ;
- des chutes de séracs au col du Mont Maudit en 1998 impliquant 4 alpinistes (1 décédé et 3 blessés) ;
- des chutes de séracs en 2020 sur la face nord du Dôme des Écrins (Vallouise-Pelvoux) (1 alpiniste décédé et 3 blessés) ;
- un effondrement de tours de rochers en 2018 sur la voie normale de la Meige (Saint-christophe-en-Oisans), 2 alpinistes blessés.

1.3 Des risques accentués par le réchauffement climatique

1.3.1 Des phénomènes qui s'amplifient actuellement mais qui pour certains peuvent être détectés

Les chercheurs du projet GlaRiskAlp concluent que « les aléas d'origine glaciaire devraient augmenter du fait du changement climatique ». Ce pronostic est généralement partagé par la communauté des glaciologues, notamment s'agissant de la formation de lacs glaciaires ou de poches d'eaux, ainsi que pour la transition thermique des glaciers :

- **La formation des lacs proglaciaires** : avec le recul du front de glace largement en amont des moraines se dégagent des espaces qui peuvent être remplis par les flux de fonte, la moraine pouvant ensuite se dégrader rapidement par divers mécanismes ; ces avals de langues glaciaires sont en général visibles et fréquentés et, sans être idéalement accessibles pour des interventions préventives, les autorités ont une certaine expérience de tels travaux et le diagnostic de la situation par des spécialistes pour définir des mesures adaptées n'est guère plus difficile que pour bien d'autres situations d'embâcles. Le retrait glaciaire est en effet à l'origine de nombreux nouveaux lacs glaciaires et d'une augmentation du volume des lacs existants (Magnin et al., 2019)
- **La formation des autres lacs glaciaires** : situés sur les glaciers, l'amorce de la formation de lacs supraglaciaires devrait être à la portée d'un système de surveillance. Les interventions comme celles de Rochemelon (Encadré 4), établies après un diagnostic étayé des risques pour les populations situées à l'aval, ont été délicates (intervention en haute montagne). Elles montrent qu'il est possible de prendre à temps et de façon compétente ces phénomènes. Il est vraisemblable que la multiplication de ces cas, soit inéluctable et qu'ils se produisent dans des lieux qui ne peuvent pas être prédéterminés de façon fiable. Le fait,

par exemple, que l'on ne dispose pas à ce jour d'un inventaire des poches d'eau existantes qualifiées en volume montre que, pour ce risque jugé important, la donnée de base est aujourd'hui purement et simplement manquante.

Encadré 4. Le lac épiglacière de Rochemelon, une intervention préventive exemplaire. Source : Service départemental RTM Savoie.¹³

Le lac glaciaire de Rochemelon (Savoie, Haute Maurienne) a fait l'objet d'une attention particulière de 2001 à 2003 dans le cadre du programme européen Glaciorisk. Ce glacier présente comme particularité, l'existence d'un lac formé à son sommet, en limite de la frontière avec l'Italie. L'évolution naturelle de ce lac comportait le risque d'une vidange brutale, partielle ou totale, susceptible d'affecter à l'aval plusieurs communes françaises ou italiennes. Deux scénarios de déversements étaient possibles : déversement total côté français par rupture du verrou glaciaire ou déversement partiel coté italien par rupture d'un embâcle d'icebergs qui seraient venus obstruer l'écoulement permanent du lac vers l'Italie par le col rocheux de Novalèse. L'urgence à intervenir est apparue fin août 2004 lorsque, à l'occasion d'une visite de contrôle, des observateurs (LGGE, CEMAGREF et Service RTM Savoie) ont constaté une accélération significative de la fonte au niveau du verrou glaciaire qui rendait réel et imminent le risque de surverse du lac voire de la rupture du verrou. Le parti a été pris d'une vidange complète du lac réalisée en 2005. Depuis cette purge, le lac ne se recrée plus ou seulement de manière très éphémère avec très peu d'eau. Le site fait aujourd'hui, l'objet d'une surveillance réduite pour vérifier le bon fonctionnement de la vidange naturelle.

- **le changement de régime thermique des glaciers** : le passage de glaciers froids à tempérés ou polythermiques peut occasionner des chutes de séracs et de glaciers suspendus d'ampleur plus conséquente. C'est ainsi le risque de voir une partie du glacier de Taconnaz devenir tempéré et de voir s'accélérer la chute des séracs ou d'une partie du glacier, générant des avalanches susceptibles de menacer la vallée a motivé un programme de recherche et des travaux (Encadré 5).

Encadré 5. Le glacier de Taconnaz, un site expérimental pour étudier les avalanches de neige et de glace ; Source : GLARISKALP¹⁴

De très importants volumes de glace se détachent régulièrement du glacier suspendu de Taconnaz en vallée de Chamonix. La chute de séracs de Taconnaz a déjà provoqué plusieurs avalanches de glace jusqu'en bas de la vallée, sans victime à ce jour. Équipé d'un système de protection passive (tas freineurs, digues d'arrêt...), le site présente un double intérêt, en termes de gestion du risque par le suivi du fonctionnement d'un dispositif paravalanche réelle et, en termes de recherche, pour la compréhension des interactions entre avalanches et ouvrages de protection. En collaboration avec le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement de Grenoble (université Grenoble Alpes), les scientifiques de l'INRAE étudient l'activité des séracs de ce glacier du massif du Mont-Blanc. Ce suivi a déjà livré un résultat marquant : une hausse de la température de la partie supérieure du glacier de 2,5°C en 100 ans. Des conditions qui vont modifier la fréquence et le volume des chutes de séracs et pourraient même déstabiliser une large partie du glacier et entraîner des avalanches de glace d'intensité extrême. Dans le contexte du réchauffement climatique, ces travaux se révèlent d'une grande importance pour déterminer en particulier si et quand cette zone glaciaire pourrait devenir à terme, tempérée.

¹³ « Le lac épiglacière de Rochemelon, de la crise de 2004 à la vidange contrôlée de 2005 », note de synthèse, ONF – Service départemental RTM Savoie, chef de service Bruno Laïly, 6 octobre 2006.

<http://www.risknat.org/risques-glaciaires-et-periglaciaires/ressources/Note-de-synthese-Rochemelon-RTM.pdf>

¹⁴ [http://www.glariskalp.eu/?fr_site-pilote-le-glacier-de-taconnaz-\(haute-savoie\)](http://www.glariskalp.eu/?fr_site-pilote-le-glacier-de-taconnaz-(haute-savoie)), 18

1.3.2 Des processus cumulatifs et non répétitifs dont l'évaluation doit procéder de méthodes spécifiques

Comme cela a été souligné précédemment, les risques naturels en montagne sont liés à deux types de matériaux : l'eau et le sol et dépendent de l'importance respective du flux entrant et du stock dans les volumes mobilisés.¹⁵

Pour les phénomènes où le flux entrant d'eau domine (notamment les crues et partiellement pour les avalanches de neige ou crues), le « matériau de l'événement », l'eau, est apportée par des précipitations, stockages et déstockages qui procèdent d'un cycle annuel de très grande variabilité interannuelle et qui se mesure à la saison, au mois, au jour ou à l'heure. Un événement extrême est susceptible de **se produire chaque année avec une probabilité que l'on sait évaluer** et dont on peut cerner l'incertitude liée à la méthode d'estimation, aux données disponibles. La non-stationnarité de ces phénomènes est, quand on sait la prendre en compte, celle du climat : quand le régime des précipitations évolue, ces probabilités se modifient.

Pour les phénomènes où le stock d'eau est une accumulation solide qui a pu durer des millénaires (glaciers) ou si le sol domine (ROGP, avec des laves torrentielles, chutes et éboulements), la disponibilité du matériau mobilisable est le résultat d'un processus de dépôt, de déplacement, de dégradation, etc. dont les temps s'organisent dans **une chronologie longue : l'événement est singulier et non reproductible** (ce qui est tombé est tombé). La question est donc souvent : « est-ce que cela va tenir encore quelques jours, quelques semaines, quelques mois, quelques années ou décennies » ? Et la réponse dépend à la fois des conditions propres de stabilité ou d'instabilité de ces matériaux dont les équilibres précaires sont brutalement détruits, parfois à l'occasion d'un événement climatique, et des conditions physiques extérieures passées et récentes.

Le premier enseignement qu'en tire la mission tient en quatre points :

- Les suivis et bilans annuels qui capitalisent la connaissance de l'état du système résultant des effets cumulatifs historiques sont pour les EGP la première clé de la connaissance ;
- Les conditions climatiques saisonnières (températures des saisons précédentes, précipitations et stocks) peuvent contribuer au développement voire à l'intensification de l'aléa quand les circonstances physiques immédiates (température, vent, précipitation, etc.) peuvent constituer des déclencheurs possibles, à l'instar d'autres phénomènes comme les séismes ;
- Il semble peu pertinent de calquer les méthodes de gestion du risque (prévention, alerte) sur les deux phénomènes les mieux connus que sont les avalanches et les crues, les propagations de matériaux provenant des ROGP répondant à des phénomènes physiques différents, encore mal étudiés ;
- La difficulté de probabilisation ne peut pour autant pas constituer un obstacle à la prise en compte et partant à l'affichage du risque auprès des populations concernées.

Le deuxième enseignement qui s'impose au vu de l'impressionnante production scientifique de ces vingt dernières années sur le sujet, est que la recherche, qui est en plein progrès tout en laissant encore d'importants domaines à explorer, est nécessairement au cœur des politiques de prévention.

Le troisième enseignement est que, dans la plupart des ROGP, la question de l'ampleur des risques est intimement liée à celle du processus de déstabilisation des sols, parois, glaciers :

¹⁵ Bien entendu cette présentation volontairement simpliste doit en réalité être complétée : par exemple la morphodynamique des torrents mobilisent une interaction forte entre lit et écoulement, la rivière « faisant son lit » en même temps qu'elle s'y écoule. De même les glaciers et leurs séracs procèdent à la fois d'un bilan de masse dominé par les saisons, et de la dynamique propre de l'objet solide, plus ou moins plastique, qu'ils constituent.

- Si cette déstabilisation se produit par des **successions de « petites » désagréations**, elle se manifestera par des phénomènes somme toute analogues, et même souvent de moindre ampleur, que les autres risques en montagne.
- Si cette déstabilisation se produit « **en un seul morceau** » après, souvent un long temps de maturation, elle risquera de déclencher des phénomènes majeurs capables d'atteindre des niveaux de risque considérables.

Le monde de la recherche et les services opérationnels (notamment le service RTM) semblent s'accorder sur le fait que :

- La probabilisation de l'alternative évoquée ci-dessus sur le processus de déstabilisation est particulièrement difficile, au moins à court terme ;
- Même sans pouvoir apprécier la probabilité de survenue de l'événement, la modélisation de la propagation des matériaux et des effets de cascades des événements majeurs (« en un seul morceau ») est indispensable pour prendre des mesures de prévention / protection des secteurs susceptibles d'être impactés ;
- La prévention ne se limite pas aux événements majeurs : au contraire, mettre en place des systèmes (ouvrages, vidanges de poche glaciaire, etc.) permettant de faire face à des scénarios de désagréation progressive paraît souhaitable, notamment pour les risques en haute montagne ;
- L'analyse doit être refaite à intervalles réguliers : certains risques vont s'estomper naturellement, quand d'autres accumuleront des conditions de plus en plus favorables à des scénarios plus préoccupants.

Selon une caractérisation proposée par les chercheurs du programme GlaRiskAlp, « *les aléas glaciaires sont caractérisés par une **basse fréquence et une grande intensité*** ». Ce qui contribue à faire des ROGP un enjeu de prévention complexe.

1.4 Les lieux où des personnes ou des biens sont potentiellement exposés sont la montagne et quelques vallées densément habitées assez peu nombreuses

Hormis la haute montagne, où les EGP ont des conséquences directes, il est à ce stade difficile de fournir une estimation des populations exposées en vallée. Le service RTM, dans le cadre du Paprogram s'est attelé à cette question, avec une démarche adaptée à l'objectif de sérier progressivement les zones susceptibles d'être exposées (Annexe 8 et figure 5).

Les massifs qui concentrent les plus forts territoires habités susceptibles d'être concernés sont la haute vallée de l'Arve (massif du Mont-Blanc), les vallées et stations des Écrins et de la Vanoise. Mais l'extension du pergélisol de paroi de montagne ou des glaciers rocheux va bien au-delà (Alpes maritimes, Hautes-Pyrénées et Alpes de Haute-Provence).

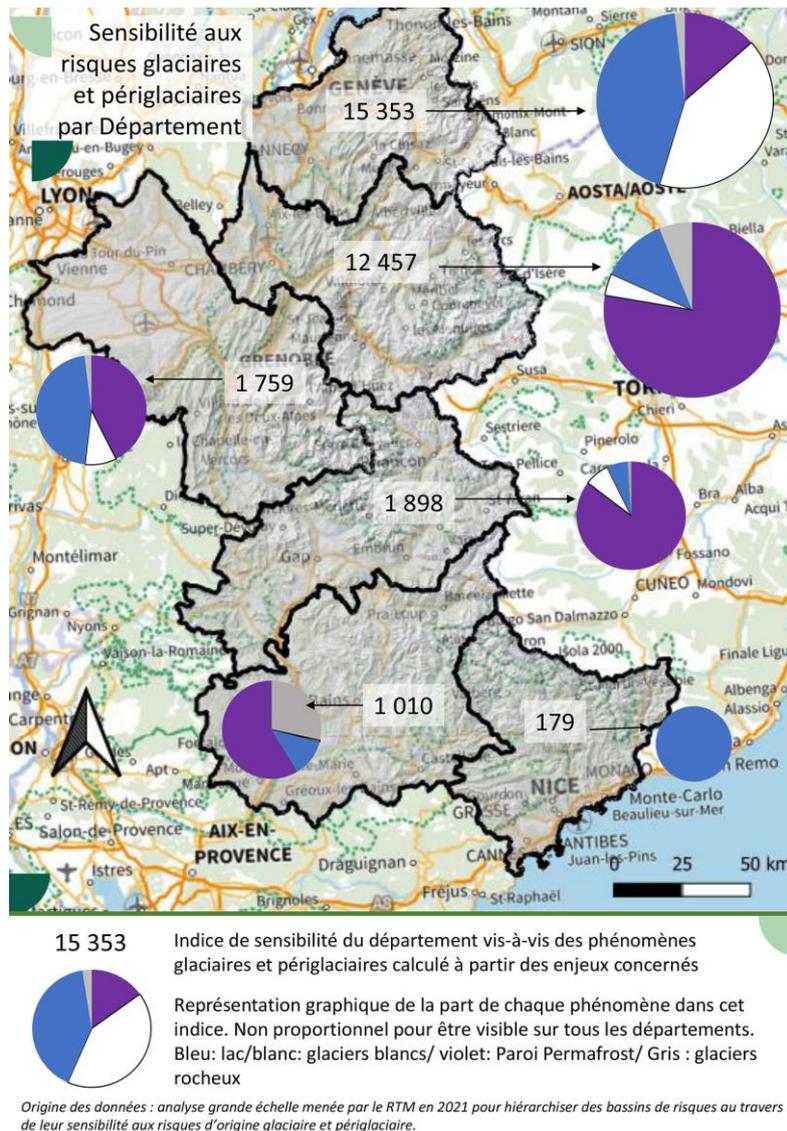


Figure 5 : Indice de sensibilité aux ROGP par département (Source : RTM, 2022, pour le compte de la mission).

Les partis pris et biais méthodologiques utilisés dans l'établissement de cette cartographie sont présentés en Annexe 7.

Un ordre de grandeur des populations résidentes permanentes susceptibles d'être menacées par de tels phénomènes a été indiqué sous toutes réserves à la mission ; il se situerait globalement en deçà de 20 000 habitants, tous territoires confondus, étant précisé que :

- Des événements importants, entraînant plusieurs dizaines de victimes, sont toujours susceptibles de se produire en dehors des quelques cas déjà identifiés et suivis ;
- Des événements de très grande ampleur, entraînant plusieurs centaines de victimes ne peuvent pas être non plus totalement exclus. Ils ne peuvent cependant se produire qu'avec des mobilisations extrêmement grandes de matériaux soit directement (décrochage d'une langue glaciaire complète devenue tempérée), soit indirectement (embaule ou déversement dans un lac naturel ou un réservoir artificiel entraînant une surverse ou une rupture).

À noter que la cartographie des zones en vallée vulnérables aux aléas glaciaires et périglaciaires relève d'un travail de pointage des zones habitées ou comprenant des installations ou des infrastructures, situées en contrebas de sites glaciaires ou périglaciaires identifiés « à risque ». Ce travail de délimitation des zones vulnérables devrait à terme, être consolidé par la modélisation de la propagation des EGP.

1.5 Des risques parmi d'autres, mais qui constituent un sujet d'inquiétude singulier

Les interlocuteurs opérationnels connaissant le sujet et les chercheurs concernés sont unanimes sur le caractère limité des ROGP en France, même s'ils sont loin d'être négligeables. Ils mettent en avant que la montagne est le siège de nombreux risques dont la prévention est difficile compte-tenu de l'attractivité de ces territoires.

Le réchauffement climatique actuel, le caractère emblématique des températures estivales rencontrées en haute montagne, quelques cas avérés et analysés avec sérieux, l'incertitude forte des comportements dans ces phases de réchauffement accéléré, peuvent conduire à craindre de passer à côté d'un enjeu majeur ou de ne pas avoir pris les précautions nécessaires. Enfin, les ordres de grandeur des phénomènes possibles ne sont pas bien connus (avec parfois des estimations et des marges de 1 à 10) et encore moins les probabilités de survenue.

Dans l'immédiat, les efforts se concentrent sur un processus de « **levée de doutes** » - souvent à dire d'experts- qui doit être opéré vallée par vallée en intégrant tous les effets de cascades possibles.

2 L'appréhension des risques d'origine glaciaire et périglaciaire en France en 2022

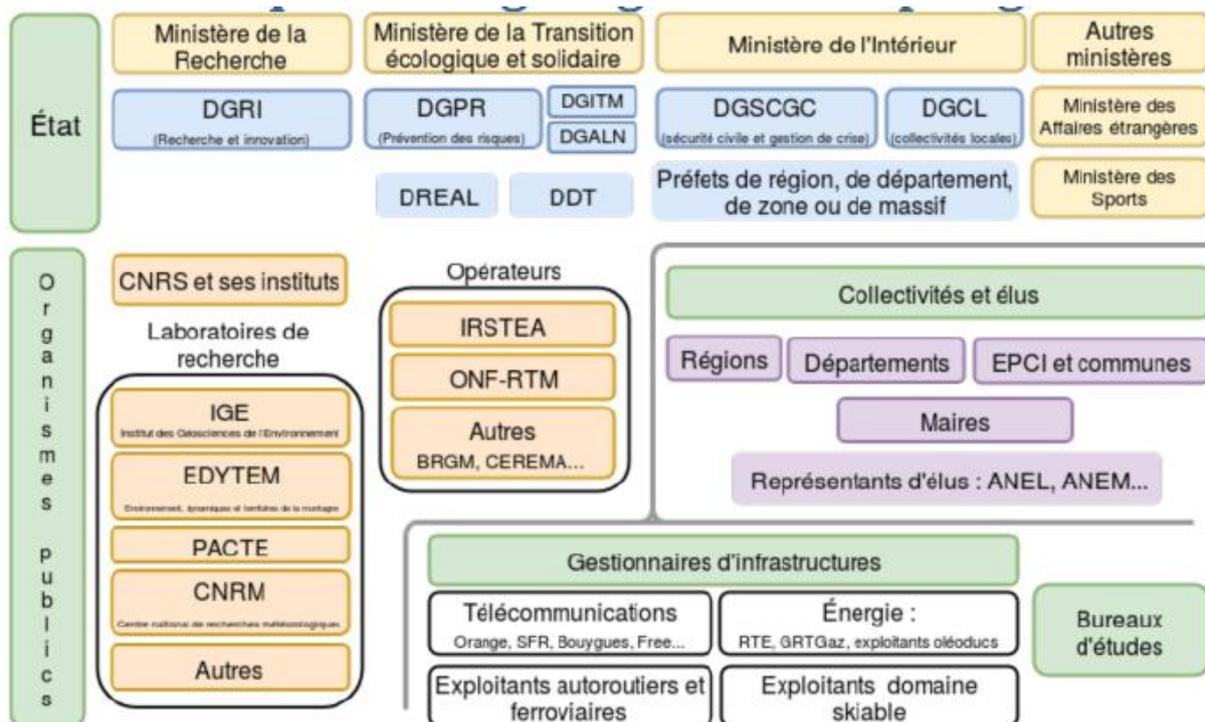
2.1 Cartographie des acteurs de terrain

2.1.1 La conscience « montagnarde » des ROGP émerge au début des années 2000

La mission, par ses entretiens, a pu apprécier toute l'importance que les parties prenantes impliquées dans la montagne accordaient aux risques naturels, « sujet quotidien du montagnard depuis des siècles ».

La communauté des acteurs est assez petite, se connaît et se cotoie en permanence, et les liens, les tensions parfois, sont forts. Les scientifiques sont exceptionnellement bien intégrés et d'autant partie prenante de cette communauté, que certains sont eux-mêmes guides de haute montagne, comme le glaciologue Ludovic Ravanel, chargé de recherches au CNRS qui considère que la canicule de 2003, marquée par le déclenchement d'un grand nombre d'EGP, a entraîné une prise de conscience collective du sujet spécifique des ROGP¹⁶.

Tableau 3 : Cartographie des acteurs concernés par les ROGP. Source : Léo Viallon-Galinet, 2019. Pour l'explication des sigles, voir le glossaire administratif et la liste des organismes scientifiques et techniques.



¹⁶ La poche d'eau de Tête Rousse en 2010-2012 a mis un projecteur puissant sur ces sujets et 2015-2016 a constitué une nouvelle étape marquante de la mobilisation.

2.1.2 Les maires sont en première ligne avec une double responsabilité sécuritaire et réputationnelle

Les différents maires rencontrés par la mission sont apparus tous conscients de leur rôle et mobilisés sur les questions de sécurité des populations, à raison de leur compétence de police générale, mais aussi parce que conscients de l'enjeu réputationnel majeur que cela représente pour des communes vivant pour l'essentiel, de l'économie touristique.

Concilier sécurité avec des sports pleine nature par essence risqués, dans un cadre naturel où prédomine la culture de la liberté, constitue une question complexe. Où mettre la barre de l'appréciation de l'enjeu sécuritaire ? Quelques exemples illustrent l'ampleur du dilemme et la variété de l'ampleur des enjeux :

- Que fait-on maintenant des randonneurs, une fois le refuge de la Pilatte fermé dans le massif des Écrins ?
- Faut-il ou non déplacer le parking du pré de Madame Carle à Vallouise ?
- Les risques de déstabilisation de l'Aiguille du Midi sont-ils sérieux et de nature à remettre en cause sa fréquentation assurée par deux téléphériques ?
- Faut-il ou non se poser la question de l'exposition de Val d'Isère à un mouvement de très grande ampleur initié dans les glaciers et versants des cirques des sources de l'Isère (Grande Aiguille Rousse, pointe de la Galise) sachant qu'il existe une interrogation légitime en aval au Prarion, grande plage potentielle de dépôt de matériaux ?

La notoriété des sites fait que chaque sujet soulevé atteint très vite de forts niveaux de médiation et de polémiques. Même une opération de prévention comme la vidange du lac glaciaire des Bossons à Saint Gervais en 2022, dont la pertinence semble évidente pour tous ceux qui s'y sont intéressés sérieusement, a suscité des débats médiatiques enflammés et contradictoires.

L'importance des enjeux suscite des thèses radicales, voire complotistes, selon lesquelles des risques considérables seraient occultés par une omerta organisée par une collusion des pouvoirs publics et des acteurs économiques.

En Italie, l'important et très professionnel système d'alerte et d'évacuation mis en place dans le Val Ferret (Val d'Aoste) où deux glaciers menacent de façon très directe, et peut-être à courte échéance les habitations, et qui a montré à plusieurs reprises son utilité, fait également l'objet de vives contestations des riverains.

Comme cela a été montré, le dilemme se pose d'autant plus que le diagnostic est incertain et que la probabilité de survenance d'un événement sur un site donné demeure aléatoire.

2.1.3 Les préfets et leurs services : gestion de crise et prévention

L'organisation de la gestion de crise est essentiellement fondée sur l'ampleur des interventions et des moyens à prévoir : la typologie particulière des ROGP et l'importance des incertitudes rendent l'exercice totalement incertain. Néanmoins leur prise en compte progressive s'amorce (voir ci-dessous).

Du point de vue de la prévention, la démarche de l'État à l'égard des collectivités est de partager toutes les connaissances disponibles. Néanmoins, pour être traduit en décisions par celles-ci, il est nécessaire que ce « dire de l'État » s'appuie sur des outils de cartographie des aléas, puis prenne des formes réglementaires allant du R111-2¹⁷ au plan de prévention des risques naturels

¹⁷ Article R111-2 du code de l'urbanisme : Le projet peut être refusé ou n'être accepté que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales s'il est de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique du fait de sa situation, de ses caractéristiques, de son importance ou de son implantation à proximité d'autres installations.

(PPRN)¹⁸. Mais les directions départementales des territoires (DDT) concernées estiment n'avoir aujourd'hui ni les moyens ni les connaissances pour produire et prendre la responsabilité de ces documents. Ces outils n'ont d'ailleurs de sens que si les collectivités peuvent en tirer des conséquences. Elles ne peuvent s'engager dans ces démarches qu'à la lumière d'instruments méthodologiques leur permettant de donner une traduction opérationnelle au dire de l'État (Annexe 9).

Tout le monde semble donc se sentir en porte-à-faux. Les événements sont relevés et connus, mais des extrapolations radicales sont relayées et amplifiées par les réseaux sociaux et les pouvoirs publics ne disposent pas pour autant nécessairement, d'une information claire, stabilisée et communicable. Les actions du PAPROG en cours (voir §2.5) qui doivent être poursuivies auront notamment pour effet d'améliorer cette situation.

2.1.4 Les acteurs de la connaissance des phénomènes, de l'observation, de la surveillance, de l'expertise et de l'ingénierie

En France, plusieurs laboratoires, universitaires principalement localisés dans les Alpes du nord, travaillent depuis un certain nombre d'années sur les ROGP (Edytem, IGE/ETNA, ISTERre, CNRM/CEN et PACTE). Ceux-ci sont notamment mobilisés au sein du PAPROG (voir §2.5).

Tableau 4 : Nombre de chercheurs permanents par laboratoire concerné travaillant effectivement sur les ROGP. (Source : INRAE, pour le compte de la mission).

Nom du laboratoire	Tutelle	Nombre de chercheurs impliqués dans la recherche sur les ROGP
IGE	UGA/INRAE/CNRS/IRD/INPG	11
ISTERRE	UGA/ USMB/Université Gustave Eiffel/ CNRS/IRD	4
EDYTEM	USMB/CNRS	4
CNRM (équipe du Centre d'Etudes de la Neige)	Meteo France / CNRS	2
PACTE	UGA/ CNRS/Sciences Po Grenoble	2

À noter que le nombre de chercheurs permanents ne correspond pas au nombre d'ETP mobilisés sur les ROGP. Par exemple, actuellement, au sein de l'IGE (incluant ETNA), le nombre d'ETP de personnel permanent consacré aux risques glaciaires est de l'ordre de 1,5 réparti entre 10 personnes, chacun développant une thématique particulière en lien avec les risques glaciaires.

Au-delà de cette évaluation stricte, il existe bien sûr également un certain nombre de laboratoires et de chercheurs dont les travaux recoupent le domaine de recherche « ROGP » par les entrées « changement climatique », « liens glaciers-climat », « pergélisol », « cascade sédimentaire » ou encore, pour ce qui concerne les SHS, du point de vue des perceptions de risques émergents « proches » de notre définition des ROGP : Cerege, LGP, LEGOS, LSCE/IPSL, etc.

La communauté scientifique française travaillant sur les ROGP est ainsi une petite communauté de chercheurs (ISTERre/IGE/ETNA/EDYTEM/CNRM/CEN) principalement localisée dans le bassin grenoblo-chambérien.

Des divers échanges qu'elle a pu avoir, la mission retient notamment les éléments suivants :

¹⁸ D'autres outils ayant des finalités de préservation des milieux peuvent avoir des liens avec la sécurité des personnes : c'est par exemple le cas fréquemment cité à la mission par ses interlocuteurs de l'arrêté récent du 1er octobre 2020 n°DDT-2020-1132 « portant création de la zone de protection d'habitat naturel du Mont-Blanc, site d'exception ». <https://www.haute-savoie.gouv.fr/Politiques-publiques/Votre-departement/Nature/APHN-du-Mont-Blanc>

- Cette communauté pluridisciplinaire est active et animée ; elle publie régulièrement et intensément dans des revues internationales à comité de lecture de rang 1, c'est-à-dire reconnues et à fort impact dans les milieux scientifiques ;
- Elle est néanmoins fragile (les mêmes noms, d'une poignée d'experts reviennent dans la bouche de tous les interlocuteurs) et en phase de croissance très modeste (étudiants, doctorants, et quelques postes de titulaires à l'université ; à noter toutefois qu'un poste supplémentaire sur ce sujet a été alloué au service RTM malgré le contexte de forte réduction des effectifs et les multiples autres priorités de l'office national des forêts auquel le RTM est rattaché) ;
- Elle développe avec de très nombreux acteurs professionnels (guides, communes et stations) et associatifs d'importantes documentations pédagogiques, de sensibilisation et d'information sur les ROGP ;
- L'instrumentation en haute montagne suppose des capacités de randonneurs et d'alpinistes de bon à très bon niveau : le fait que des chercheurs soient en même temps guides de haute montagne est de ce point de vue, un atout ;
- Les chercheurs ont su concentrer, du fait de leur très forte empathie avec les acteurs de la montagne, leurs terrains de recherche sur des secteurs à enjeux (aiguille du Midi, glacier de Tacconnaz, etc.) ;
- Aucun élément n'a permis d'établir, contrairement à ce qui a été parfois dit à la mission, que les chercheurs se feraient financer indûment leurs travaux en agitant auprès des autorités la présence de risques ;
- Les chercheurs, de façon informelle, mais efficace, fonctionnent en réseau avec les professionnels et praticiens chevronnés de la haute montagne, et échangent sur les réseaux sociaux avec eux ;
- Des conseils et des alertes sont prodigués bénévolement par certains d'entre eux, et très suivis et respectés par les acteurs de la montagne, privés comme publics (Guides, PGHM, maires, ...). C'est notamment à cette fluidité relationnelle avec la communauté montagnarde que l'on doit le fait que des phénomènes potentiellement dangereux aient pu être identifiés à temps et que les mesures nécessaires aient pu être prises (pompage du glacier de Rochemelon, galerie d'évacuation de Tête Rousse, vidange du lac des Bossons, etc.). Voir retour d'expérience en annexe 11 ;
- Les rapports d'expertise qu'ils remettent aux autorités sont précis, bien documentés et accessibles. Ils formulent des avis solides et clairs. Si certains commanditaires souhaiteraient que ces avis soient plus tranchés, cela paraît difficile au vu des connaissances actuelles ;
- Le service RTM, particulièrement apprécié pour sa connaissance du terrain et sa capacité à produire des diagnostics et des solutions techniques opérationnelles, est extrêmement sollicité et joue un rôle indispensable et reconnu sur le terrain. Il est important que cette disponibilité soit entretenue et même développée.

2.1.5 Les acteurs de la montagne

Ils sont constitués du Peloton de gendarmerie de haute montagne (PGHM), des guides, des gardes et agents des parcs nationaux et régionaux, des gardiens de refuge, des pisteurs... :

Dès lors que l'on traite les questions de haute montagne, ces acteurs communiquent intensément, et de façon généralement très informelle, en particulier grâce à des groupes WhatsApp.

2.2 Les ROGP ne sont que peu identifiés dans les documents de prévention et de préparation à la gestion de crise

2.2.1 Au niveau départemental, ce qu'en disent les DDRM (dossiers départementaux des risques majeurs)

Les versions consultées par la mission sont des documents de lecture aisée, pédagogiques, datées de 2020, ce qui traduit une récente mise à jour.

Le seul DDRM qui utilise le terme « ROGP » est celui de Savoie. Il reprend une présentation générale et quelques exemples permettant de comprendre ce dont il s'agit. Il ne comporte en revanche pas d'information territorialisée contrairement aux autres risques passés en revue.

Si les autres DDRM n'utilisent pas le terme « ROGP », les phénomènes qui en découlent de type « lave torrentielle » sont en revanche identifiés. La préfecture de Haute-Savoie, lors des entretiens avec la mission, a indiqué son intention, dans le DDRM en cours de révision, de développer une partie spécifiquement consacrée à ces risques, sur la base des informations disponibles. La mission souscrit à cette perspective et incite les autres préfectures à faire de même, participant ainsi au renforcement de la sensibilisation des opinions et des responsables publics et privés sur le sujet ROGP.

2.2.2 Les plans communaux de sauvegarde (PCS) ne prennent pas en compte les ROGP, sauf exceptions notables

La mission a pu prendre connaissance des dossiers d'information communale sur les risques majeurs (DICRIM) et des PCS de trois communes particulièrement exposées : Chamonix, les Houches et Saint Gervais, en haute vallée de l'Arve. Ces documents sont riches et notamment mis à jour pour les risques d'avalanche, les ROGP qui empruntent les mêmes couloirs semblent ainsi implicitement traités. Néanmoins la potentialité de la survenue de laves torrentielles n'est pas envisagée, sauf dans le cas du glacier de Tête Rousse et du glacier de Taconnaz où une fiche « risque identifié » détaille le risque lié au « débordement torrentiel de Taconnaz » sous l'effet de « crues orageuses ou d'une rupture d'une poche d'eau contenue dans le glacier ». Les consignes de sécurité préconisées dans ce PCS (informations par téléphone aux personnes concernées, communiqué dans la presse et les radios locales, coupure des routes nationales et départementales, etc.) peuvent en revanche paraître assez vaines, en considération de la rapidité de propagation de la lave dans le cas de la survenance d'un événement glaciaire majeur.

À noter que le DICRIM de la commune des Houches de l'année 2021 mentionne dans la section des risques naturels à « Inondations et crues », les « laves torrentielles » qui sont définies comme des « écoulements rapides mêlant de l'eau et des matériaux de toutes tailles (débris, arbres, blocs...) qui ont une capacité destructrice par érosion et par chocs et qui s'arrêtent brutalement sur un obstacle ou une diminution de pente ». Cette description fait suite à l'événement survenu le 19 juillet 2015, où des laves torrentielles s'étaient engouffrées dans le torrent de la Griaz. Ce document incorpore également dans la rubrique « inondation », les « débauches glaciaires dûs à une rupture de poche d'eau ».

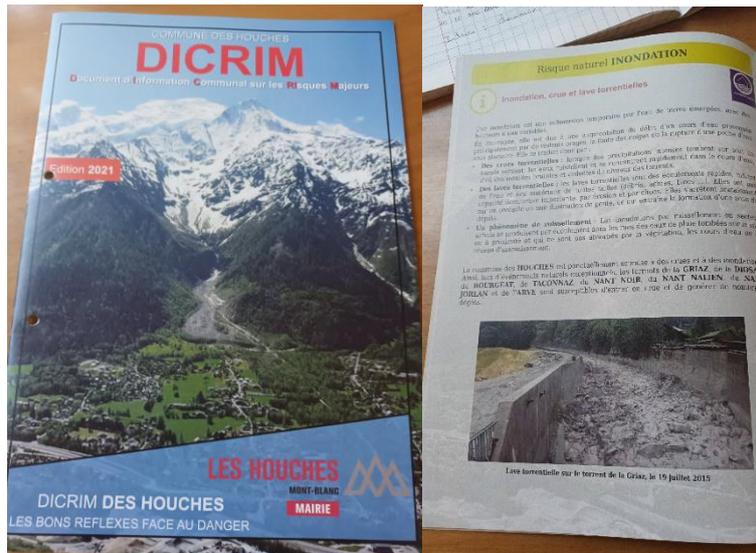


Figure 6 : DICRIM de la commune des Houches 2021 (clichés pris par la mission)

Pour le glacier de Tête Rousse dans la commune de Saint Gervais, s’agissant d’un risque dont les conséquences sont identifiées (par référence à la catastrophe de 1892) un dispositif d’alerte par sirènes avec un signal spécifique a été mis en place en 2010, accompagné par des consignes d’urgence précisant les points de rassemblement par zones touchées.

2.2.3 Les StePRim ne les intègrent pas

Les ROGP sont insuffisamment maîtrisés dans leurs effets potentiels pour faire l’objet de procédures de type PPRN (plan de prévention des risques naturels), ou d’outils de contractualisation comme les PAPI (Programmes d’actions pour la prévention des inondations) largement répandus ou les STePRIM (Stratégies territoriales pour la prévention des risques en montagne) développées en 2017. L’amélioration de la connaissance scientifique sur la nature, la réalité, l’ampleur et la perspective temporelle du risque constituent des préalables essentiels pour envisager de développer utilement ce type d’outil.

2.3 Des réponses opérationnelles efficaces ont jusqu’à présent été apportées dans des délais adéquats

La mission a été impressionnée par les *success stories* qu’ont représentés les quelques cas identifiés de ROGP particulièrement dangereux en France ces dernières années pour lesquels des actions de très forte réduction de l’aléa ont été réalisées avant que des catastrophes ne surviennent (Annexe 11).

Peuvent être ainsi cités de façon non exhaustive, le cas du lac proglaciaire d’Arsine (Hautes Alpes) en 1986, des poches d’eau du glacier de Tête Rousse (Haute Savoie) à partir de 2010, du lac de Rochemelon (Savoie) en 2004, du lac qui était en formation en marge du glacier des Bossons (Haute Savoie) en 2021, de la lave torrentielle de l’Armancette (Haute Savoie) qui a conduit à des travaux de chambre de dépôt¹⁹ en 2021, du refuge de la Pilatte (Isère), fermé en raison de la déstabilisation du pergélisol. Il convient d’ajouter la mise sous surveillance de plus en plus étroite du glacier de Taconnaz à Chamonix.

¹⁹ Chambre de dépôt : site de dépôt de sédiments, limité par une digue et composé de remblais refoulés par voie hydraulique

Selon le programme Risknat, depuis 25 ans, on dénombre seulement quelques événements ayant nécessité des interventions du type travaux de vidange : lac d'Arsine (massif des Écrins) en 1985-1986, lac du Belvédère (Mont Rose, Italie) en 2001-2002, lac de Rochemelon en 2004-2005, lac supraglaciaire à Grindelwald (Valais) en 2009-2010, poche d'eau du glacier de Tête Rousse à l'été 2010, auxquels il conviendrait d'ajouter la récente vidange du lac des Bossons (2022).

Le choix, dans le cadre du programme GlaRiskAlp, comme sites pilotes de plusieurs glaciers à fort risque (glacier de Taconnaz, glacier des Grandes Jorasses, glacier de Tête Rousse et glacier de l'Argentière) est apparu très pertinent pour la connaissance approfondie de ces sites. Des techniques et des méthodes ont été testées et validées dans le cas de ces sites spécifiques, qui peuvent être transférées lorsque des situations semblables se présenteront dans le futur.

Lorsqu'ils relatent les processus de décision, les interlocuteurs de la mission mettent volontiers en avant le « concours de circonstances » ou la « chance » qui a conduit à des décisions appropriées :

- un chef de service RTM (restauration des travaux de montagne) se demande s'il est toujours pertinent de dépenser des moyens pour faire le suivi de la galerie historique de drainage de la poche du glacier de Tête Rousse, qui ne connaît plus de débit depuis plusieurs années. Ce constat déclenchera le processus qui va conduire les scientifiques à identifier de nouveaux stockages d'eau inquiétants ;
- un chercheur voyant les photos et les témoignages de ceux qui apprécient la beauté du lac du glacier des Bossons, déclenche l'idée qu'il faudrait en analyser les risques ;
- un autre chercheur « découvre » les enjeux de Rochemelon.

D'autres cas se soldent par une vertueuse « levée de doutes » : un guide signale l'ouverture d'une grande rimaye en face sud de la Grande Casse, ce qui conduit le service RTM à analyser la propagation des chutes possibles pour conclure que les vallées ne seront pas atteintes et qu'il n'y a pas lieu de prendre de mesure particulière.

2.4 La prise en compte des ROGP dans les activités touristiques et sportives

2.4.1 Les remontées mécaniques et l'adaptation des stations de sport d'hiver

L'industrie des sports d'hiver dans les Alpes a connu un développement important au cours des quatre dernières décennies. Le sujet de l'adaptation au changement climatique revêt de nombreuses dimensions pour les stations, qui dépassent l'objet de la présente mission.

Néanmoins, se pose la question de plusieurs centaines d'infrastructures (remontées mécaniques, refuges, ouvrages défensifs contre les avalanches, etc.) construites en haute montagne sur le pergélisol (Annexe 10). Depuis une trentaine d'années, une augmentation généralisée de la température de celui-ci a été observée, avec un risque de déstabilisation. Ce sujet est traité par les sociétés et régies concessionnaires, responsables de la sécurité de leurs installations, sous le contrôle du service technique des remontées mécaniques et des transports guidés (STRMTG).

2.4.2 L'alpinisme, la randonnée et les refuges : doctrine et pratiques de prévention

Les personnes les plus directement exposées aux ROGP sont les pratiquants des sports de haute montagne (alpinisme, randonnée, etc.), les guides et les gardiens de refuge. Les collectivités locales, et particulièrement les communes, sont généralement propriétaires des terrains, tant ceux où se produisent les EGP que ceux où les personnes sont exposées. Des voies d'accès, des itinéraires sont balisés et entretenus, notamment par des associations, et des refuges ont été construits

et sont exploités pour accueillir des visiteurs en nombre souvent très important (de l'ordre de plusieurs dizaines). Des campings et hébergements saisonniers sont installés en aval de sites où peuvent se produire des EGP. Le cas du pré de Mme Carle, au pied du Pelvoux dans le massif des Écrins et en aval du Glacier Blanc et du Glacier Noir, dont la moraine retient un lac proglaciaire au pont du Ban et dont le torrent de Saint Pierre réunit dans un grand écoulement en tresse les exutoires, est emblématique. Il s'y concentre durant la période estivale une population de l'ordre de 150 000 visiteurs.

La fermeture du refuge de la Pilatte dans le massif des Écrins (Encadré 6) est directement liée à l'exposition de celui-ci à des ROGP (Pierre-Allain Duvillard et al., 2018).

Encadré 6. La fermeture du refuge de la Pilatte (massif des Écrins, 2572 m). Source : Duvillard P-A et al. 2018 et entretiens de la mission.

Accessible à pied de la Bérarde par des sentiers balisés, ce refuge est établi sur une moraine en rive gauche du glacier du Pilatte. Il le surplombe de 270 m depuis la réduction progressive de l'épaisseur de celui-ci, qui avait atteint 1000 m d'épaisseur à la dernière grande glaciation, et a perdu plus d'un mètre d'épaisseur par an durant les dernières décennies. Ce versant abrupt est progressivement déstabilisé par le fait que le glacier ne lui sert plus de contrefort : c'est typiquement un événement « paraglaciale ». Ce refuge du Club alpin français (aujourd'hui FFCAM) construit et étendu en 3 étapes (1925, 1954 puis 1994) a atteint 120 places. Dès 1980 des mouvements de terrains ont affecté sa structure. Les fissures apparues en 1985 se sont élargies entre 1995 et 2000, et se sont multipliées jusqu'en 2016. Les chercheurs ont alors évalué à 324 000 - 392 000 m³ le volume de terrains instables. Au printemps 2021, les repères ont tous subi de nouveaux mouvements de 2 à 8,5 cm qui font supposer une instabilité accrue du terrain. L'état de catastrophe naturelle est reconnu. L'arrêté municipal n° 2021-032 du maire de Saint Christophe en Oisans interdit désormais l'accès à la plateforme sur laquelle se trouve le bâtiment et le refuge est fermé.

La mission a pu constater que depuis quelques années la fréquentation de la très haute montagne a plutôt régressé, soit du fait de mesures de régulation comme les réservations pour l'accès au refuge du Goûter sur le massif du Mont-Blanc, soit du fait de la difficulté accrue, voire de l'impraticabilité de certaines courses. C'est en revanche en moyenne montagne, avec le développement des randonnées, des raquettes et du VTT que la fréquentation semble avoir augmenté le plus.

En revanche l'exposition aux risques des parkings, campings, *via ferrata*, itinéraires balisés d'accès aux refuges, et des refuges eux-mêmes doit être prise en considération et faire l'objet d'une réflexion sur les mesures de réduction de ces risques au même titre qu'en vallée.

S'agissant des enjeux juridiques qui s'y attachent, se pose la question de la responsabilité des propriétaires et/ou exploitants, dont certains sont des collectivités publiques. Dans une réponse à une question écrite²⁰, le gouvernement a indiqué soutenir « *une responsabilité limitée aux risques « normalement prévisibles »*. *L'appréciation de la normalité et de la prévisibilité du risque permet ainsi de tenir compte du comportement de ceux qui pratiquent, mais également de l'aménagement ou non du site et des installations et de la signalétique mise en place ou non. Cela revient à limiter expressément l'exonération du gardien d'un espace naturel à l'acceptation d'un risque par le pratiquant. Cette position équilibrée du Gouvernement permet d'une part, d'alléger la responsabilité des gestionnaires des sites naturels tout en responsabilisant les usagers qui auraient des pratiques dangereuses ou qui exerceraient leur sport dans des espaces naturels non aménagés et d'autre part, de préserver le droit des victimes à obtenir réparation dans certaines situations.* » Cette posi-

²⁰ Réponse du Ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales publiée dans le JO Sénat du 13/01/2022 - page 225 à la Question écrite n° 24074 de M. Jean Hingray (Vosges - UC) publiée dans le JO Sénat du 29/07/2021 - page 4677.

tion a été concrétisée par la loi n° 2022-217 du 21 février 2022 relative à la différenciation, la décentralisation, la déconcentration et portant diverses mesures de simplification de l'action publique locale.

2.4.3 Un important contraste entre la gestion des risques hivernaux d'avalanches de neige et les ROGP

La mission a constaté un fort contraste entre les dispositifs mis en place pour les avalanches de neige (Annexe 12) et ceux concernant les ROGP. La mission en retient les caractéristiques principales suivantes :

- La culture scientifique en nivologie²¹ est largement partagée par la communauté des acteurs de la montagne, bien au-delà des chercheurs ;
- La propagation d'avalanches de neige est aujourd'hui bien modélisée ; ce n'est pas le cas, loin s'en faut, des coulées de laves torrentielles qui constituent le phénomène majeur des ROGP en vallée ;
- Une échelle européenne de risques en cinq niveaux allant de 1 (risque faible), à 5 (risque très fort) est établie depuis 1993 ;
- Météo-France a intégré un risque avalanche dans le dispositif de vigilance météorologique national ;
- Météo-France émet quotidiennement des **bulletins d'estimation du risque d'avalanche** (BRA ou BERA) durant la saison hivernale, dispositif qui s'allège de fin avril à mi-décembre ;
- Le système d'observation permettant l'élaboration de ces bulletins repose largement sur les pisteurs des stations de ski, et depuis décembre 2019 bénéficie des informations collectées par des guides rémunérés à cet effet ;
- Les décisions de réduction de l'aléa sont quasi quotidiennes et très bien rodées ; elles sont organisées et couvertes juridiquement par des plans d'intervention de déclenchement d'avalanches (PIDA).

Pour pertinent et efficace qu'il soit, le dispositif relatif aux avalanches ne saurait constituer un modèle en l'état pour les ROGP. La fréquence des événements et la prédictibilité de ceux-ci sont nettement différents. En revanche, un système de surveillance des glaciers pourrait s'inspirer partiellement de ce qui est en place pour les avalanches avec par exemple, la mise en place d'un réseau d'observateurs rémunérés (Cf. infra.).

2.5 L'approche nationale de la DGPR à travers le PAPROG : une mobilisation à renforcer

Une série de catastrophes (Tête Rousse, 1892; Pellerins, 1892; Tacconnaz, 1892; Argentière, 1904) est à l'origine de la mise en place d'un réseau de surveillance des glaciers par l'administration des Eaux et Forêts.

En 1998, un inventaire ayant pour but de constituer une base de données spécifiques d'événements d'origine glaciaire dans les Alpes a été entrepris avec l'appui de crédits du CPER Rhône-Alpes. Il a été conduit par le CEMAGREF et le Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement (LGGE) de l'université Grenoble Alpes et du CNRS. Un point d'avancement de ces travaux en 1999 relève trois grandes catégories de risques : drainage des lacs glaciaires (essentiellement les lacs proglaciaires), chutes de glace (chutes de séracs, ruptures de langues gla-

²¹ Science de l'étude de la neige et des avalanches

ciaires terminales, chutes de glaciers suspendus), et ruptures de poches d'eau. Ont été ainsi recensés une centaine d'événements, en France depuis 1800, dont 70 dans le massif du Mont-Blanc, les autres en Vanoise, dans les Écrins et quelques-uns dans les Alpes du Sud.

Une réflexion sur le danger que peuvent présenter les glaciers a été menée entre 2001 et 2003, dans le cadre d'un projet européen rassemblant cinq pays (Italie, France, Suisse, Autriche et Norvège) : Glaciorisk. Ses objectifs principaux étaient d'une part de développer des études scientifiques pour la détection, la surveillance et la prévention de futures catastrophes glaciaires, d'autre part de créer un inventaire précis de tous les sites potentiellement dangereux en Europe. Cinq actions principales ont ainsi été menées :

- La création d'un inventaire et d'une base de données commune relative aux différents événements d'origine glaciaire identifiés (<http://www.nimbus.it/glaciorisk/gridabasemain-menu.asp>). Pour chaque glacier affecté par un aléa glaciaire, une fiche récapitulant les caractéristiques du glacier est accessible, elle recense les différents événements qui se sont produits, et mentionne les dégâts causés et la bibliographie utilisée ;
- Des études sur sites pilotes, afin d'améliorer les connaissances scientifiques. En France, les sites pilotes étaient les glaciers d'Arsine, de Rochemelon et de Tacconnaz pour le cas des vidanges de lacs proglaciaires et de chutes de séracs ;
- La réalisation de simulations numériques afin de mieux comprendre les processus et d'estimer les surfaces potentiellement affectées par les conséquences d'un événement catastrophique ;
- L'analyse de mesures et stratégies de réduction des risques ;
- Le transfert des connaissances vers les utilisateurs finaux (services gestionnaires, collectivités territoriales).

Un état des lieux assez complet de ces spécificités a été dressé notamment lors d'un séminaire organisé par le pôle alpin risques naturels (PARN) à la demande de la DGPR les 12 et 13 mars 2012 à Grenoble. La DGPR avait souhaité pouvoir établir à court terme un programme d'actions à conduire pour l'amélioration de la gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire et elle a demandé au PARN d'établir une synthèse faisant le point sur les connaissances, les méthodes et les pratiques qui existent, et de proposer des pistes. Figure parmi les documents de ce séminaire un « Plan de propositions d'actions scientifiques et techniques pour une meilleure prévention des Risques d'Origine Glaciaire et Périglaciaire (ROGP) ».

Un groupe de travail coprésidé par la DGPR et l'IRSTEA-ETNA créé en 2016 est à l'origine du « plan d'actions pour la prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire » (PAPROG). Ce programme se poursuit et s'est amplifié au cours des années. La dynamique introduite par le PAPROG a permis de souder et d'assurer une excellente circulation de l'information et coopération interdisciplinaire : en témoigne le séminaire PAPROG tenu à Grenoble le 19 octobre 2021.

Les programmes européens successifs sont présentés en annexe 13.

De nombreux travaux ont été lancés récemment par la DGPR dans ce cadre :

- Rédaction en cours, sous pilotage INRAE - CNRS d'un livre blanc sur les risques d'origine glaciaire et périglaciaire (livraison prévue au printemps 2023) destiné à faire le point sur l'état de la connaissance et les points clés sur lesquels des connaissances demeurent à développer.
- Convention DGPR – Centre d'études de la neige (Météo France) en cours de signature en 2022 sur une durée de 5 ans destinée à travailler sur d'éventuels liens entre la météo et les ROGP ;
- Convention DGPR – CNRS concernant 3 laboratoires (Isterre et IGE de l'université Grenoble Alpes, Edytem de l'université Savoie Mont-Blanc) pour un montant de 531 k€ HT sur

les années 2022-2023, qui apporte peu de visibilité à moyen terme, même si le principe d'une reconduction tacite laisse entendre que ce processus connaîtra des suites ;

- Mission d'intérêt général (MIG) du service RTM : la convention-cadre des MIG de l'ONF fixe le périmètre d'intervention de l'ONF pour le compte de la DGPR²². Les volumes financiers qui correspondent aux sous-actions sont indicatifs et peuvent faire l'objet d'arbitrages en cours d'année pour répondre aux urgences et conditions climatiques. Les financements dédiés aux risques d'origine glaciaire et périglaciaire retenus dans le programme de travail de l'ONF financé par le MTECT sont de 412 k€ en 2021 et 401 k€ en 2022.
- Financements apportés par la DGPR à l'INRAE : les financements dédiés aux risques d'origine glaciaire et périglaciaire retenus dans le programme de travail de l'ONF sont de 104 k€ en 2021 et 145 k€ en 2022.

La mission proposera dans les développements suivants, de poursuivre et de renforcer les actions engagées.

2.6 Les programmes d'observation

Les systèmes organisés et réguliers d'observation scientifiques, ainsi que les observatoires destinés à collecter des données diverses pour les mettre à disposition du public, ayant trait plus particulièrement aux ROGP, sont nombreux et diversifiés (Cf. annexe 15).

Dans le cadre du PAPROG, le service RTM a repris le recensement des événements glaciaires et périglaciaires, dans la continuité des travaux réalisés par le programme européen Glaciorisk et par le PARN.

2.7 Les avancées des connaissances, les innovations et les progrès

2.7.1.1 Les ROGP au sein de la recherche sur les risques naturels

Dans une étude publiée en octobre 2019 sur les risques et catastrophes naturelles menée²³ par l'agence nationale de la recherche (ANR) sur la base d'un bilan des projets financés sur la période 2010-2018, la mission a noté que sur les 105 projets financés par l'ANR sur les risques naturels, un seul avait trait à une thématique de recherche en lien avec les ROGP, en l'occurrence un projet en sciences humaines et sociales, le projet SAMCO²⁴ « *Adaptation de la société aux risques en montagne dans un contexte en changement global* » qui relevait du domaine de recherche des phénomènes et aléas gravitaires (glissements de terrain, chute de blocs et laves torrentielles) (Annexe 14).

Les ROGP, parmi les risques naturels les moins étudiés

L'ANR note que les « risques émergents d'origine glaciaire et périglaciaire » (de même que les risques liés au mouvement gravitaire) sont peu étudiés, relativement aux risques géophysiques et hydrologiques (risque sismique, risque inondation), les plus fréquemment étudiés, suivis par les risques météorologiques (le risque cyclonique) et les risques côtiers.

²² La mission a eu accès au projet de convention cadre (et ses annexes), actuellement en signature. Elle définit les modalités du suivi technique des actions relevant de la mission d'intérêt général, ainsi que les modalités financières afférentes. Le projet de programme de travail 2022 de l'ONF au bénéfice de la DGPR/SRNH, établi en application de cette convention cadre, comprend notamment les actions relatives à la prévention des risques en montagne dont les interventions techniques auprès des territoires, mais également les actions de développements techniques et méthodologiques, comme celles relatives au programme d'actions pour la prévention des risques d'origines glaciaire et périglaciaire.

²³ Risques et catastrophes naturelles, Bilan des projets financés sur la période 2010-2018, Les Cahiers de l'ANR n°10, octobre 2019.

²⁴ SAMCO : Society Adaptation for coping with Mountain risks in a global change COntext

La recherche sur les ROGP indissociable d'une prospective dans le contexte du changement climatique

L'ANR souligne également que les projets de recherche sur les catastrophes naturelles devront à l'avenir développer une capacité d'anticipation sur l'évolution future des risques naturels, en lien avec le paradigme émergent de changement global. « *Il semble désormais difficile, estime l'ANR, d'aborder la question des aléas météorologiques et hydrologiques sans se soucier des évolutions liées au changement climatique* ». Il en va de même, souligne cette étude, pour les risques gravitaires (glissements de terrain, risque d'origine glaciaire et périglaciaire, etc.) dont on peut attendre une augmentation de la fréquence et de l'intensité.

Peu de recherche sur les mesures de protection structurelle contre l'aléa

Autre point intéressant pour la mission, l'étude de l'ANR constate que la problématique du développement et de l'amélioration des mesures de protection structurelle (parades techniques) contre l'aléa est étonnamment peu traitée par les projets financés depuis 2010 (5 projets sur 105) et pointe un frein idéologique dans le champ académique selon lequel « *les solutions techniques seraient insuffisantes pour atténuer les risques et pourraient constituer un dangereux leurre pour les populations qui se sentent protégées* ».

Vers le développement d'une culture du risque

Enfin, et ce n'est le moindre des résultats de cette étude pour la mission, un des champs les moins présents dans les projets analysés est celui de l'implication des citoyens, composante pourtant essentielle de ce qu'il est convenu d'appeler la « culture du risque ». L'étude de l'ANR rappelle que le développement de recherches sur le partage des connaissances scientifiques est aujourd'hui crucial dans la mesure où sans ce transfert aucune politique fondée sur les faits (*evidence-based policy*) ne saurait être réellement efficace.

2.7.1.2 Projets de recherche financés par l'ANR susceptibles d'intéresser ou de recouper le domaine de recherche des ROGP

Sur demande de la mission, l'ANR a conduit une étude spécifique sur les projets qu'elle a financés pendant la période 2005-2021 concernant des thématiques susceptibles d'intéresser ou de recouper le domaine de recherche des ROGP : les glaciers, le pergélisol, les relations glacier-atmosphère, la compréhension climat-glacier et risques..

Selon cette étude conduite par l'ANR (Annexe 14), 33 projets de recherche ont été financés ou sont en cours de financement, mobilisant 75 partenaires ou équipes de recherche. Ces projets représentent un investissement total de 11,547M€. La répartition de ces projets au fil des années est assez homogène :

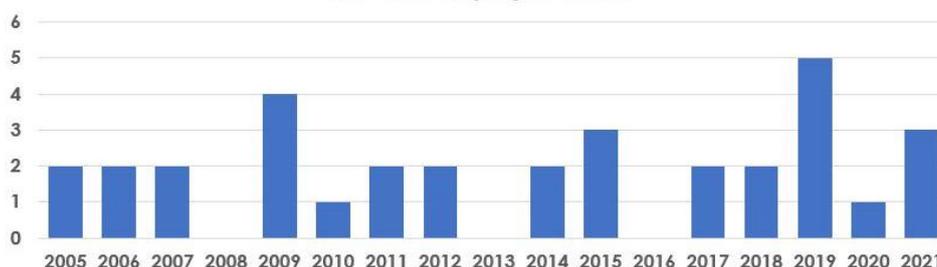


Figure 7: Nombre de projets financés par l'ANR de 2005 à 2021 dont les thématiques intéressent la recherche sur les ROGP (source : ANR, 2022, pour le compte de la mission).

2.7.1.3 Instruments de financement des projets qui intéressent la recherche sur les ROGP

Une large gamme d'instruments de financement est utilisée pour les projets recensés, depuis les projets les plus fondamentaux jusqu'aux recherches appliquées menées dans le cadre de partenariats avec des entreprises ; projets collaboratifs avec des consortiums ou projets de recherche individuelle portés par des jeunes chercheurs ou des jeunes chercheuses ; projets nationaux et internationaux :

- Les appels à projets ouverts à toutes les disciplines scientifiques, et à tous types de travaux de recherche (projet à l'initiative des jeunes ou « curiosity driven » : « Blanc » et « Jeunes Chercheurs Jeunes Chercheuses (JCJC) » entre 2005 et 2013 et appels à projets généraux à partir de 2014.
- Les appels à projets spécifiques : CATELL (catastrophes telluriques et tsunami), VUL (vulnérabilité : milieux et climat); CEP (changements environnementaux planétaires) ; RiskNat (compréhension et maîtrise des risques naturels); SENV (sociétés et changements environnementaux) ; ASTRID (accompagnement spécifique de travaux de recherches et d'innovation défense) ; LabCom (laboratoires communs organismes de recherche publics et PME/ETI) ; MRSEI (montage de Réseaux scientifiques européens et internationaux) ; Tremplin-ERC ; Belmont Forum.

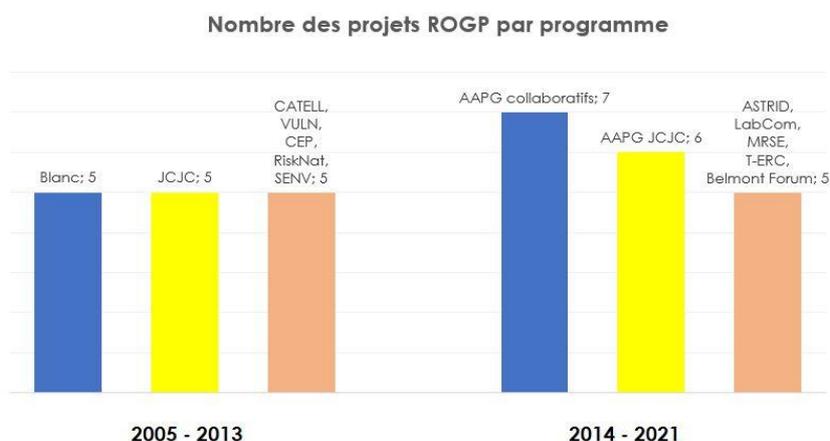


Figure 8 : Nombre de projets ANR 2005-2021 liés aux ROGP par programme (Source : ANR, 2022, pour le compte de la mission)

L'annexe 14 explicite l'analyse statistique des thématiques de recherche et les outils de financement qui conduisent à considérer que les thèmes de recherche susceptibles d'intéresser ou de recouper la recherche sur les ROGP sont eux, relativement bien représentés dans le programme d'investissements d'avenir (PIA).

2.7.1.4 IRiMa, un PEPR exploratoire consacré à la science du risque à l'ère des changements globaux.

Le projet PEPR²⁵ Exploratoire IRiMa (gestion intégrée des risques pour les sociétés plus résilientes à l'ère des changements globaux), porté par le bureau de recherche géologique et minière (BRGM), le centre national de recherche scientifique (CNRS) et l'université Grenoble Alpes (UGA), avec un financement accordé de 52 M€ en juillet 2022, n'est à ce jour par encore contractualisé par l'Agence. L'objectif de ce PEPR est de fédérer au niveau national les différentes communautés scientifiques impliquées dans le domaine de la gestion des risques, pour contribuer au développement de la science des risques à travers une approche résolument holistique et interdisciplinaire

²⁵ PEPR : programme d'équipement prioritaire de recherche

(géosciences, l'ingénierie, les sciences de l'information, sciences humaines et sociales). « *Il s'agira d'améliorer la manière dont nous analysons, comprenons, modélisons et anticipons les risques découlant des aléas naturels et technologiques, afin de mieux en maîtriser les impacts* ».

La mission note que le PEPR exploratoire IRima prévoit de consacrer une petite part de sa dotation (environ 2 M€) aux risques de montagne et une petite part de cette petite part, non encore déterminée au moment où la mission a finalisé son travail, aux ROGP. Nous sommes loin avec ce PEPR de l'ambition affichée dans le projet de stratégie nationale de prévention et de gestion des ROGP, à savoir « construire et pérenniser un programme de recherches priorisé et pluriannuel destiné à faire progresser les connaissances scientifiques sur les phénomènes d'origines glaciaire et périglaciaire », et c'est pourquoi la mission a choisi de recommander un financement ANR spécifique pour répondre aux besoins urgents de recherche sur les ROGP. Néanmoins, le PEPR IRima permettra une intégration de cette thématique marginale des ROGP (en comparaison de celle liée aux risques géophysiques et hydrologiques) dans un travail et une réflexion d'envergure sur la gestion intégrée des risques pour les sociétés plus résilientes à l'ère des changements globaux. Ainsi que l'a exprimé à la mission un chercheur de l'ETNA : « il est important de ne pas déshabiller les programmes dédiés aux risques naturels en montagne, car les ROGP constituent un risque supplémentaire émergent. Il convient de leur consacrer des moyens spécifiques adaptés ».

3 La prévention des ROGP en Suisse et en Italie

La mission s'est intéressée à l'organisation de la prévention des risques de même nature dans les deux pays alpins voisins, la Suisse et l'Italie. En Suisse, elle a rencontré les responsables des questions glaciaires des cantons de Berne et du Valais. En Italie, elle a rencontré le service gestionnaire des risques naturels du Val d'Aoste.

3.1 La Suisse (cantons du Valais et de Berne)

La problématique glaciaire est particulièrement présente en Suisse, nettement plus qu'en France. Selon le réseau de relevés glaciologiques Suisse (GLAMOS), le pays compte 1 400 glaciers couvrant un total de 961 km² (presque cinq fois la superficie des glaciers français). Les 176 plus importants des glaciers ont été mesurés en superficie, bilan masse et longueur. Sur les seuls cantons de Berne et du Valais qui ont une superficie d'environ 11 000 km², comparable à celles des deux départements savoyards réunies, les services cantonaux en charge des risques estiment que 110 glaciers présentent potentiellement un risque pour les personnes ou les infrastructures.

Au regard de l'impact des évolutions climatiques sur l'accroissement des risques glaciaires (laves torrentielles, chutes de seracs, avalanches de glaces), les autorités cantonales suisses, compétentes en matière de risques naturels, ont engagé dès le début des années 2000, un travail d'inventaire, de suivi et de surveillance des glaciers.

Si les modes d'organisation et de fonctionnement sont un peu différents d'un canton à l'autre²⁶, la philosophie de l'action conduite est similaire dans tout le pays reposant sur la logique suivante :

- Identifier les glaciers présentant un risque ;
- Estimer, parmi les glaciers à risque, ceux qui nécessitent une surveillance particulière ;
- Mettre en place des outils de surveillance permettant de prévenir les autorités communales (compétentes en matière de sécurité civile) en cas d'imminence du risque.

Considérant le contexte du réchauffement climatique et ses conséquences potentielles, notamment sur les glaciers blancs, les autorités ont mis en place un inventaire des glaciers susceptibles de présenter un risque pour les personnes ou les infrastructures. 80 glaciers ont ainsi été recensés dans le Valais (dont 20 ont été écartés depuis, leur fonte ayant supprimé tout danger) et 50 dans le canton de Berne.

Parmi ceux-ci, les glaciers identifiés comme présentant un risque font l'objet d'une reconnaissance annuelle permettant de constater les évolutions et les variations de dangers, soit lors de déplacements sur place, soit par reconnaissances visuelles aériennes, soit encore à partir d'images satellites.

Pour chacun des glaciers identifiés comme susceptibles de présenter un danger, les cantons établissent puis mettent à jour chaque année un indice de risque à partir duquel sont définies d'éventuelles mesures de surveillance. Cet indice est conçu pour donner une valeur relativement simple et la plus objective possible ; il est bâti à partir de plusieurs paramètres (type d'aléa, probabilité d'occurrence, potentiels dégâts) rapportés à l'historique de comportement du glacier.

²⁶ Dans le canton du Valais, les risques naturels relèvent d'un service unique qui leur est dédié comprenant 16 employés permanents (ingénieurs forestiers, géologues, guides de montagne...) et 12 saisonniers (contremaîtres forestiers, ouvriers). Dans le canton de Berne, deux services sont concernés, l'office des ponts et chaussées (20 agents) pour les laves torrentielles, l'office des forêts (15 agents) pour les glissements de terrains et les avalanches. Ces services « établissent des informations de base, conseillent et soutiennent les communes, examinent et coordonnent le subventionnement des mesures de protection »

Encadré 7. Utilisation d'un indice de risques (RI) dans le canton du Valais

1 - Calcul de l'indice : $RI = (\sum A + \sum C) \times B$

A : existence d'un processus dangereux (indice 1 par type de risque) : chute de seracs, poche sous glaciaire, rupture de lac glaciaire, lave torrentielle.

B : probabilité d'occurrence de l'évènement (0 : très faible, pas de danger prévisible ; 1 : faible, danger possible mais peu probable et/ou pas d'évènement connu ; 2 : probable, danger prévisible, évènements passés déjà répertoriés ; 3 : très probable : les conditions sont réunies pour qu'un évènement se produise à moyenne échéance.

C : potentiel de dégâts (1,0) : zone bâtie / installation touristique (triple pondération) ; routes / lignes ferroviaires, installations hydroélectriques (double pondération), alpages (simple pondération).

L'indice ainsi calculé peut faire l'objet d'une réduction lorsque des ouvrages de protection ont été construits ou lorsque des mesures de surveillance sont effectives.

2 – Utilisation de l'indice de risque RI

Indice inférieur à 10 = pas de nouvelle observation dans les 4 prochaines années

Indice compris entre 10 et 20 : inspection régulière à partir d'images satellites et survol annuel

Indice supérieur à 20 : inspection régulière à partir d'images satellites, survol annuel, visites de terrain

'Source : Service des forêts, cours d'eaux et paysage, Pascal Stoebener, chef du groupe danger naturels, Canton du Valais.

En fonction du risque, tel qu'établi chaque année, des mesures de surveillance sont mises en place. Dans les cas les plus préoccupants, la surveillance peut aller jusqu'à une surveillance automatisée permanente, photos toutes les heures, photogrammétrie, interférométrie²⁷, etc. permettant de constater notamment les déplacements (de l'ordre de quelques mm, à 4 kilomètres de distance) en vue d'anticiper de la façon la plus précise, le moment de l'évènement.

Dix glaciers font l'objet d'une surveillance approfondie dans le canton de Berne pour 7 dans le canton du Valais.

Le coût de la surveillance permanente d'un glacier est estimé à environ 500 000 euros par an, sachant que les travaux de relevés sont en principe effectués par des partenaires privés. Si nécessaire, les services cantonaux en charge des risques naturels disposent chacun d'une enveloppe budgétaire annuelle de 100 à 200 000 euros pour commander des travaux de recherche.

En avance sur la France en matière d'inventaire et d'évaluation systématique du risque glaciaire (hormis le sujet des poches d'eau intraglacières, difficilement identifiables et mesurables sans des opérations coûteuses de sondages), la Suisse l'est également en matière de modélisation systématique des effets d'éventuels évènements glaciaires, et notamment de laves torrentielles.

Ainsi dans le canton de Berne, une modélisation a été réalisée à partir des paramètres de volumes en cause et d'angle de portée, à la lumière de l'ensemble des évènements qui se sont réalisés durant les 20 dernières années. Le dispositif, tout en étant empirique et évidemment perfectible,

²⁷ Procédé de mesure qui utilise le phénomène d'interférence des ondes

permet néanmoins aux autorités de disposer d'un ordre de grandeur utilisable pour établir d'éventuelles mesures de protection.

Par ailleurs, l'institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) a développé le logiciel le plus utilisé en Europe, y compris en France, dénommé RAMMS (*rapid mass movement simulation*). Il bénéficie d'une importante documentation et de nombreux cas d'application. Il présente encore de fortes imperfections et fait l'objet de travaux d'amélioration qui devraient permettre d'estimer de façon plus précise les zones susceptibles d'être impactées par des événements de type avalanches ou laves torrentielles. Des modélisations plus complexes ont été développées en France, et vraisemblablement plus appropriées, mais elles restent des outils de recherche et nécessitent des données qui les rendent pour l'instant éloignées d'un usage opérationnel.

Comme en Italie, la sécurité civile est du ressort des communes qui seules sont compétentes pour prendre des mesures de prévention des risques ou d'organisation des secours.

En cas d'alerte, les autorités municipales sont informées afin qu'elles puissent prendre les mesures adaptées, en général, fermeture de route ou de voie de chemin de fer. Selon les services en charge des risques naturels dans le Valais, ces fermetures représentent un maximum de 5 jours par an en moyenne dans le canton. Les évacuations sont encore moins nombreuses (une évacuation tous les 10 ans au plus). L'accès à la montagne ne fait jamais en revanche l'objet de mesure d'interdiction.

3.2 L'exemple italien (Val d'Aoste)

La Vallée d'Aoste, un territoire de montagnes

La Région autonome « Vallée d'Aoste » est composée d'un ensemble de 14 vallées encaissées entre les montagnes des Alpes, comprenant les plus hauts sommets alpins (Mont Blanc, Mont Cervin et Mont Rose). L'enjeu de prévention des risques naturels d'origine glaciaire et périglaciaire est particulièrement important dans cette province d'Italie dont seulement 20% de la surface se trouve en dessous de 1500 mètres d'altitude et dont 30% est située à une altitude supérieure à 2500 mètres. Avec plus de 184 glaciers d'une surface totale de 135 km², la surface glaciaire correspond à près de 5% de la Vallée d'Aoste.

Une comparaison avec la France (environ 200 km² de glaciers répartis dans 4 départements) fait ressortir la forte prégnance de l'aléa glaciaire dans ce territoire du nord-ouest de l'Italie d'à peine 3263 km² de superficie, plus petit que la Haute Savoie (4388 km²), le plus petit des quatre départements français concernés par les ROGP.

La Fondation Montagne sûre, un centre opérationnel et de recherches appliquées

La « *Fondazione Montagna sicura - Fondation Montagne sûre*²⁸ » (FMS) créée en 2002 par la Région autonome de la Vallée d'Aoste, la commune de Courmayeur, le secours alpin valdôtain et l'union valdôtaine des guides haute montagne, mène un ensemble d'activités destinées à la connaissance et à la gestion des zones glaciaires et périglaciaires, et assure le suivi régulier des situations à risque. Les activités de la FMS ont commencé en 2003 avec la mise sous surveillance de plusieurs glaciers valdôtains.

Au fil des années, la FMS a assumé le rôle de support technique pour la Région autonome Vallée d'Aoste. La FMS fournit aux organismes préposés à la gestion du territoire les éléments techniques nécessaires pour une bonne connaissance des phénomènes afin d'adopter des lignes de conduite opérationnelles. Elle intervient en qualité de centre opérationnel et de recherche appliquée. Ses objectifs sont l'étude des phénomènes climatiques et météorologiques qui conditionnent la vie en montagne ; l'analyse du risque hydrogéologique ; la promotion de la sécurité et de la prévention

²⁸ <https://www.fondazionemontagnasicura.org/fr/>

des risques naturels en montagne ainsi que l'analyse des impacts des changements climatiques sur les territoires de haute montagne.

La FMS et les services compétents de la Région émettent des rapports d'alerte pour les glaciers à risques :

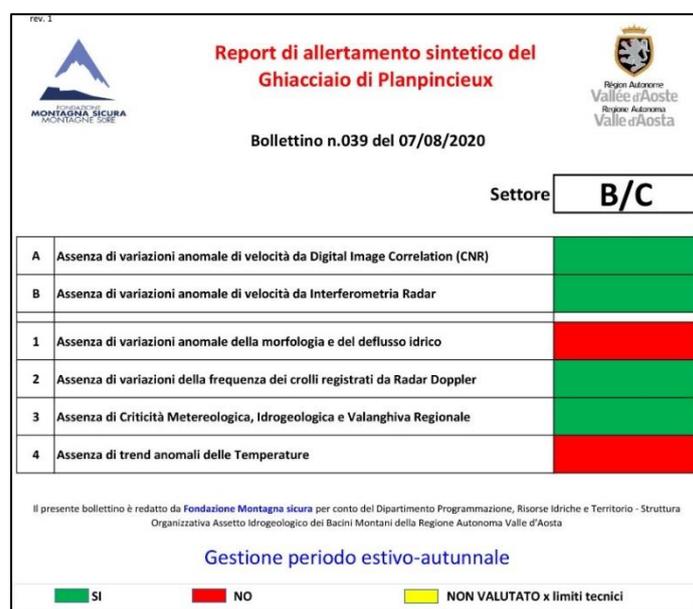


Figure 9 : Rapport d'alerte pour le glacier de Planpincieux (FMS, 2020).

5 glaciers sur 184 font l'objet d'une surveillance rapprochée

5 glaciers valdôtains font actuellement l'objet d'une surveillance régulière : éperon du glacier de la Brenva, sérac Whimper du glacier des Grandes Jorasses, glacier de Planpincieux, glacier de Chérillon et lac proglaciaire du Grand Croux. Ces glaciers à risques font l'objet d'une surveillance automatisée mobilisant plusieurs technologies :

- Une fraction sensible du glacier de Planpincieux est surveillée par un système laser installé en contrebas qui émet des signaux reflétés par des miroirs installés sur le sérac lui-même.
- La pointe Helbronner est surveillée par un système photographique qui permet le suivi qualitatif de la morphologie du sérac et quantitatif par des mesures photogrammétriques.
- Un radar GBInSAR mesure les déplacements du sérac du glacier de Planpincieux par la différence de phases entre les micro-ondes émises et reçues entre deux acquisitions, permettant un suivi de la cinématique superficielle du glacier.

Des sites expérimentaux pour étudier la chute de séracs.

La FMS conduit des actions à caractère expérimental pour l'étude de la dynamique des glaciers suspendus. Les premières mesures concernaient le suivi topographique du glacier suspendu des Grandes Jorasses (Val Ferret, Courmayeur) pour la prévision des effondrements menées avec l'aide de l'institut universitaire VAW de Zurich. Elles comprennent la mise en application expérimentale d'un système de surveillance sismique, d'un réseau GPS de mesure des mouvements et de techniques de photogrammétrie fixe (Grandes Jorasses) ; des images prises par une caméra fixe sont, en outre, utilisées pour l'étude qualitative de la dynamique de certains séracs (Grandes Jorasses, Brenva).

Gestion et actualisation d'un cadastre des glaciers valdôtains

La FMS gère le Cadastre Glaciers (consultable en ligne) qui contient toutes les informations disponibles sur les glaciers du territoire valdôtain. Pour l'étude de l'évolution des glaciers et pour la mise à jour du cadastre, la FMS effectue des campagnes de surveillance sur des sites-témoins (comprenant l'analyse des mesures des fronts glaciaires et l'estimation de l'accumulation neigeuse), des mesures du bilan de masse de quatre glaciers (Timorion, Rutor, Pré de Bar, Indren) menées en collaboration avec l'Agence régionale pour la protection de l'environnement (ARPA) et des analyses d'images satellitaires et orthophotos. Elle mène chaque année un vol de contrôle par avion léger de l'ensemble des glaciers à risque de la Vallée d'Aoste.

Publication d'un bulletin annuel sur l'évolution des risques glaciaires et périglaciaires en Vallée d'Aoste

La Fondation assure la coordination d'un large réseau d'acteurs institutionnels et professionnels (la « Cabine de Régie des Glaciers Valdôtains ») qui, à différents titres, s'occupent des glaciers et de la cryosphère sur le territoire valdôtain : Fondation Montagne sûre, Région du Val d'Aoste, Union valdotaine des guides de montagne, Secours alpin valdotain, Comité glaciologique italien, Conseil supérieur de la Recherche, Institut de recherche pour la prévention hydrogéologique (CNR-IRPI, Turin), Parc national de Gran Paradiso et Compagnie valdotaine de l'eau. La Cabine organise le partage des connaissances et des actions entreprises. Elle produit chaque année un bulletin général, très complet sur l'évolution de la cryosphère en Vallée d'Aoste qui rassemble non seulement toutes les tendances glaciaires (superficie des glaciers, variations frontales, bilan de masse, profondeur et température pergélisol) mais également les conditions physiques prévalentes (bilan hydrique, température, nivologie, ressource en eau nivale, etc.) susceptibles d'influer sur l'intensité de l'aléa glaciaire ou périglaciaire.

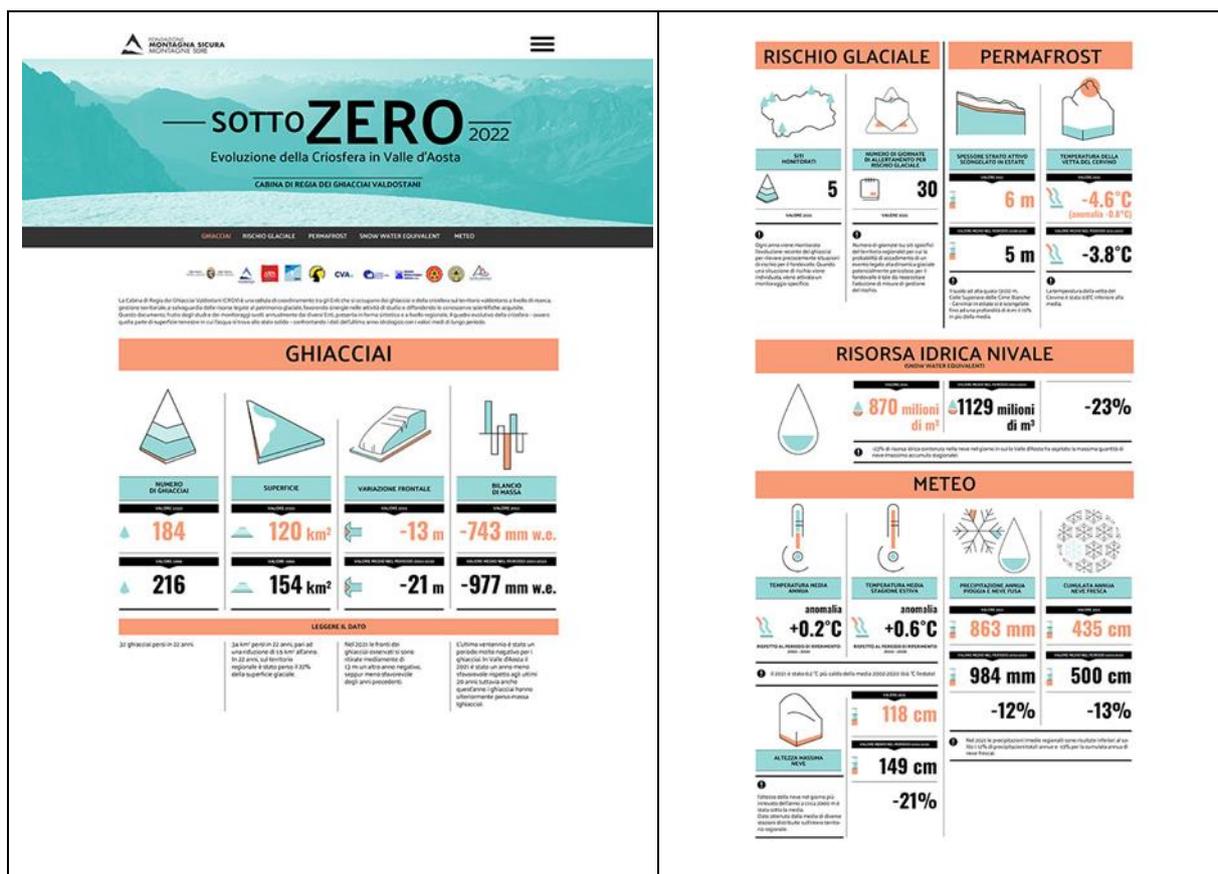


Figure 10 : Bulletin annuel de la cryosphère en Vallée d'Aoste 2022

La surveillance de l'évolution des parois de montagne à pergélisol

S'agissant du pergélisol présent dans différentes zones d'altitude du territoire valdôtain et dont l'évolution peut avoir des effets sur la stabilité des versants, la FMS mène une série d'activités incluant la réalisation d'une base de données sur les effondrements rocheux en altitude (CENSI_CRO), une analyse des sites présentant des risques potentiels corrélables avec la présence de pergélisol, l'application de techniques photogrammétriques pour l'analyse du phénomène d'effondrement sur des sites avec pergélisol (Aiguilles Marbrées, Pellaud, Regoud) et l'étude de stabilité d'un bassin où la présence de pergélisol est relevée (Pellaud, Val de Rhêmes).

Un outil de communication sur les « conditions montagne » aux services des usagers et des professionnels

La FMS a créé un outil de communication sous la forme d'un site dédié (www.FONDMS.org) qui publie des informations sur les « conditions montagne » où il est possible de consulter les conditions des voies d'alpinisme mises à jour toute l'année, les conditions des itinéraires de ski de randonnée, ski hors-piste, parcours en raquettes et cascades de glaces en hiver et les conditions de randonnée en été. Ce site propose également un « cahier des courses » dans lequel les usagers peuvent envoyer des informations recueillies sur l'accessibilité des itinéraires de haute et moyenne montagne, la fiabilité de ces données étant vérifiée avant la mise en ligne. Ce site propose également un registre des refuges où l'on peut trouver des informations communiquées par les gardiens.

La formation des professionnels de la montagne à la culture du risque

La formation est un autre domaine dans lequel la FMS opère sur les thèmes de la sécurité en montagne, des risques naturels alpins. Elle propose d'une part, des parcours destinés aux jeunes, dont le but est de les sensibiliser aux activités en altitude, et d'autre part la FMS s'adresse aux professionnels (gardiens de refuges, pisteurs-secouristes, directeurs de pistes, accompagnateurs en moyenne montagne, guides fluviaux, moniteurs de ski), avec une attention particulière à l'égard du monde des guides de haute montagne. La FMS est un centre de formation agréé par la Région autonome Vallée d'Aoste (Agence de l'emploi).

Un plan d'action national de prévention des ROGP

En 2012, la FMS avait été mandatée par le Service géologique régional pour définir un plan de suivi du risque glaciaire sur le territoire valdôtain qui comprenait l'analyse des glaciers qui présentent des situations de risque potentiel et un plan d'intervention pour l'étude et la surveillance de ces sites. Ce travail a été réalisé au cours des années 2012-2014. Tout récemment, peu après l'effondrement du glacier de la Marmolada survenu le 3 juillet 2022 qui a fait 11 morts et 8 blessés, le gouvernement italien a lancé un projet de plan d'action national de prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire.

Au-delà du cas des glaciers valdotains, le travail de recensement conduit dans le cadre du programme Glaciorisk, a identifié pour l'Italie 47 glaciers à risque à l'origine de 114 EGP (à comparer aux 28 glaciers à risque français, à l'origine de 87 EGP). S'agissant de la dangerosité des EGP, les données statistiques du programme Glaciorisk font état pour les glaciers à risque italiens d'un total de décès et de dommages corporels de 23 morts et 11 blessés au cours du dernier siècle et demi. À comparer aux 225 morts et 6 blessés occasionnés par les EGP des glaciers à risque français, dont 200 morts (175 morts et 22 blessés) imputables à la seule catastrophe du glacier de « Tête Rousse » survenue il y a 130 ans. Sur cet exemple, comme sur nombre d'autres, la mission ne peut que constater l'inconsistance des comparaisons statistiques mettant en jeu des événements (ROGP) de très basse fréquence.

De cette rapide analyse, la mission retient que :

- Le suivi annuel d'ensemble (satellites, survols, informations de terrain) est une pratique aisément transposable, indispensable et d'un coût raisonnable à l'échelle des ROGP français ;
- L'expérience italienne d'un système d'alerte et d'évacuation montre que la mise en place, quand cela se justifie, d'un tel dispositif est possible, même quand les scénarios d'événement sont d'ampleurs très contrastées. Il fait évidemment sens notamment parce que des événements courants conduisent à activer certaines mesures assez régulièrement (la menace est très directe) ;
- Ces systèmes d'alerte supposent évidemment une information régulière des populations concernées et la pratique régulière d'exercices ;
- Le système d'observation de glaciers à risque est directement lié à une responsabilité de sécurité civile et est financé à ce titre ; Il ne s'agit pas bien sûr ici de financement recherche ;
- Les pouvoirs publics français ne sont pas confrontés à une situation analogue de ROGP fréquents concentrés en un site. S'ils mettent en place une alerte organisée pour un risque relativement rare et incertain ils peuvent craindre que celui-ci ne soit pas pérenne (cela ne peut pas être comparé avec les risques technologiques où il y a un industriel à qui ces mesures peuvent être prescrites pour toute la durée de son exploitation).

4 Proposition de plans d'action destinée à soutenir le projet de stratégie de l'État

Face à un risque glaciaire et périglaciaire avéré, les pouvoirs publics se doivent d'en anticiper les conséquences. C'était clairement l'ambition de la DGPR, avec le PAPROG (cf. supra) engagé en 2016 et destiné à acquérir une meilleure connaissance des phénomènes glaciaires et périglaciaires. C'est également l'objet du projet de stratégie interministérielle pour la prévention et la gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire, d'une façon plus approfondie et plus large, en y associant la recherche, la prévention et la sécurité civile.

4.1 Une stratégie interministérielle sur les ROGP, pour accompagner et dynamiser les dynamiques locales existantes

4.1.1 *De solides acquis qui peuvent justifier une démarche qui ne paraît pas avoir été portée à un niveau adéquat*

L'idée de ne plus intervenir au coup par coup de façon réactive et d'orchestrer une démarche d'ensemble pluriacteurs paraît logique et de bonne méthode. Elle s'appuie sur d'importants acquis d'une communauté scientifique et technique spécifique qui fonctionne et qui a su démontrer à de nombreuses reprises sa capacité de réaction et la pertinence de ses diagnostics et de ses expertises.

Compte-tenu de la connaissance aujourd'hui encore insuffisante de facteurs essentiels au plan opérationnel, il s'est finalement agi de définir un plan d'amélioration des connaissances dans la poursuite des travaux déjà entrepris.

Selon les services de la DGPR, à l'origine de la rédaction, le projet de stratégie (Annexe 17) n'aurait pas trouvé de consensus interservices²⁹ ; les discussions se sont arrêtées en 2021 sans toutefois que des divergences aient été formellement constatées ni qu'un arbitrage interministériel ait été suscité, ce qui a conduit la mission à s'interroger sur le degré de mobilisation des directions générales et des cabinets ministériels sur ce dossier, en amont de la commande à l'origine du présent rapport³⁰.

4.1.2 *Des dynamiques de proximité fragiles à conforter et encourager*

Le principe d'une stratégie qui se veut englobante et efficace, évitant la dispersion des énergies, pour séduisant qu'il soit, ne saurait faire fi des réalités actuelles et notamment de l'importance du travail accompli et d'une organisation locale en place dont la mission a pu mesurer la réalité et l'efficacité.

Elle a ainsi constaté que dans les sites les plus exposés (vallée de l'Arve en particulier), il y avait une réelle sensibilité partagée au risque avec une vraie dynamique d'échanges d'information, voir d'actions de prévention qui concernaient tous les acteurs.

²⁹ Interrogés à plusieurs reprises sur d'éventuels points de divergence entre directions générales ayant justifié le recours aux inspections pour aider à trouver une voie de compromis, les services n'ont pas été en mesure d'apporter plus de précisions, ne serait-ce que pour lister les désaccords évoqués. Il semble que les changements en cours de processus des interlocuteurs de ces discussions de part et d'autre aient été la principale source de ces incompréhensions.

³⁰ Le CGDD/DRI, qui pourtant assure la tutelle ou la cotutelle de certains établissements concernés, ne semble pas avoir été partie prenante de ces discussions.

Ainsi, à titre d'exemple, à Chamonix, il y a une forte mobilisation des élus, des guides, de l'association « la chamoniarde » (qui informe le public sur les risques en montagne), du secours en montagne avec le peloton de gendarmerie de haute montagne (PGHM), de la recherche avec le glaciologue Ludovic Ravel, lui-même originaire de la vallée et guide, qui oriente ses travaux de recherche sur des sites à risque et à enjeux comme l'aiguille du midi ; à signaler également la présence dans la ville de l'école militaire de haute montagne (EMHM) qui forme les cadres des régiments alpins et qui comprend plusieurs guides chamoniards parmi ses formateurs.

Sur d'autres sites, moins d'acteurs sont présents, mais la sensibilité de tous et le partage d'informations sont tout aussi effectifs.

Les préfetures, de leur côté, même si des progrès sont encore attendus en matière de documents d'information, sont sensibles, parmi de nombreuses autres préoccupations, aux risques naturels en montagne, dont les ROGP ne constituent pas une catégorie spécifique dans la typologie des effets.

Partout, des réseaux « WhatsApp » d'échanges informels et non administrés entre acteurs permettent de partager les observations de situations nouvelles et ainsi de mieux anticiper les niveaux de risques en haute montagne tout en alimentant la connaissance.

Cette organisation locale est certes empirique, mais active et dynamique, son principal défaut est dans la capitalisation et la pérennité de processus largement dépendants de relations interpersonnelles de confiance. Il convient de veiller à ce qu'une vision trop centralisée, trop uniformisée, ne vienne pas détruire les bonnes pratiques actuelles. La stratégie nationale doit plutôt servir à compléter les lacunes ou les insuffisances qui demeurent, notamment en matière de connaissance, d'échange d'informations et de modélisation, tant la planification d'actions de sécurité civile est étroitement dépendante de la connaissance du risque. À ce titre, la mission ne considère pas indispensable la mise en place d'une gouvernance nationale *ad hoc* de ces processus et suggère d'en intégrer le pilotage dans les instances existantes. La mission croit en revanche utile d'aller vers la formalisation d'une cellule de concertation élargie, à l'image de la « Cabine de Régie des Glaciers Valdôtains », qui intègre tous les acteurs publics et professionnels de la montagne.

4.2 Les ROGP sont avant tout un enjeu de connaissance et de partage de l'information

Si les actions engagées jusqu'ici ont permis de disposer dès à présent de bons éléments de connaissance des glaciers et de leur fonctionnement, il reste beaucoup à faire et il est utile et nécessaire de le faire au plus vite.

4.2.1 Conforter l'observation et sa capitalisation afin d'établir une « levée de doutes »

La protection contre les risques glaciaires passe avant tout par la connaissance. La « levée de doutes » engagée par le service RTM est une clé essentielle pour objectiver les enjeux et définir ensuite les mesures qui s'imposent, comme le font les Suisses et les Italiens.

Le travail de recensement des sites glaciaires et périglaciaires engagé dans le cadre du PAPROG doit évidemment être conduit à son terme. Il constitue le point de départ de la mise en place d'une procédure de levée de doutes. Celle-ci est conçue et conduite par le service RTM dans une logique assez proche du dispositif empirique utilisé dans le canton du Valais qui a fait ses preuves et est utilisé de façon opérationnelle (cf. §3.2 supra) ce qui constitue un élément de confort méthodologique certain. Dans les cas incertains, des expertises flash sont prévues avec pour objectif de savoir où se situent effectivement les zones de risque justifiant d'une surveillance approfondie.

L'observation doit permettre de disposer d'un suivi permanent de la situation, à l'échelle au moins annuelle, afin de détecter le plus précocement possible des évolutions significatives et d'adapter

en conséquence le niveau de risques et l'adoption de mesures pour y faire face. Survols, photos aériennes ou recours à des images satellites constituent des instruments pour ce faire.

En l'absence en France de réseaux structurés d'observations financés de façon pérenne, la mission estime souhaitable de mobiliser les acteurs de la montagne en organisant lorsqu'il y a lieu (guides de haute montagne par exemple) a minima leur participation (selon des modalités de rémunération à définir). Des institutions présentes sur le terrain comme les parcs nationaux peuvent également être associés à de telles démarches.

Pour quelques sites, généralement déjà bien connus (Taconnaz ou Tête rousse par exemple), présentant un risque particulier dont l'ampleur aura été évaluée, la surveillance approfondie doit être poursuivie, accompagnée d'une « étude de réduction des risques » pouvant intégrer ouvrages de protection, adaptation des plans de prévention des risques naturels (PPRN), ou encore dispositifs de gestion de crise (organisation des alertes, fermetures de réseaux, évacuations ...)

Recommandation 1. (RTM) Achever l'inventaire des parois de montagne à pergélissol, engager sans tarder la réactualisation de l'inventaire des glaciers blancs (2015) et systématiser l'actualisation annuelle de l'inventaire des lacs glaciaires.

Recommandation 2. (DGPR et RTM) Finaliser au plus vite le processus de levée de doutes pour ce qui concerne la cartographie des sites potentiels à risque ; conforter en conséquence, les moyens du service RTM pour réaliser cette levée de doutes avant fin 2024 plutôt que fin 2025.

4.2.2 Dynamiser la recherche fondamentale sur les ROGP et mieux valoriser ses résultats et avancées auprès de la recherche opérationnelle

4.2.2.1 Quelques verrous scientifiques prioritaires

La mission a consulté plusieurs scientifiques engagés dans des travaux de recherche appliquée sur les aléas glaciaires et périglaciaires pour relever quelques priorités de recherche dans ce domaine. On trouvera en annexe les principales avancées et perspectives intéressantes :

La mission a sollicité les laboratoires de recherche concernés concentrés dans le bassin nord alpin (Edytem, IGE/ETNA, ISTERre, CNRM/CEN) pour identifier les actions de recherche prioritaires parmi lesquelles :

- Le passage à une exploitation automatisée et systématique des données satellitaires : ce progrès semble essentiel pour produire des séquences annuelles exhaustives de signes importants d'évolution (surfaces des lacs, des glaciers, vitesses de déplacement). Des données à haute définition payantes sont vraisemblablement à mobiliser au-delà des données gratuites comme Sentinel-2.
- Le développement de l'utilisation de ces données satellitaires en surveillance en cours de saison (volumétrie et mouvements des glaciers suspendus et des séracs) ;
- L'identification des principaux glaciers ou zones de glaciers basculant de glacier « froid » à glacier « tempéré » ;

- Le perfectionnement des modèles thermiques, et la recherche de modèles simplifiés permettant de généraliser les diagnostics de stabilité ;
- La détection des poches d'eau (risque qui d'avis unanime est sans doute le moins identifiable et anticipable par la seule observation externe) ; le suivi de la formation et de l'évolution des lacs glaciaires ;
- Les phénomènes de dégradation du pergélisol de paroi de montagne ;
- La modélisation des écoulements (avalanches de glace, d'eau et de blocs/matériaux). - Le perfectionnement des modèles de propagation de milieux hétérogènes ;
- Les phénomènes d'initiation du glissement des glaciers ;
- L'hydrologie sous-glaciaire.

La liste des actions de recherche prioritaires proposées par les laboratoires impliqués dans la recherche sur les ROGP figure en annexe 19.

Au delà de la connaissance du comportement des glaciers, glaciers rocheux ou parois eux-mêmes, il est essentiel pour mener à bien une réflexion en matière de prévention (zones interdites à la construction ou aux aménagements, équipements à détruire, dimensionnement et localisation de dispositifs d'alerte...) de connaître l'ampleur des effets en fonction de la situation. Il y a besoin de développer la modélisation de laves torrentielles par exemple sur les sites ou des enjeux sont potentiellement menacés.

Ainsi, à titre d'exemple, l'impact d'un glissement du glacier de Tacconnaz ne sera évidemment pas du tout le même selon qu'il s'agisse de chutes de séracs de quelques dizaines de milliers de m³, d'une langue glaciaire de 300 000 m³ ou de 30 millions de m³. Des éléments de modélisation permettraient d'envisager, selon la situation, des ouvrages de protection, de définir des zones exclues de tout aménagement et de définir l'ampleur d'évacuation de populations en cas de menace.

Comme évoqué à plusieurs reprises par la communauté scientifique impliquée dans la recherche sur les ROGP, un important verrou de la recherche sur les ROGP n'est pas tant les crédits alloués à cette thématique ciblée de recherche que les ressources humaines très limitées disponibles. La formation des futurs chercheurs dans ce domaine émergent apparaît ainsi comme un enjeu crucial pour l'amélioration des connaissances scientifiques et par voie de conséquence l'amélioration de la prévention des risques glaciaires et périglaciaires.

L'acronyme « ROGP » ne recoupe pas une discipline savante ni un champ de recherche précis, mais un domaine pluridisciplinaire. Les aléas d'origine glaciaire sont complexes. Ils concernent des matériaux différents (eau, glace, roches, etc.) et présentent des dynamiques très variables (chute de sérac, vidange d'une poche d'eau, lave de débris ; etc.). Cette complexité nécessite un traitement pluridisciplinaire qui associe des experts en glaciologie, écroulements rocheux, avalanches, hydrogéologie, géomorphologie, nivologie, télédétection et modélisation 3D et numérique. Cette situation conduit à rendre nécessaire la création d'un domaine de recherche dédié (ROGP) organisé comme un carrefour de disciplines au service de la modélisation des aléas glaciaires et périglaciaires et des mouvements gravitaires qui leurs sont associés. Ce constat conduit à relativiser une évaluation de l'investissement en matière de recherche sur les ROGP à partir de projets de recherche (glaciologie, relation glacier-atmosphère, etc.) qui ne concernent pas directement le risque d'origine glaciaire et périglaciaire mais seulement les domaines ou disciplines savantes qui intéressent la recherche sur les ROGP.

La mission a sollicité les laboratoires concernés (Edytem, IGE/ETNA, ISTerre, CNRM/CEN) pour proposer une première évaluation des moyens et des coûts associés aux actions de recherche prioritaires sur les ROGP dont le montant global est de 3.8 M€ (Voir annexe 19).

4.2.2.2 Mieux valoriser les résultats et les avancées de la recherche fondamentale auprès de la recherche opérationnelle, et réciproquement.

Les scientifiques et les gestionnaires du risque autour du risque glaciaire et périglaciaire en France se côtoient et se connaissent mais leurs activités ne se recoupent pas toujours, ne répondent pas aux mêmes exigences et ne relèvent pas de la même temporalité.

La mission soutient l'objectif (affiché dans le projet de stratégie nationale de prévention et de gestion des ROGP) de construction d'une communauté opérationnelle regroupant les scientifiques, les gestionnaires du risque autour des risques d'origine glaciaire et périglaciaire, ainsi que des experts de terrain. La mise en relation des acteurs a pour but de garantir une cohérence des actions de recherche en lien avec la prévention des risques. La mise en place d'une communauté doit permettre des échanges plus efficaces entre les chercheurs et les acteurs opérationnels. Les objectifs de ces échanges sont d'une part d'identifier les besoins de l'opérationnel et d'autre part d'y apporter une réponse scientifiquement fondée afin de maintenir la compétence technique de la communauté opérationnelle directement intéressée par les objectifs de la stratégie. Au-delà de la communication au sein de la communauté scientifique via les vecteurs classiques que sont les colloques et articles scientifiques, des actions de communication sont conduites à destination des acteurs de la prévention et de la gestion de crise. Ces échanges permettront également de bénéficier de l'expérience des acteurs opérationnels. La construction de cette communauté opérationnelle pourrait prendre la forme d'un groupement d'intérêt scientifique (GIS) qui pourrait être naturellement abrité soit par l'observatoire des sciences de l'univers de Grenoble (OSUG), structure fédérative assurant des missions d'observation, de recherche, de formation et de diffusion des savoirs qui rassemble plus de 1300 membres, au sein de 9 unités, 5 équipes de recherche et 2 unités d'appui de recherche sur les campus de Grenoble et Chambéry, dans tous les domaines des sciences de l'univers notamment pour ce qui intéresse les ROGP, l'hydrologie, la glaciologie et la géophysique ; soit par l'Institut du risque de Grenoble (*Risk Project*) de l'UGA, projet fédérant une centaine de chercheurs issus de 15 laboratoires, des sciences humaines et sociales, des sciences de l'information et des systèmes, des géosciences et des sciences de l'ingénieur visant à développer l'interdisciplinarité et l'innovation scientifique dans le domaine de la gestion des risques et des catastrophes dans des régions vulnérables à l'image du bassin grenoblois, mais également de la région de Beyrouth au Liban ou encore au Népal. .

Recommandation 3. (MESR et universités concernées) Créer un « observatoire des ROGP » sous la forme d'un groupement d'intérêt scientifique (GIS) pour construire une communauté opérationnelle regroupant les scientifiques et les gestionnaires du risque autour des ROGP qui pourrait naturellement être abrité par l'OSUG ou par l'Institut du risque de l'UGA.

Recommandation 4. (MESR et ANR) Dynamiser la recherche sur les ROGP au moyen d'un financement Flash de l'ANR afin de répondre à un besoin urgent de recherche sur une thématique ciblée, liée à une situation d'incertitude sur l'étendue et la dangerosité du risque d'origine glaciaire et périglaciaire. .

À noter enfin, que s'agissant d'action de valorisation ou de communication des projets de recherche fondamentale sur les ROGP financés par l'ANR, l'ANR a expliqué à la mission qu'elle était disposée à s'y associer, à l'exemple du colloque « Ouragans 2017 : catastrophe, risque et résilience »³¹ qui

³¹ <https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/colloque-ouragans-2017-catastrophe-risque-et-resilience-les-21-et-22-novembre-2022>

s'est tenu récemment pour valoriser les résultats de quatre projets de recherche financés par l'Agence dans ce domaine.

4.2.3 Partager la connaissance

Si le monde de la recherche partage activement ses connaissances grâce aux publications réalisées, et se rend extrêmement disponible pour les décideurs, les acteurs de la montagne et le grand public, cela n'est jamais suffisant pour de tels sujets sources de craintes, possibles objets de malentendus ou de manipulations. Il est crucial que cette connaissance, au fur et à mesure qu'elle se construit, y compris dans ses naturelles imperfections et incertitudes, soit largement partagée avec tous les acteurs concernés afin que les progrès soient réellement mis en commun et source d'amélioration de la prévention des risques dans un contexte extrêmement évolutif. Pour ce faire, la mission suggère d'organiser un séminaire large tous les deux ans auxquels seraient conviés autorités de décision (préfets, maires), services techniques (RTM, DDT), acteurs du secours en montagne (SDIS, PGHM, CRS Alpes, etc.), acteurs économiques (guides, accompagnateurs en montagne, gestionnaires des remontées mécaniques, refuges, etc.) et bien entendu le monde de la recherche. Ce séminaire pourrait être réalisé en alternance avec un séminaire annuel de bilan en cercle plus restreint tel qu'il fonctionne déjà.

Recommandation 3. (DGPR en relation avec les parties prenantes) Mettre en place l'organisation d'un séminaire biennal destiné à faire le point sur l'état de la recherche en matière de ROGP en alternance avec un séminaire plus restreint. Un premier séminaire devrait intervenir en 2024, au plus tard.

4.3 Renforcer prévention et protection

4.3.1 En matière de prévention, inscrire les ROGP dans les stratégies multirisques et non dans une stratégie spécifique

Dans quelques vallées, l'amélioration de la connaissance du risque pourra rendre nécessaire des mesures de prévention (maîtrise de l'urbanisation, confortement des infrastructures, travaux de protection). Il paraît judicieux d'inclure systématiquement ces mesures dans une vision multirisques et non exclusivement ROGP.

Le sujet prévention/gestion de crise doit être étendu à des lieux habités en permanence et à quelques lieux de concentration estivale de randonneurs ou d'alpinistes (certains gîtes ou refuges, des campings exposés en vallée ou en moyenne montagne ou bien des itinéraires de randonnées organisés et particulièrement fréquentés).

L'aggravation générale du niveau de risque en montagne lié au changement climatique ne concerne pas les seules ROGP. Les stratégies de prévention doivent dès lors qu'il s'agit de la fréquentation de la haute montagne, les intégrer collectivement.

Le besoin d'information, de recommandations, voire de maîtrise d'itinéraires existant (obligation de disposer d'une réservation en refuge pour s'engager sur la voie d'accès au sommet du Mont Blanc via le Goûter) pour la fréquentation de la haute montagne va s'accroître : il mérite peut-être d'être mieux codifié, et sans doute mieux connu. Une concertation sur ce thème avec les acteurs de la montagne, débouchant sur une charte de bonnes pratiques paraît souhaitable, sans pour autant remettre en cause la liberté de circulation et la responsabilité individuelle hors circonstances exceptionnelles de danger. Elle pourra expliciter les conditions de retour à la normale après d'éventuelles interdictions temporaires.

4.3.2 Un partage des responsabilités (État-collectivités) à conserver pour les ROGP et à inscrire dans les documents de planification

Sur la base du présent rapport et du futur livre blanc, la mission recommande d'établir un guide méthodologique opérationnel permettant d'envisager, dès lors que la nature et l'ampleur des risques aura été établie, la prise en compte des ROGP dans les documents de planification et de contractualisation existants, notamment les dossiers départementaux des risques majeurs (DDRM), les documents d'information communale sur les risques majeurs (DICRIM), les plans communaux de sauvegarde (PCS).

4.3.3 Organiser largement le partage d'informations sur le contexte glaciaire prévalant

4.3.3.1 Des réunions départementales de printemps.

Le niveau départemental, opérationnel et de proximité, paraît adapté à l'organisation de réunions bi-annuelles permettant de faire le point en début et fin de saison estivale sur la nature et l'ampleur des ROGP. Les conditions climatiques du moment, celles envisagées par les prévisionnistes de la météorologie, mais également la situation des mois écoulés (conditions d'enneigement et températures de l'hiver, précocité ou non du printemps, sécheresse, etc.), constituent en effet des paramètres déterminants dans l'évolution des risques. Les interlocuteurs de la mission ont ainsi, de façon quasi unanime, fait le constat d'un impact très net sur les chutes de blocs et la désagrégation des milieux rocheux de la sécheresse précoce de 2022 alliée à un niveau élevé des températures.

À l'identique de ce qui est couramment réalisé dans les départements ultramarins pour les cyclones, la mission recommande que chaque préfecture concernée par des ROGP organise chaque année, avant la saison estivale, une réunion destinée à partager entre professionnels (élus, administrations, services météo, chercheurs, guides, associations de pratiquants de la montagne, gardiens de refuges, etc.) toutes les informations utiles sur l'état des zones montagneuses sensibles et des risques potentiels.

Dans les départements où des glaciers sont sous observation renforcée (Haute Savoie en particulier), il est important que les élus et les pratiquants de la montagne soient informés d'éventuelles évolutions.

Il est essentiel que la communication au grand public appropriée à la nature des connaissances disponibles soit une dimension prise en considération dès aujourd'hui. Les pouvoirs publics, quand bien même ils ne disposent que d'une information qu'ils jugeraient encore médiocre et améliorable, ont le devoir de trouver les moyens appropriés pour partager cette information.

La nécessaire sensibilisation de la population, sans générer pour autant d'inquiétude excessive ou injustifiée, passe par une information publique, objective et régulière.

Recommandation 4. (Préfets des départements concernés) Organiser avant l'été une réunion départementale annuelle de concertation des acteurs institutionnels et professionnels de la montagne en vue d'un partage d'informations et d'expériences sur la situation glaciaire et périglaciaire constatée.

4.3.3.2 Un bulletin annuel de massif coordonné par le service RTM.

En support général à ces réunions départementales, pourrait être également envisagée à l'échelle du massif alpin (voire pour les Pyrénées concernant les glaciers rocheux et les parois à pergélisol) la publication par le RTM, sur le modèle du bulletin de situation national hydrogéologique produit

mensuellement par le BRGM d'un bulletin national annuel de situation glaciaire et périglaciaire. La mission suggère de s'inspirer du dispositif mis en place dans le val d'Aoste. Cela suppose que le service RTM s'appuie sur plusieurs organismes et qu'un comité éditorial des organismes producteurs de données soit constitué autour de lui (en particulier Météo-France, BRGM, et les équipes de recherche mobilisées sur les ROGP).

Recommandation 5. (DGPR et RTM) Faire établir par le service RTM un bulletin annuel à l'échelle des massifs concernés (Alpes et éventuellement Pyrénées) de la situation glaciaire et périglaciaire à partir des données, informations et analyses recueillies auprès des différents organismes techniques et scientifiques mobilisés sur les ROGP Ce bulletin serait présenté dans les réunions départementales de printemps (voir recommandation précédente).

4.4 Une organisation à mieux structurer, notamment en renforçant le rôle du RTM auprès des décideurs locaux

Sans chercher à créer sur le modèle italien (Fondazione montagna sicura) ou Suisse (service des risques naturels) une nouvelle structure en charge des risques et notamment des glaciers, il apparaît nécessaire de mieux structurer l'organisation locale, en particulier pour apporter un indispensable appui technique aux décideurs, maires et préfets.

La mission recommande de renforcer le rôle du service RTM en lui confiant de façon officielle et sous conventionnement avec l'État, des missions précises d'appui opérationnel, de surveillance, de développement de la connaissance et de conseil aux autorités locales. Ce service, du fait de son rôle et de son image très consensuels auprès des décideurs, de son implantation départementale, de sa connaissance des milieux de montagne à travers ses missions traditionnelles de travaux de prévention et de protection, paraît le mieux à même de remplir ce type de mission nouvelle en matière de risque d'origine glaciaire et périglaciaire.

À ce titre, le RTM aurait notamment la responsabilité d'établir un bilan annuel des ROGP à l'occasion des réunions départementales ainsi que l'élaboration d'un bulletin national sur la situation glaciaire et périglaciaire en France, évoqués ci-dessus.

Sauf à dégrader les missions traditionnelles du service RTM, tout aussi essentielles, une telle éventualité ne saurait être réalisée à moyens constants, en particulier en termes de moyens humains.

Ce rôle accru, qui serait confié par le ministère de la transition écologique au service RTM, suppose que la convention qui lie ce dernier à l'État soit amendée pour intégrer ces nouvelles missions dont le coût est estimé à 600 000 euros par an (6 ETP) et que le plafond d'emploi du RTM soit réévalué en conséquence.

Recommandation 6. (DGPR, ONF) Renforcer le rôle du service RTM en lui confiant de nouvelles missions sur les ROGP sous convention avec le ministère de la transition écologique ; réévaluer son plafond d'emplois en conséquence

4.5 Établir un calendrier opérationnel

La publication prévue au printemps 2023 d'un livre blanc, en cours de rédaction, sur les risques d'origine glaciaire et périglaciaire pourrait constituer une excellente opportunité pour annoncer la démarche engagée avec un calendrier couvrant la décennie à venir avec un double objectif :

- Gérer les urgences : avoir répondu de façon adéquate durant la décennie à toutes les situations signalées de risque en train de se concrétiser (instrumentation, diagnostic, mise en œuvre des travaux ou des mesures de prévention adaptées) ;
- Anticiper : avoir réalisé un diagnostic systématique des sites à risques et les avoir tous étudiés, au-delà des cas signalés par l'observation. Avoir traité avec les acteurs locaux tous les aspects des dangers spécifiques des sites les plus exposés, et notamment de la vallée de l'Arve.

4.5.1 Dès 2023 : valoriser les efforts réalisés et achever le processus de caractérisation des enjeux à grande maille

Année 2023 : élaboration d'un guide de prise en compte des ROGP

- Hiver 2023 : à l'issue de la publication du livre blanc, organisation dans chaque département (4 départements alpins pour commencer, avec l'idée d'une extension ultérieure) d'une concertation avec les acteurs de la montagne sur les informations, avertissements, conseils et conditions de mise en place éventuelles de restrictions de circulation en haute montagne.
- Organisation des réseaux de remontée d'informations et de communication renforcée pour la haute montagne avant l'été 2023 ;
- Instauration d'une démarche systématique annuelle au niveau départemental de synthèse de la situation glaciaire et périglaciaire ; élaboration par le RTM d'un bulletin de tendances annuelles.

Année 2023 : finalisation des analyses RTM des sites à principaux enjeux dans un premier département.

Fin 2023 : information des élus et professionnels et présentation publique des cartes des principaux risques potentiels préparées par le RTM dans chaque département.

4.5.2 2023-2027 : développement de la démarche

- Production et mise à disposition des synthèses de risques au rythme d'un département par an, mises à jour annuelles ;
- Réponse aux urgences d'appui technique et expertises ;
- Mise en fonctionnement du réseau d'observation ;
- Structuration de programmes de recherche ;
- Produire dès que la connaissance scientifique le permet, des cartes d'aléas (zones impactées par le sinistre) sur la base de modélisations devenues possibles des coulées de laves torrentielles.

4.5.3 2028-2032 : valorisation et consolidation des acquis

- Bilan en 2027 pour réorienter le programme d'action en fonction des événements intervenus et des connaissances acquises. ;
- Renforcer en contractualisant les dépenses avec les collectivités, les réseaux locaux de surveillance de sites à enjeux, en rendre publique les données, mettre en place les dispositifs de sécurité civile qui s'avèreraient justifiés. ;
- Produire sur la base de travaux de modélisation de la propagation des laves torrentielles, des cartes d'aléas à partir des simulations qui ont été réalisées.

Dominique Lacroix



**Inspecteur général de
l'administration**

Laurent Mayet



**Inspecteur général de la re-
cherche et de l'enseignement
supérieur**

Pierre-Alain Roche



**Ingénieur général
des ponts, des eaux
et des forêts**

Annexes

Annexe 1. Lettre de mission



GOUVERNEMENT

Liberté
Égalité
Fraternité

Paris, le 20 AVR. 2022

La ministre de la Transition écologique

Le ministre de l'Intérieur

La ministre de l'Enseignement supérieur, de la
Recherche et de l'Innovation

Réf. : MTE/2022-04/13900

Monsieur le chef de l'Inspection générale de
l'administration

Monsieur le vice-président du Conseil général
de l'environnement et du développement
durable

Madame la cheffe de l'Inspection générale
de l'éducation, du sport et de la recherche

Objet : mission d'expertise conjointe sur l'identification des enjeux liés aux risques d'origine glaciaire et périglaciaire

Les risques d'origine glaciaire et périglaciaire regroupent les risques naturels liés aux zones couvertes de glace, englacées, récemment déglacées, ou concernées par le dégel du pergélisol. Le changement climatique accentue le réchauffement et la fonte des zones englacées. Il contribue à l'augmentation des risques liés aux évolutions des glaciers (poches d'eau, lacs, rupture ou effondrement d'une partie du glacier) et du pergélisol. L'augmentation des températures contribue également à l'émergence de phénomènes gravitaires nouveaux, ou touchant de nouveaux secteurs, qui peuvent être générateurs de risque pour les zones d'occupation humaine en aval.

Le caractère émergent de ces phénomènes ne permet pas de bénéficier de références historiques suffisantes sur lesquelles s'appuyer pour prévenir les risques à venir. Les fréquences d'occurrence attendues sont faibles au regard d'autres phénomènes sources de danger en montagne (crues, avalanches, chutes de blocs...). Pour autant, la brutalité des phénomènes et l'importance des volumes mis en jeu, ainsi que le peu de références historiques documentées, qui auraient pu orienter des choix d'aménagement ou de développement, font craindre des impacts potentiels majeurs.

Hôtel de Roquelaure
246 boulevard Saint-Germain – 75007 Paris
Tél : 33(0)1 40 81 21 22
www.ecologie.gouv.fr

Hôtel de Beauvau
Place Beauvau – 75008 Paris
Tél : 33(0)1 49 27 49 27
www.interieur.gouv.fr

Pavillon Boncourt
21 rue Descartes – 75005 Paris
Tél : 33(0)1 55 55 10 10
www.enseignementsup-recherche.gouv.fr

Les phénomènes mis en jeu dans les risques d'origine glaciaire et périglaciaire sont d'une grande complexité. La compréhension de ces phénomènes, difficiles à instrumenter, à observer et à mesurer, est insuffisante à ce jour pour déployer des moyens de prévention, de détection et de gestion.

De plus, les niveaux de connaissance, tant du point de vue de la détection que des conditions favorisant le déclenchement de l'aléa, varient selon les phénomènes.

Nous vous demandons donc de diligenter une mission visant à formuler des recommandations sur l'identification des grands enjeux liés à la prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire et les axes de travail qui permettront d'y répondre, en particulier :

- les démarches scientifiques structurantes permettant de lever les verrous en matière d'acquisition de données et de modélisation. Pour cela, vous analyserez les dispositifs réglementaires ou structurels à faire évoluer ainsi que les moyens scientifiques, techniques et financiers qu'il conviendrait de mobiliser en précisant si possible le calendrier de mise en œuvre ;
- la nature des connaissances nécessaires pour que les collectivités territoriales et les services déconcentrés puissent mener des actions de prévention ;
- la nature des données et des suivis utiles à l'anticipation de la gestion des risques, à l'évitement des crises, à défaut à leur bonne gestion ;
- l'évaluation des possibilités de surveillance des secteurs à risque et leur articulation avec les missions dévolues aux autorités chargées de la gestion des crises.

Vous formulerez des propositions concrètes d'organisation et de leviers pour conduire une stratégie interministérielle de prévention et de gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire. Pour ce faire, vous identifierez les collaborations nécessaires, les moyens qui permettront d'améliorer l'analyse des aléas et de mieux prendre en compte les risques qui en découlent.

En outre, vous vous attacherez à prendre en considération les attentes des territoires de montagne dans toutes leurs composantes et mettrez en évidence les difficultés qu'ils rencontrent ou pourraient rencontrer pour faire face aux évolutions envisagées. Vous analyserez les démarches et travaux engagés ou déjà en cours. Vous examinerez notamment le projet de stratégie nationale pour la prévention et la gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire engagé par la direction générale de la prévention des risques (DGPR) ainsi que les plans d'actions pluriannuels. Le projet de stratégie vise à coordonner et poursuivre l'amélioration de la connaissance, et à créer une dynamique entre les collectivités locales et l'État que ce soit à l'échelle nationale ou déconcentrée.

Vous indiquerez les objectifs qui vous semblent pertinents en précisant autant que possible les échéances, les critères de priorisation des actions et les freins qui seront à lever, et formulerez des recommandations pour y parvenir.

A la lumière de l'analyse que vous aurez conduite, vous formulerez des recommandations pour compléter la réflexion interministérielle engagée par la DGPR, la DGRI et la DGSCGC afin qu'y soient précisés, au regard des résultats de vos travaux et des attentes exprimées par les administrations concernées, les axes principaux à développer dans la stratégie. Vous proposerez une stratégie amendée à partir de votre examen.

Pour ce travail, la mission pourra s'appuyer sur les services de restauration des terrains en montagne de l'Office national des forêts (ONF-RTM), de Météo-France, de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), de l'Institut national des sciences de l'univers du CNRS (CNRS-INSU), de la direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC), de la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI), de la direction générale de la prévention des risques (DGPR), des autres directions générales et services qui ont été associés au dossier et des directions départementales des territoires (DDT) de montagne concernées ainsi que des laboratoires de recherche du CNRS et universitaires, notamment ceux déjà mobilisés dans le cadre des conventions passées avec la DGPR et les collectivités locales déjà concernées par ces risques.

Vous voudrez bien nous remettre votre rapport et la proposition de stratégie dans les six mois qui suivront la réception du présent courrier.



Barbara POMPILI



Gérald DARMANIN



Frédérique VIDAL

Annexe 2. Liste des personnes rencontrées

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
DGPR	Berthet	Lionel	Sous directeur, sous-direction de la connaissance des aléas et de la prévention	19 mai 2022
DGPR	Vanherderen	Rodolphe	Chef du bureau risques naturels terrestres	19 mai 2022
DGPR	Lacorte	Yoan	Adjoint à la cheffe de service des risques naturels et hydrauliques	19 mai 2022
DGPR	Calmet	Catherine	Adjointe au chef du bureau des risques naturels terrestres	19 mai 2022
DSCGC	Royet	Romain	Adjoint au directeur général	30 mai 2022
DSCGC	Hocde	Yves	Sous-directeur anticipation et gestion de crise	30 mai 2022
DGPR	Stephan	Ariane	Réferente nationale prévention des risques en montagne	13 juin 2022
Météo France	Dumont	Marie	Chercheur au CNRM	17 juin 2022
RTM	Verry	Pierre	Chef de service	17 juin 2022
DGRI	Marquer	Didier	Chargé de mission	23 juin 2022
DGRI	Fechner	Lise	Chef du secteur scientifique environnement – univers	23 juin 2022
Préfecture des Hautes Alpes	Belle	Nicolas	Directeur des services du cabinet	8 juillet 2022
DDT des Hautes Alpes	Laon	Perrine	Chef du service urbanisme – risques naturels	8 juillet 2022
RTM	Michaud	Marie-Pierre	Chef de la mission Hautes Alpes	8 juillet 2022
Préfecture des Hautes Alpes	Alberti	Rémy	Chef du SIDPC	8 juillet 2022
Préfecture de la Savoie	Chamoux	Alexandra	Directrice de cabinet	18 juillet 2022
Préfecture de la Savoie	Peyrot	Benjamin	Chef du SIDPC	18 juillet 2022
Préfecture de la Savoie	Pupatto	David	Directeur des sécurités	18 juillet 2022
RTM	Binet	David	Chef du service Savoie	18 juillet 2022
Préfecture de l'Isère	Bouteille	Frédéric	Directeur de cabinet	18 juillet 2022

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
DDT de l'Isère	Chivart	Anne	Responsable sécurité et risques	18 juillet 2022
RTM	Robert	Yannick	Responsable pôle expertise	18 juillet 2022
Préfecture de la Haute Savoie	N'tchandy	Animya	Directrice de cabinet	22 août 2022
Préfecture de la Haute Savoie	Darroux	Rémy	Sous-préfet de Bonneville	22 août 2022
SDIS	Marillet	Nicolas	Directeur	22 août 2022
Préfecture de la Haute Savoie	Fatmi	Mélanie	Chef du SIDPC	22 août 2022
Refuges de haute montagne	Rattin	Antoine	Gardin des refuges du Gouter et de Tête rousse	23 août 2022
Mairie des Houches	Viale	Patrick	Premier adjoint	23 août 2022
Mairie des Houches	Trinquier	Sandre	Directrice générale des services	23 août 2022
PGHM	Host	Bertrand	Commandant du PGHM de Chamonix	23 août 2022
Mairie de Chamonix	Fournier	Eric	Maire	23 août 2022
Mairie de Chamonix	Jacot	Claude	délégué aux risques naturels	23 août 2022
Mairie de Chamonix	Bouteillé	Jean-Michel	Directeur général des services	23 août 2022
Ecole militaire de haute montagne	Mayade	Lionel	Chef de corps	23 août 2022
Préfecture de Haute Savoie	Marsigny	François	Référent montagne	23 août 2022
CNRS	Ravanel	Ludovic	Chercheur – glaciologue	23 août 2022
Compagnie des guides de St Gervais	Begain	Olivier	Président	23 août 2022
Mairie de St Gervais	Peillex	Jean-Marc	Maire	24 août 2022
Association « la Chamoniarde »	Vibert	Océane	Directrice	24 août 2022
Compagnie des guides de Chamonix	Greber	Olivier	Président	24 août 2022
Région autonome du Val d'Aoste	Lavevaz	Erik	Président de la région autonome	24 août 2022

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Région autonome du Val d'Aoste	Giardini	Guido	Président de la fondation « montagna segura »	24 août 2022
Région autonome du Val d'Aoste	Fosson	Jean-Pierre	Secrétaire général de la fondation « montagna segura »	24 août 2022
Région autonome du Val d'Aoste	Troilo	Fabrizio	Chercheur	24 août 2022
Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses affluents	Forel	Bruno	Président	25 août 2022
Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses affluents	Charles	Florent	Directeur général des services	25 août 2022
RTM	Brobecker	Caroline	Chef du service	25 août 2022
RTM				25 août 2022
Préfecture de Haute Savoie	Le Breton	Yves	Préfet	25 août 2022
FFCAM	Cazanave	Bénédicte	Présidente par intérim	26 août 2022
Département de Haute Savoie	Saddier	Martiel	Président	30 août 2022
Compagnie des guides de Val d'Isère	Charamel	Eric	Président	31 août 2022
Mairie de Pralognan la Vanoise	Fabre	Jean-Pierre	Maire	31 août 2022
Département de la Savoie	Gaymard	Hervé	Président	31 août 2022
Département de la Savoie	Picolet	Auguste	Vice-président en charge des risques naturels	31 août 2022
Département de la Savoie	Lescuyer	Anne	Responsable risques	31 août 2022
Syndicat des remontées mécaniques	Maulin	Alexandre	Président	31 août 2022
Parc national des Ecrins	Commenville	Pierre	Directeur	1 ^{er} septembre 2022

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Parc national des Ecrins	Sempé	Samuel	Directeur adjoint	1 ^{er} septembre 2022
INRAE	Naaim	Florence	Directrice de recherche	16 septembre 2022
INRAE	Eckert	Nicolas		16 septembre 2022
INRAE	Laigle	Dominique		16 septembre 2022
INRAE	Faug	Thierry		16 septembre 2022
INRAE	Thibert	Emmanuel		16 septembre 2022
INRAE	Bonnefoy	Mylène		16 septembre 2022
INRAE	Bourrier	Franck		16 septembre
Université Savoie Mont-Blanc	Bodin	Xavier		16 septembre 2022
UGA	Larose	Eric		16 septembre 2022
Université SMB	Magnin	Florence		16 septembre 2022
UGA	Lacroix	Pascal		16 septembre 2022
UGA	Guillemot	Antoine		16 septembre 2022
UGA	Vincent	Christian		16 septembre 2022
UGA	Gagliardini	Olivier		16 septembre 2022
Canton suisse du Valais	Stoebener	Pascal	Chef du service risques naturels	19 septembre 2022
Canton suisse de Berne	Hählen	Nilsson	Chef de la division risques naturels	26 septembre 2022

ANR	Prieur-Richard	Anne-Hélène	Reponsable du département Environnement, Ecosystèmes,	6 octobre 2022
ANR	Puech	Anne	Ressources biologiques Responsable du programme LabCom	6 octobre 2022
ANR	Dunon-Bluteau	Dominique	Directeur des opérations scientifiques	6 octobre 2022
ANR	Grigoriev	Konstantin	CPS	6 octobre 2022

Annexe 3. Glossaire administratif

Catastrophe naturelle : Dans l'acception courante, il s'agit d'un phénomène ou d'une conjonction de phénomènes dont les effets sont particulièrement dommageables. Cette définition est différente de celle de l'article 1er de la loi n°82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, qui indique: « sont considérés comme effets des catastrophes naturelles [...] les dommages matériels directs ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel, lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises ». La catastrophe est ainsi indépendante du niveau des dommages causés. La notion « d'intensité anormale » et le caractère « naturel » d'un phénomène relèvent d'une décision interministérielle qui déclare « l'état de catastrophe naturelle ». Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>.

Dossier départemental des risques majeurs (DDRM) : document où le préfet (conformément à l'article R125-11 du Code de l'Environnement) consigne toutes les informations essentielles sur les risques naturels et technologiques majeurs au niveau du département, ainsi que sur les mesures de prévention et de sauvegarde prévues pour limiter leurs effets. En précisant les notions d'aléas et de risques majeurs, le DDRM doit recenser toutes les communes à risques du département, dans lesquelles une information préventive des populations doit être réalisée. Il est consultable en mairie et sur internet. Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM) : prévu par l'article R. 125-11 du Code de l'environnement, est réalisé par le maire. Il informe les habitants de la commune des risques majeurs, naturels ou technologiques existants, et des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde mises en œuvre face à ces risques sur la commune. Le DICRIM reprend les informations transmises par le préfet. Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Dossier de Transmission d'Informations au Maire (TIM) : Conformément à l'article R125-11 du Code de l'environnement, la Préfecture et les services de l'État adressent au maire les informations contenues dans le Dossier départemental des risques majeurs (DDRM), intéressant le territoire de sa commune. Il s'agit du dossier de Transmission d'Informations au Maire (TIM, ex-DCS). Ils comprennent :

- des informations spécifiques relatives aux risques figurant dans le PPR pour ce qui concerne le territoire de chaque commune ;
- la cartographie existante des zones exposées ;
- la liste des arrêtés portant constatation de l'état de catastrophe naturelle.

Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Gestion assistée des procédures administratives relatives aux risques naturels (GASPAR) : L'application Gaspar de la Direction générale de la prévention des risques est l'épine dorsale de son système d'information sur les risques naturels. La base Gaspar réunit des informations sur les documents d'information préventive ou à portée réglementaire : PPR, procédures de type « reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles », documents d'information préventive (documents communaux synthétiques, atlas des zones inondables). Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Gestion de crise : Ensemble des modes d'organisation, des techniques et des moyens qui permettent la préparation et la mise en œuvre de la réponse des pouvoirs publics visant à maîtriser une situation de crise, d'en entraver le développement, d'en limiter les conséquences, d'en réparer les effets, d'assurer les conditions du retour à une situation normale puis, in fine, d'en tirer les enseignements sur la manière dont elle a été conduite. Elle se caractérise généralement par un certain degré d'adaptation face à des événements ou effets imprévisibles, par des actions menées et des décisions prises sous délais contraints. Elle impose d'acquiescer une vision claire et objective

de la situation, des enjeux et des conséquences à court et moyen terme. Elle se traduit généralement par la mise en œuvre de plans de secours. Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Information préventive : L'objet de l'information préventive est de renseigner la population sur les risques qu'elle encourt dans le cadre de ses différents lieux de vie et d'activité. En lui permettant de connaître les dangers auxquels elle est exposée, l'information préventive contribue à préparer le citoyen en cas de réalisation du risque à adopter un comportement responsable. L'article L.125-2 du Code de l'environnement dispose que : « Les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis dans certaines zones du territoire, et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent. Ce droit s'applique aux risques technologiques et aux risques naturels prévisibles ». Le décret n°90-918 du 11 octobre 1990, modifié par le décret n°2004-554 du 9 juin 2004, définit les conditions d'exercice du droit à l'information. Il fixe le contenu et la forme des informations auxquelles doivent avoir accès les personnes susceptibles d'être exposées à des risques majeurs, ainsi que les modalités selon lesquelles ces informations seront portées à la connaissance du public. Ce décret détermine également les acteurs de l'information préventive, et les modalités de l'affichage. L'information doit être effectuée :

- dans les communes dotées d'un plan particulier d'intervention (PPI = plan de secours),
- dans les communes dotées d'un plan de prévention des risques (PPR),
- dans les communes situées dans des zones à risque sismique, volcanique, cyclonique ou de feux de forêts,
- dans les communes désignées par arrêté préfectoral en raison de leur exposition à un risque majeur particulier.

Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Plan communal de sauvegarde (PCS) : Le plan communal de sauvegarde (PCS) a été institué par la loi n°2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile, dans son article 13. Il détermine, en fonction des risques connus, les mesures immédiates de sauvegarde et de protection des personnes, fixe l'organisation nécessaire à la diffusion de l'alerte et des consignes de sécurité, recense les moyens disponibles et définit la mise en œuvre des mesures d'accompagnement et de soutien de la population. Le PCS doit être compatible avec le plan Orsec. Son élaboration est obligatoire pour les communes soumises à un PPR approuvé ou dans le champ d'application d'un PPI. Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Porter à connaissance (PAC) : mise à disposition par le préfet des études techniques dont dispose l'État en matière de prévention des risques, afin que l'autorité compétente en matière d'urbanisme puisse les prendre en compte dans ses autorisations d'urbanisme.

Plan Local d'Urbanisme (PLU) : document d'urbanisme qui, à l'échelle du groupement de communes ou de la commune, traduit un projet global d'aménagement et d'urbanisme et fixe en conséquence les règles d'aménagement et d'utilisation des sols.

Plan de prévention des risques naturels (PPRN) : créé par la loi du 2 février 1995, il constitue aujourd'hui l'un des instruments essentiels de l'action de l'État en matière de prévention des risques naturels, afin de réduire la vulnérabilité des personnes et des biens. Il est défini par les articles L562-1 et suivants du Code de l'environnement et doit être réalisé dans un délai de 3 ans à compter de la date de prescription. Ce délai peut être prorogé une seule fois de 18 mois. Le PPRN peut être modifié ou révisé.

Le PPRN est une servitude d'utilité publique associée à des sanctions pénales en cas de non-respect de ses prescriptions et à des conséquences en terme d'indemnisations pour catastrophe naturelle.

Le dossier du PPRN contient une note de présentation du contexte et de la procédure qui a été menée, une ou plusieurs cartes de zonage réglementaire délimitant les zones réglementées, et un règlement correspondant à ce zonage. Ce dossier est approuvé par un arrêté préfectoral, au terme d'une procédure qui comprend l'arrêté de prescription sur la ou les communes concernées, la réalisation d'études pour recenser les phénomènes passés, qualifier l'aléa et définir les enjeux du

territoire, en concertation avec les collectivités concernées, et enfin une phase de consultation obligatoire (conseils municipaux et enquête publique).

Le PPRN permet de prendre en compte l'ensemble des risques, dont les inondations, mais aussi les séismes, les mouvements de terrain, les incendies de forêt, les avalanches, etc. Le PPRN relève de la responsabilité de l'Etat pour maîtriser les constructions dans les zones exposées à un ou plusieurs risques, mais aussi dans celles qui ne sont pas directement exposées, mais où des aménagements pourraient les aggraver. Le champ d'application du règlement couvre les projets nouveaux, et les biens existants. Le PPRN peut également définir et rendre obligatoires des mesures générales de prévention, de protection et de sauvegarde.

Schéma de cohérence territoriale (SCoT) : outil de conception et de mise en œuvre d'une planification stratégique intercommunale, à l'échelle d'un large bassin de vie ou d'une aire urbaine, dans le cadre d'un projet d'aménagement et de développement durables (PADD).

Schéma départemental d'analyse et de couverture des risques (SDACR) : Mentionné par le code général des collectivités territoriales (CGCT) en son article L. 1424-7 et le code de la sécurité intérieure (CSI) dans son article L. 731-2, le schéma départemental d'analyse et de couverture des risques (SDACR) « dresse l'inventaire des risques de toute nature pour la sécurité des personnes et des biens auxquels doivent faire face les services d'incendie et de secours (SIS) dans le département et détermine les objectifs de couverture de ces risques par ceux-ci ». Source : Guide SDACR, Ministère de l'intérieur, https://www.interieur.gouv.fr/content/download/121170/972425/file/2020.01.30_Guide_m%C3%A9thodologique_SDACR.pdf

Stratégie territoriale de prévention des risques en montagne (STePRiM) : voir Annexe 9

Annexe 4. Glossaire technique

Éléments concernant les risques naturels

Aléa :

Définition simple : évènement menaçant ou probabilité d'occurrence dans une région et au cours d'une période données d'un phénomène pouvant engendrer des dommages. Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Définition plus complète : Éventualité d'un phénomène ou d'une tendance physique, naturel ou anthropique, ou d'une incidence physique, susceptible d'entraîner des pertes en vies humaines (...), ainsi que des dégâts et des pertes matérielles touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture des services, les écosystèmes, et les ressources environnementales (GIEC, 2014). Pour estimer un aléa, il faut donc étudier un phénomène naturel suivant trois aspects : sa probabilité d'occurrence, son extension spatiale et son intensité (par exemple son énergie).

Zone source – zone de départ

En suivant les préconisations du service RTM, les zones sources seront ici définies comme l'estimation de l'extension spatiale maximale des « zones de départ » potentielles, qui peuvent devenir instable et se rompre.

Emprise

Zones maximales potentielles pouvant être atteintes par la propagation d'un phénomène.

Enjeux

Les personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, etc. susceptibles d'être affectés directement ou indirectement par des phénomènes naturels, c'est-à-dire situés dans les emprises ou affectés par les perturbations induites sur ces emprises.

Susceptibilité

Le RTM utilise cette notion comme le nombre de phénomènes pouvant atteindre un point. Cette susceptibilité caractérise donc les lieux les plus susceptibles d'être atteint par un phénomène naturel, indépendamment de la présence d'enjeux.

Exposition

Présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions, ressources ou services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu ou dans un contexte, susceptibles de subir des dommages. Source : GIEC, 2014.

Vulnérabilité

Propension ou prédisposition à subir des dommages. La vulnérabilité englobe divers concepts ou éléments, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter. Source : GIEC, 2014.

Risques

Conséquences éventuelles [= incidences ou impacts] et incertaines d'un évènement sur quelque chose ayant une valeur (...). Le risque résulte de l'interaction de la vulnérabilité, de l'exposition et des aléas (...). Source : GIEC, 2014.

Décennal, centennal, millennial : se dit d'un événement qui, dans une situation stationnaire, a une chance sur 10, sur 100 ou sur 1000 d'être dépassé chaque année. Cette notion probabiliste est difficile d'emploi dans les situations instationnaires comme les ROGP.

Éléments de description des phénomènes

EGP : événement glaciaire ou périglaciaire (dont la zone de départ est un glacier, un lac glaciaire, une zone de pergélisol (paroi, glacier rocheux). Les EGP sont à l'origine des ROGP (risques qu'ils occasionnent) mais généralement par le fait qu'ils déclenchent des événements génériques en montagne (EGM) ;

EGM : événement générique en montagne. Ces événements (avalanches, mouvements de terrain, coulées de boues, crues, laves torrentielles) peuvent être déclenchés par des précipitations abondances (pluie ou neige), le vent, des débâcles, etc... mais aussi des EGP situées dans les zones de haute montagne. Ces EGM causent des dommages dans les zones vulnérables et les activités qui en dépendent.

Avalanche

Avalanche : Écoulement gravitaire rapide de neige. C'est un phénomène naturel qui consiste en un déplacement d'une masse importante de neige (par opposition à une coulée de neige) à des vitesses dépassant le mètre par seconde (par opposition à la reptation, dont la vitesse se mesure en mm/jour). L'ordre de grandeur de la masse est le millier de tonnes, celui du volume est le millier de m³. La dénivelée se mesure en centaine de mètres. On distingue les avalanches poudreuses et de neige lourde (ou dense), qui ont des types de propagation et des effets très différents. Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Avalanche de glace : Écoulement gravitaire rapide de glace. Source : mission.

Torrents et laves torrentielles

Torrent : Les torrents sont des cours d'eau à pente forte (supérieure à 6 %) présentant des débits irréguliers et des écoulements très chargés. Ils sont générateurs de risques d'inondation accompagnée d'érosion et d'accumulations massives qui justifient une adaptation soignée de la détermination des aléas et des prescriptions. Dans un même torrent, on peut rencontrer les formes d'écoulement suivantes : des laves torrentielles, des écoulements hyper concentrés, des écoulements chargés simples (charriage et suspension classiques), des eaux claires. La rapidité des crues et des débordements rend l'alerte très difficile, sinon impossible.

Les rivières torrentielles constituent une catégorie de cours d'eau intermédiaire entre les torrents et les rivières. Leurs pentes étant de quelques unités pour cent, elles peuvent être le siège d'écoulements hyper-concentrés mais pas de laves torrentielles. On peut donc observer sur les rivières torrentielles les phénomènes suivants : crues et débordements rapides rendant l'alerte très difficile, affouillements intenses et/ou apports solides massifs dans le lit mineur et/ou sur le fond de vallée, ces phénomènes contraires pouvant se succéder au même endroit au cours d'une seule crue, et pouvant entraîner des déplacements du lit mineur dans le fond de la vallée.

Débâcle : voir embâcle.

Embâcle : Accumulation de matériaux (arbres, boue, rochers, glace, objets divers, etc.) transportés soit par la rivière elle-même lors d'une crue, soit par des apports provenant des versants (mouvements de terrains, avalanches, laves torrentiels, etc...) obstruant partiellement ou totalement l'écoulement d'un cours d'eau. Le démantèlement de cette accumulation peut être progressive ou brutale (débâcle). Source : mission

Lave torrentielle : Son déclenchement est lié à des précipitations météorologiques violentes, soudaines et concentrées, qui peuvent être accompagnées de grêle ou d'orage. La déstabilisation à une altitude élevée d'éléments solides dans une pente déclenche par les dévalements une importante accumulation d'énergie cinétique qui initie des vagues destructives impossibles à arrêter, érodant berges et zones de passage très rapidement et brutalement. Ces mélanges d'eau, de sédiments fins, d'éléments rocheux, de blocs parfois énormes, d'arbres, de graviers se déplacent à très grande vitesse. On observe un consensus pour différencier une coulée de boue d'une lave torrentielle : la première se déclenche en pleine pente sans forcément l'existence préalable d'un chenal (ravine, talweg, torrent, ou autre élément du système hydrographique), alors que la seconde y est liée entièrement. Source : wikipedia

Mécanismes concernant les glaciers

Glacier blanc : glacier. Inclut les glaciers dits bruns ou noirs (recouverts de débris).

Glacier froid : glacier dont la glace en profondeur et au contact du substratum est à température inférieure à la température de fusion. Ces glaciers sont « collés » à leur substratum.

Glacier tempéré : glacier dont la glace en profondeur et au contact du substratum est à température supérieure à la température de fusion. Ces glaciers, qui peuvent donc comporter une couche d'eau au contact du substratum, qui entraînent des vitesses de déplacement beaucoup plus rapides.

Glacier polythermique : glacier qui comporte des parties froides et des parties tempérées. Il peut se produire que des parties tempérées soient situées en amont de parties froides qui bloquent leur écoulement.

Lac proglaciaire : lac formé juste en aval d'un glacier lorsque celui-ci recule, dans l'espace ainsi dégagé avant la moraine frontale du glacier. La moraine ferme une dépression dans laquelle le lac peut s'installer. La rupture d'une moraine mise en pression par l'accumulation d'eau en amont peut constituer une débâcle brutale.

Lac supraglaciaire : lac formé à la surface d'un glacier.

Lac intraglaciaire et sous-glaciaire : poche d'eau qui se forme à l'intérieur ou sous un glacier.

Fluage : sous pression (par exemple de la charge d'une trentaine de m de glace située au-dessus) la glace devient plastique et referme le fond de la crevasse. Source : mission.

Langue terminale (d'un glacier) : dernière section du glacier qui s'achève généralement par un front raide qui se désagrège et fond au fur et à mesure de l'avancée du glacier.

Ablation (d'un glacier) : volume d'eau soustrait en aval d'un glacier par l'effet de la fonte de celui-ci. La zone où ce phénomène est actif est désignée comme zone d'ablation.

Recharge (d'un glacier) : volume d'eau apporté par les précipitations sur un glacier. Ces précipitations, sous forme de neige, forment des névés

Chaleur latente : énergie échangée lors d'une transition de phase (notamment liquide-gaz et liquide-solide). L'eau cède à son environnement de l'énergie quand elle passe de vapeur à liquide et de liquide à glace et inversement prélève dans celui-ci l'énergie dans le sens glace vers liquide et liquide vers vapeur. Par exemple, en gelant après avoir pénétré au cœur d'un glacier par une crevasse, l'eau réchauffe la base de cette crevasse. Source : mission.

Glacier lake outburst floods (GLOF) : les lacs glaciaires (qu'ils soient en supra-intra-sous- ou proglaciaires) peuvent se vidanger brutalement et occasionner des coulées de boue, des laves torrentielles, des crues de torrents, des avalanches. L'augmentation rapide du nombre et du volume de ces lacs glaciaires en raison du réchauffement climatique accroît les risques liés à ces phénomènes. Source : mission.

Pergélisol et glacier rocheux

Pergélisol (en anglais *permafrost*) : partie du sol dont la température se maintient en dessous de 0°C pendant plus de deux ans consécutifs. On distingue le pergélisol de paroi

Glacier rocheux : débris de roches tenus solidaires par de la glace.

Mouvements de terrain, coulées de boue

Érosion : Phénomènes externes (processus d'altération chimique et physique, dûs à la circulation de l'eau, l'action du vent, les mécanismes de gel-dégel) qui, à la surface du sol ou à faible profondeur, enlèvent tout ou partie des terrains existants et modifient ainsi le relief. Cette érosion est particulièrement active sur les versants de forte pente. Source : mission.

Coulée de boue : Mouvement rapide d'une masse de matériaux remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. Elle prend fréquemment naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain ou dans les terrains mis à nu par les activités humaines. Les matériaux susceptibles de perdre ainsi leur cohésion sont des argiles, des limons, des sols, des roches décomposées ou des éboulis fins. Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Mouvements de terrain : Manifestations du déplacement gravitaire de masses de terrain déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (fonte des neiges, pluviométrie anormalement forte, séismes, etc.) ou anthropiques (terrassement, vibration, déboisement, exploitation de matériaux ou de nappes aquifères, etc.) Ils recouvrent des formes très diverses qui résultent de la multiplicité des mécanismes initiateurs (érosion, dissolution, déformation et rupture sous charge statique ou dynamique), eux-mêmes liés à la complexité des comportements géotechniques des matériaux sollicités et des conditions de gisement (structure géologique, géométrie des réseaux de fractures, caractéristiques des nappes aquifères, etc.). Selon la vitesse de déplacement, deux ensembles peuvent être distingués :

- les mouvements lents, pour lesquels la déformation est progressive et peut être accompagnée de rupture mais en principe d'aucune accélération brutale : affaissements, tassements, fluage, glissement, retrait/gonflement de certains matériaux argileux,
- les mouvements rapides qui peuvent être scindés en deux groupes, selon le mode de propagation des matériaux, en masse, ou à l'état remanié. Le premier groupe comprend : les effondrements, les chutes de pierres ou de blocs, les éboulements ou écroulements, certains glissements rocheux. Le second groupe comprend : les laves torrentielles et les coulées boueuses. Source : <https://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

Granulométrie : Répartition en différentes classes de dimension des granulats (argiles, silts, sables, graviers, blocs). Cela concerne tant les mouvements de terrain que le transport solide des cours d'eau. Source : mission.

Lacs et réservoirs

Tsunami (sur un lac ou un réservoir artificiel) : onde de grande ampleur (générée ici par des ROGP se déversant dans la cuvette du lac ou du réservoir).

Run up : surélévation temporaire de l'eau due à la propagation d'une onde dans un lac ou un réservoir. Cette onde, qui n'a pas nécessairement l'ampleur d'un tsunami, peut être générée par un éboulement, une avalanche, une lave torrentielle se déversant brutalement dans la retenue.

Revanche : écart entre la cote d'un ouvrage et la cote du plan d'eau au remplissage normal maximal

Annexe 5. Organismes scientifiques et techniques

ADRGT : Association développement recherche glissement de terrain
AFPCNT : Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles et Technologiques
Anena : Association nationale pour l'étude de la neige et des avalanches
BFH : Haute école spécialisée bernoise
BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières
CEN : Centre d'études de la neige (Météo-France)
CEREMA : Climats et territoires de demain (MTECT)
CNRM-GAME : Centre national de recherches météorologiques - Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique
CNRS : Centre national de la recherche scientifique
EDYTEM : Environnements, DYnamiques et TERRitoires de la Montagne (unité mixte de recherche de l'Université Savoie Mont Blanc et du CNRS)
Etna : Érosion torrentielle, neige et avalanches (INRAE)
GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (en anglais IPCC)
IFSTTAR : Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (intégré désormais dans l'université Gustave Eiffel)
IGE : Institut des Géosciences de l'Environnement (OSU)
IGEMA : *Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente*
INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (fusion INRA – IRSTEA)
INSA : Institut national des sciences appliquées
IRD : Institut de recherche pour le développement
IRMA : Institut des risques majeurs
IRSTEA : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (anciennement Cemagref, désormais intégré dans l'INRAE)
LGGE : Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement
LTHE : Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement
Meteo-France
ONF : Office national des forêts
OSUG : Observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble
PACTE : Laboratoire de sciences sociales
RTM : restauration des terrains en montagne (ONF)
UGA : Université Grenoble Alpes
UGE : Université Gustave Eiffel
USMB : Université Savoie Mont-Blanc

Annexe 6. Exemples de phénomènes de très grande ampleur dans le Monde

Kolka-Karmadon, Ossétie du Nord, 2002 (140 morts)

Le 20 septembre 2002, une avalanche de roche et glace, suivie d'une lave torrentielle, tue plus de 150 personnes dans la vallée de Genaldon/Kardamon, massif du Kazbek (Ossétie du Nord, Caucase Russe). Initié sur les flancs du Dzhimarai-Khokh (4780m) le phénomène concerne une instabilité de masse rocheuse dans une zone de permafrost mais aussi un glacier polythermal suspendu. Le volume total déplacé s'élève à environ 100 Mm³ et comprend de Séminaire Gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire 12 et 13 mars 2012 – Grenoble WTC - Document préparatoire 17 la roche, de la glace, de la neige et de l'eau. La vitesse d'écoulement incroyablement rapide (jusqu'à 300 km/h) et la distance parcourue particulièrement longue (18km + 15 km de lave torrentielle) en font un cas extraordinaire de risque d'origine glaciaire et périglaciaire impliquant de multiples facteurs.

Réf. : Haeberli W., Huggel C., Kääh A., Zraggen-Oswald S., Polkvoj A., Galushkin I., Zotikov I., Osokin, N. (2004). The Kolka-Karmadon rock/ice slide of 20 September 2002: an extraordinary event of historical dimensions in North Ossetia, Russian Caucasus. *Journal of Glaciology*, 50: 533-546.

Glacier du Rutog, Tibet (Chine), 2016

Une avalanche de glace du glacier a représenté des volumes considérables (de l'ordre de 80 Mm³) et atteint le lac de Co Aru après une propagation dans une vallée étroite sur 6 km.



Figure 11 : Avalanche de glace du 17 juillet 2016, glacier du Rutog, Tibet, Chine. Source : Cairn.

Uttarakhand (Inde), 2021 (200morts)

Un morceau de glacier s'est détaché et a glissé dans la rivière himalayenne Dhauliganga. La brusque montée des eaux a emporté un barrage, des ponts et des routes. La plupart des 200 disparus sont des employés de la centrale électrique de Tapovan, proche d'un barrage qui a été rompu par la crue.

Annexe 7. Les glaciers des Alpes et des Pyrénées fondent de plus en plus vite

Le petit âge glaciaire (PAG), qu'Emanuel Leroy-Ladurie (1967) situe de la fin du XIV^e au milieu du XIX^e siècle, a été marqué, pour l'Europe occidentale, par des étés frais et des hivers très rigoureux ; et une forte expansion des glaciers et terrains englacés.

Selon Marie Gardent (2014) la superficie des glaciers des massifs du Mont Blanc, de la Vanoise et des Écrins était de 544 km² à la fin du PAG (vers 1860), 369 km² en 1967-1971 et 275 km² en 2006-2009. À l'échelle régionale, les glaciers ont perdu 25 % de leur superficie depuis la fin des années 1960 et 50 % de leur superficie depuis la fin du PAG. La rétraction des glaciers est environ 2,5 fois plus rapide entre 1967-1971 et 2006-2009 qu'entre la fin du PAG et 1967-1971. À l'échelle individuelle, les glaciers ont perdu en moyenne 52 % de leur superficie entre 1967-1971 et 2006-2009, et 115 ont disparu³².

Tableau 4 : L'accélération récente des pertes de masse des glaciers français. Source : C. Vincent, 2015.

1962-1982	1983-2002	Depuis 2002
0 (équilibrés)	-0,85 m eq. eau/an	[- 1,50 ; -1,80] m eq. eau/an

Tableau 5 : Estimation par massif de la surface des principaux glaciers blancs en France (source : L Ravanel, INRAE, 2022, pour la mission. D'après Gardent et al. (2014) <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.05.004>, pour ce qui est des données de 1967/71 à 2006/2009 inclus et Paul et al. (2020) <https://doi.org/10.5194/essd-12-1805-2020>, pour ce qui est des données de 2015.).

Surface englacée en km ²	1967/71	1985/86	2003	2006/09	2015
Mont Blanc (FR)	113,8	109,5	104,6	102,4	93,4
Vanoise	131,9	119,4	101,7	92,7	69,8
Ecrins	102,3	93,0	81,29	68,6	58,8
Autres massifs	21,15	18,2	12,7	11,7	6,7
Total Alpes françaises	369,2	340,2	300,7	275,4	229

Comme l'a indiqué à la mission L Ravanel, les données sont accessibles :

- Via l'interface du programme international GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space) : <https://www.glims.org/maps/glims> , pour ce qui est des données de 1967/71 à 2006/2009 inclus
- Via le lien suivant pour les données de 2015 : <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.909133>

Concernant les estimations des volumes, il existe actuellement deux jeux de données globaux à partir desquels les volumes de glace peuvent être quantifiés à l'échelle des massifs. Le plus récent a été publié dans l'article de Millan et al. (2022), <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00885-z>

Les données sont visualisables et librement téléchargeables via le portail "GLACIERS" du pôle national de données THEIA : <https://www.theia-land.fr/ceslist/ces-glaciers/>. L'outil de visualisation est : <http://maps.theia-land.fr/couches-cartographiques-theia.html?year=2022&month=07&collection=thickness&zoom=8&lat=45.813&lng=6.770>. Pour télécharger les données : <https://www.se-doo.fr/theia-publication-products/?uuid=55acbdd5-3982-4eac-89b2-46703557938c>

³² Le glacier de Sarenne, dans le massif des Grandes Rousses, par exemple, avait une surface de 1,25 km² en 1904 et était déjà réduit à 0,5 km² en 2016.

Tableau 6 : Données de base sur les glaciers et les surfaces à pergélisol par département en France (km²). Source : RTM, 2022.

	Pergélisol (>0,75)	Parois à pergélisol (>0,5)	Glaciers blancs (2008)	Glaciers rocheux (actifs et inactifs)	Lacs d'altitude
Alpes-de Haute-Provence	49	0	1	12	1
Alpes Maritimes	8	0	0	10	1
Hautes-Alpes	270	7	38	27	1
Haute-Savoie	148	27	95	3	0
Isère	141	7	24	5	3
Savoie	561	16	76	26	3
TOTAL	1176	57	233	83	8

Cette perte de masse concerne l'ensemble des Alpes (Encadré 8) et se traduit par des pertes de masse très sensibles et généralisées³³. Selon une équipe de Zürich (Huss et al., 2012), en 2100 et sans changement dans les précipitations dans un scénario +2°C (resp. 5°C) subsisteraient 18% (resp. 4%) des surfaces glaciaires alpines de 2003.

Encadré 8. La perte de masse des glaciers alpins. Source : <https://www.echosciences-grenoble.fr/articles/les-glaciers-alpins-dans-un-climat-en-evolution>

Les pays alpins (France, Suisse, Italie, Autriche) ont une longue tradition de mesures des bilans de masse. Ainsi, à partir de ces observations, une étude exhaustive récente a montré que le bilan de masse moyen de l'ensemble des glaciers suisses est de -0,62 m d'eau par an au cours de la période 1980-2010 (lame d'eau équivalente perdue en moyenne sur toute leur surface). Les massifs français, autrichiens et italiens des Alpes subissent à peu près le même sort. Par exemple, les bilans de masse des glaciers de la Mer de Glace et d'Argentière sont en moyenne de -0,90 et -0,80 m d'eau/an respectivement entre 1983 et 2016. Depuis 2003, la perte de masse s'accélère et les bilans de masse des glaciers alpins sont encore plus négatifs. Les bilans de masse des glaciers de la Mer de Glace et d'Argentière sont, en moyenne, de -1,70 et -1,40 m d'eau/an respectivement depuis 2003, révélant ainsi des pertes de volume de glace encore plus significatives.

Selon des simulations citées par Bernard Francou (présentation aux journées scientifiques du PNE, 22 novembre 2018), la Mer de Glace (Figure 12), plus grand glacier français, qui a reculé de 0.8 km entre 1958 et 2012 pourrait reculer d'ici 2040 de 1.0 km en climat constant et de 1.2 km avec un scénario de réchauffement (+4°C en 2100).

Selon les études de l'équipe ETNA, le glacier Blanc, dans le parc des Écrins (Figure 15) a amorcé un déclin similaire à celui qu'a connu vingt ans plus tôt le glacier de Sarennes dans le massif des Grandes Rousses (Figure 16).

³³ Un tel diagnostic est également fait dans l'ensemble des continents, mais avec des variations locales importantes : et des fluctuations liées aux grandes oscillations des circulations atmosphériques zonales : les glaciers maritimes norvégiens comme le Nigardbreen s'accroissent depuis 1990, c'est aussi le cas du Franz-Joseph glacier en Nouvelle-Zélande durant une phase chaude de 20 ans en 1983 et 2008, certains glaciers Himalayens sont à l'équilibre en raison de l'accroissement des précipitations et du maintien d'un niveau de froid suffisant.



Figure 12 : Évolution de la Mer de Glace. À gauche en 1895, au milieu en 2010, à droite : simulation 2040. Source : Présentation aux journées scientifiques du PNE, 22 novembre 2018, Christian Vincent, cité par Bernard Francou.

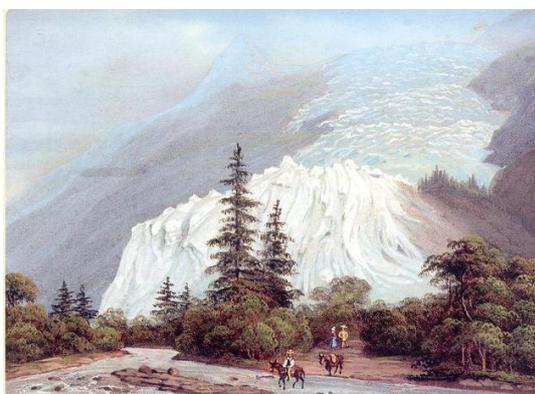


Figure 13 : Le glacier des Bossons (Chamonix, 74) à son extension maximale en 1860. Source : ? (internet)



Figure 14: le glacier des Bossons aujourd'hui. Le recul de la langue glaciaire a été estimé de l'ordre de 10 m/an entre 1860 et 1980 et 20 m/an depuis 1980. Source : ? (internet)

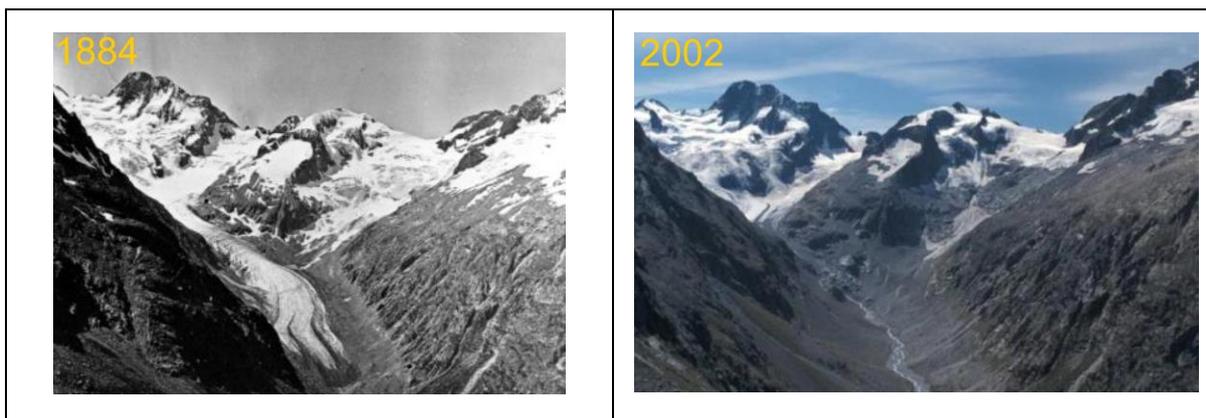


Figure 15 : Le glacier Blanc dans le massif des Écrins. À gauche en 1884 (photo H. Ferrand), à droite en 2002 (photo D. Roche, Parc national des Écrins). Source : Présentation aux journées scientifiques du PNE, 22 novembre 2018, M. Bonnefoy-Demongeot, E. Thibert, ETNA-Irstea, Grenoble.

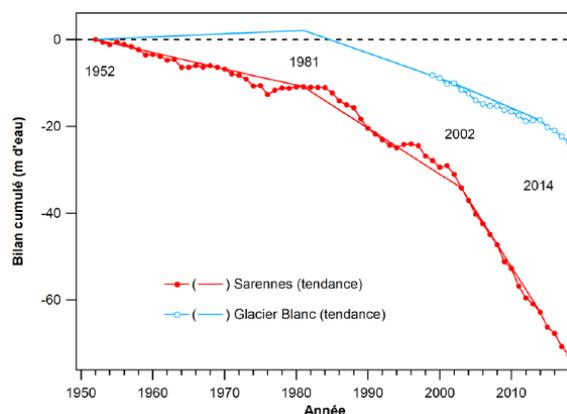


Figure 16 : Évolution comparée des bilans de masse du Glacier Blanc et du Glacier de Sarennes. Source : Présentation aux journées scientifiques du PNE, 22 novembre 2018, M. Bonnefoy-Demongeot, E. Thibert, ETNA-Irstea, Grenoble.

Des modifications en profondeur de la température de la masse glaciaire

Les processus de transferts d'énergie au sein des glaciers sont complexes, mais peuvent affecter très profondément en quelques décennies les équilibres thermiques de glaciers même d'épaisseur très significative. Ils sont désormais suffisamment compris pour que la modélisation rende compte très raisonnablement des rares chroniques disponibles en France de profils de température. Le suivi depuis 1994 d'un forage situé dans le col du dôme du Goûter (massif du Mont-Blanc, alt. 4250m) et qui domine le glacier de Taconnaz a permis d'établir un modèle robuste (Figure 17).

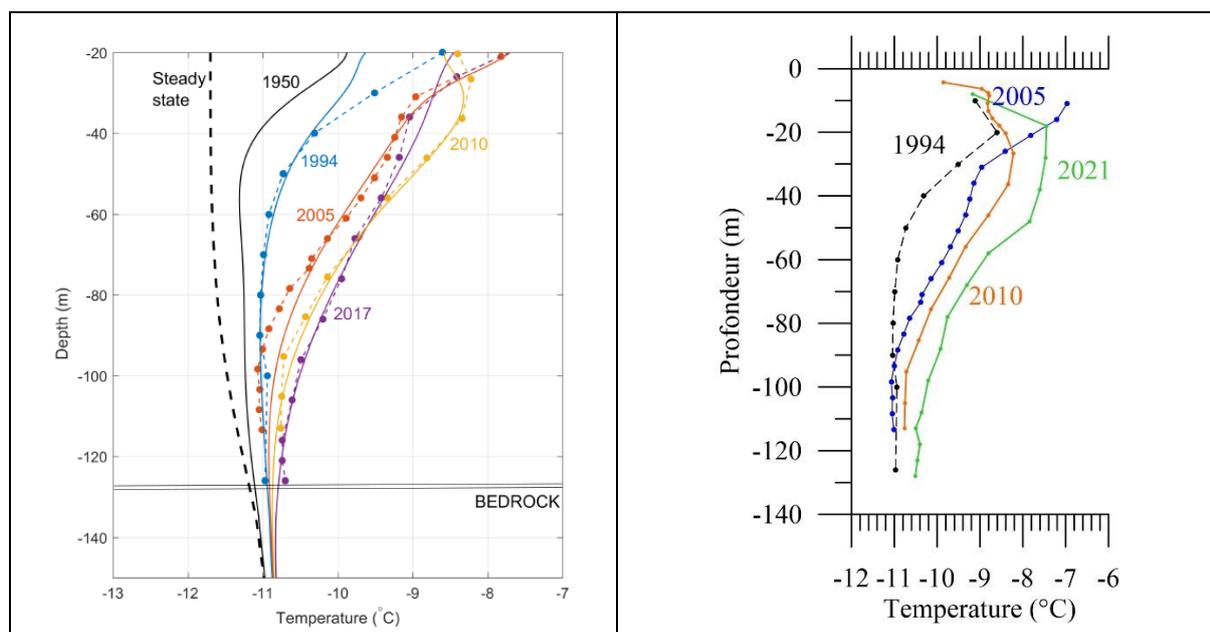


Figure 17 : Évolution des profils de température de la glace au dôme du Goûter Source : Vincent C. et al., 2020. Données complétées par l'auteur en incluant les mesures de l'année 2021 (figure de droite). Dans la figure de gauche, les mesures sont représentées de points reliés par des pointillés. Les simulations sont présentées en trait continu. La situation dite d'équilibre (tireté noir) est la reconstitution d'un profil stationnaire fictif et a été utilisée pour initialiser les simulations en 1907.

Annexe 8. Méthodologie suivie par le RTM pour l'élaboration des cartes d'aléas et de risques d'origine glaciaire et périglaciaire.



Note technique explicitant l'analyse grande échelle sur les phénomènes glaciaires et périglaciaires

Introduction

Le Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT) est investi depuis plusieurs années pour la prévention des Risques d'Origine Glaciaire et Périglaciaire (ROGP). En 2021, sur commande du MTECT, l'ONF a conduit une analyse de la sensibilité des territoires aux risques glaciaires sur les Alpes Françaises. L'objectif de ce travail est d'évaluer ce que peuvent représenter les ROGP sur ce massif et d'identifier les sites prioritaires à expertiser.

Analyse automatique grande échelle

En 2021 l'ONF-RTM a mené un travail de modélisation large échelle à partir de données cartographiques. L'objectif étant de caractériser de façon grossière les emprises que pourraient représenter ces aléas d'origine glaciaire/périglaciaire. Ce travail a consisté à

- Regrouper les données d'inventaires sur les différentes formes géomorphologiques : glaciers blancs/ glaciers rocheux/ lacs/ paroi à permafrost. Les poches d'eau n'ont pas été traitées dans cette analyse faute de donnée (phénomène non décelable à grande échelle).
- Identifier par des critères simples et automatisables à grande échelle, les zones sources au sein de ces différentes formes pouvant générer un aléa.
- Modéliser simplement sans notion de volume, les emprises possibles d'atteinte liés à ces phénomènes : avalanche de glace, lave torrentielle, débâcle glaciaire, effondrement de paroi. Le choix des paramètres de modélisation a été volontairement plutôt maximaliste. Ces modélisations reposent sur un simple principe de ligne d'énergie (on fixe une pente minimale entre la zone de départ et la zone d'arrivée).
- Travailler une couche d'enjeux à partir de la BD Topo pour permettre un croisement avec les emprises produites.
- Agréger à l'échelle de bassins versants les enjeux atteints pour hiérarchiser les bassins versants entre eux selon une note de sensibilité.

Limites et suite du travail

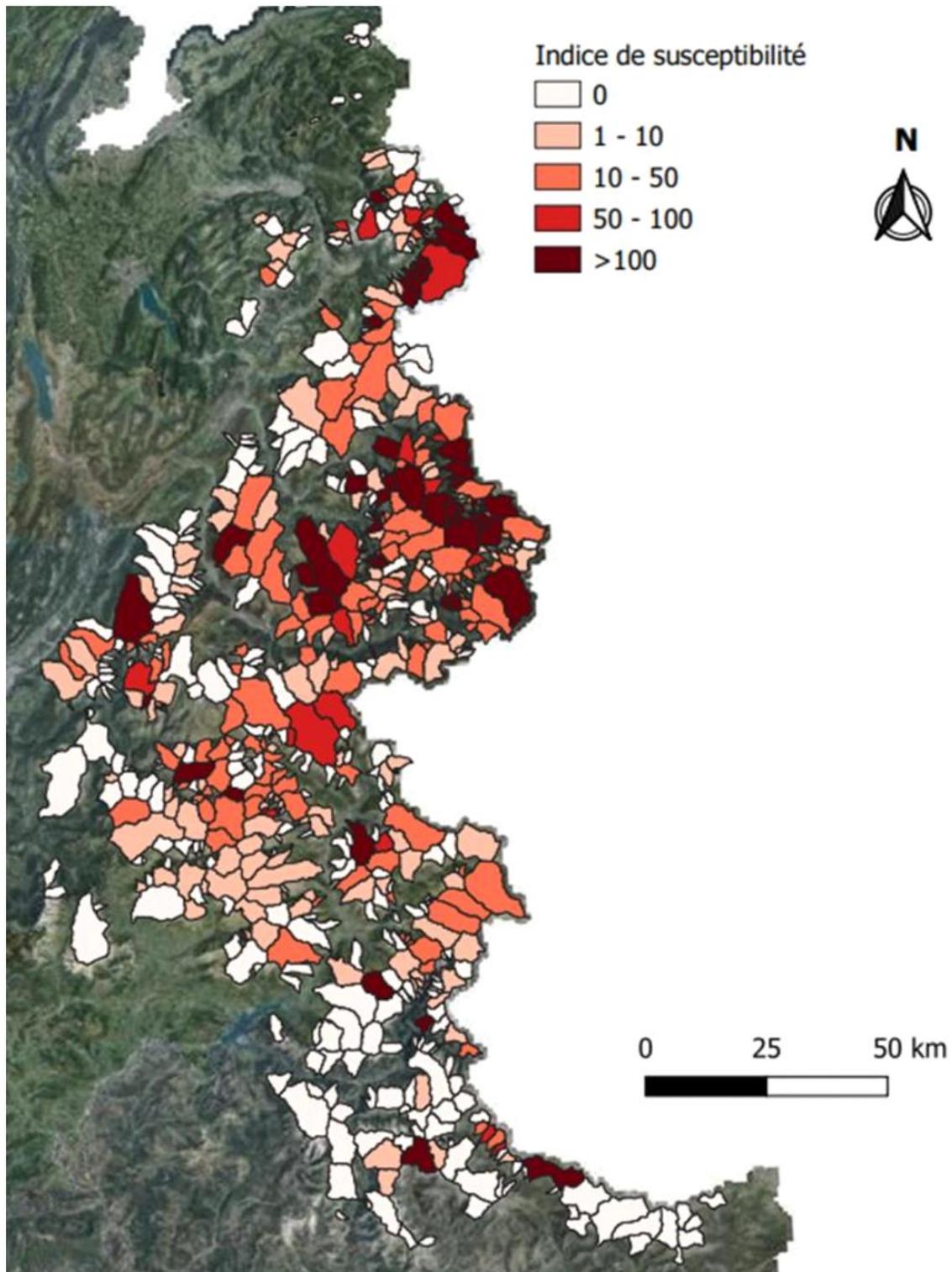
Cette analyse grande échelle et automatique doit être prise avec précaution en particulier car :

- L'analyse des zones sources est peu sélective et basée uniquement sur des critères disponibles sans visite terrain. Par exemple tous les lacs sont considérés comme pouvant générer des débâcles, ce qui n'est naturellement pas le cas.
- L'analyse n'inclut pas de notion de volume pour les zones sources. Ainsi 1 pixel d'une paroi rocheuse peut engendrer un éboulement massif.
- L'analyse a été faite avec une donnée topographique de qualité moyenne. Ainsi certaines zones sources situées en crête vont dans la modélisation impacter deux vallées au lieu d'une.

Malgré tout, cette analyse a permis de faire émerger 360 bassins de risques possiblement concernés par des risques glaciaires sur les 604 bassins initialement identifiés. Par ailleurs cette hiérarchisation fait ressortir 70 bassins de risques ayant une sensibilité plus forte.

Aussi sur la base de cette hiérarchisation, les services RTM réalisent une confrontation à dire d'expert de l'analyse automatique (sans visite de terrain dans un premier temps). Si cette confrontation permet d'exclure facilement des risques glaciaires un avis synthétique est rédigé pour motiver cette décision. Dans le cas contraire un avis plus approfondi mobilisant une visite terrain est rédigé. Cet avis approfondi doit conclure sur la nécessité ou non de mener des actions complémentaires pour la prévention des ROGP sur ce bassin. Cette démarche devrait s'écouler sur la période 2022-2025 et conduire à la rédaction d'avis qui seront diffusés aux services déconcentrés à la fin de chaque année.

Cartographie des susceptibilités des bassins de risques aux Risques d'Origines Glaciaires et Périglaciaires selon la méthode automatique grande échelle menée en 2021



Note technique explicitant l'analyse grande échelle sur les phénomènes glaciaires et périglaciaires 2

Principaux critères de choix retenus dans la méthode automatique et grande échelle

Formes géomorphologiques	Inventaire	Zones sources	Angle d'énergie retenu pour le modèle MSF
Glaciers blancs	Charlie Serrano et Al, 2019	Pente > 45° ou pente > 25° et indice de permafrost < 1	Avalanche de glace - 17°
Glaciers rocheux	ONF- RTM, 2021	Utilisation analyse experte du RTM	Phénomène torrentielle - 17°
Lacs glaciaires	Charlie Serrano et Al, 2019	Superficie > 2500m ²	Phénomène torrentielle - 17°
Parois à permafrost	Maeva Cathala et Al, 2019	Pente > 25° et température annuelle de paroi [-6 et 4°]	Eroulement - 26°

Références

ONF - Service RTM (2021a), Méthodologie « à dire d'expert » pour délimiter sur SIG les zones de départ probables au droit des GR « à risque » et les emprises d'aléas résultants.

ONF - Service RTM (2021b), Hiérarchisation des Bassins de Risques., 45 p.

Inventaire glaciers : "Serrano, Charlie ; Gardent, Marie ; Bonnefoy-Demongeot, Mylène ; Thibert, Emmanuel ; Richard, Didier, 2019. Action 5.4.3 - Plan d'Actions pour la Prévention des Risques d'Origines Glaciaires ou périglaciaires (PAPROG). Saint-Martin-d'Hères : Irstea. Unité de recherche ETNA Erosion torrentielle, neige et avalanches. 22 p." & "Rabatel, Antoine, 2020. Mise à jour de l'inventaire des glaciers des Alpes françaises. Saint-Martin-d'Hères : IGE Institut des géosciences et de l'environnement. 24 p."

Inventaire lacs : "Serrano, Charlie ; Gardent, Marie ; Bonnefoy-Demongeot, Mylène ; Thibert, Emmanuel ; Richard, Didier, 2019. Evaluation de l'aléa de lave torrentielle et du risque engendré liés aux ruptures de lacs glaciaires et périglaciaires. Saint-Martin-d'Hères : Irstea. Unité de recherche ETNA Erosion torrentielle, neige et avalanches. 25 p."

Inventaire permafrost de paroi : « "Cathala, Maëva ; Magnin, Florence, 2019. Cartographie du permafrost de paroi et des parois à permafrost les plus actives des Alpes françaises. Le Bourget-du-Lac : EDYTEM Environnements dynamiques et territoires de montagne. 16 p."

Glacier Rocheux : "ONF-RTM, 2021. Bilan de l'action 2020 : glaciers rocheux et risques associés. Grenoble : ONF. Département risques naturels. Pôle RTM. 14 p."

Annexe 9. Les outils de prévention et de gestion de crise existants

Ces risques ne font pas l'objet des procédures de PPR, ni d'outil de contractualisation bien connus et rodés comme les PAPI...

Les réflexions partagées lors des Assises Nationales des Risques Naturels (ANRN) en 2012 sur l'opportunité de mettre en place des Programmes d'Actions pour la Prévention des Aléas de Montagne (PAPAM) (inspirés des Programmes d'actions de Prévention des Inondations – PAPI). L'appel à projet STePRiM Cet appel à projet a pour objectif d'aider les collectivités à promouvoir et mettre en œuvre, selon une approche multipartenariale, des démarches pilotes de prévention de l'ensemble des risques naturels qui caractérisent les territoires de montagne, dans une logique de gestion intégrée des risques naturels (GIRN). Cet appel à projets a été reconduit en 2019. À ce jour, 4 dossiers STePRiM ont été labellisés dans le massif alpin :

- STePRiM Drac amont, porté par la Communauté Locale de l'Eau du Drac Amont (CLEDA), sur un périmètre couvrant 26 communes réparties sur 4 ComCom ;
- STePRiM Serre-Ponçon Val d'Avance, porté par la Communauté de communes Serre-Ponçon Val d'Avance (CCSPVA), couvrant 16 communes ;
- STePRiM Briançonnais, porté par la Communauté de communes du Briançonnais (CCB), couvrant 13 communes ;
- STePRiM Serre-Ponçon, porté par la Communauté de communes de Serre-Ponçon (CCSP), couvrant 17 communes.

Source : <https://risknat.org/dispositif-steprim-strategie-territoriale-pour-la-prevention-des-risques-en-montagne/>

Annexe 10. Les risques qui affectent les infrastructures en haute montagne

Dans le contexte de réchauffement climatique et de dégradation (réchauffement) du permafrost, les infrastructures deviennent vulnérables face à d'éventuelles déstabilisations de leurs terrains porteurs.

Une grande partie des formulations de cette annexe sont empruntées au rapport Interreg Alcotra AdaPT'Mont Blanc « Rapport Climat Changements climatiques dans le massif du Mont-Blanc et impacts sur les activités humaines » de novembre 2019.

Dans les Alpes françaises, des travaux de recherche sont actuellement menés dans le cadre du projet EU-POIA PermaRisk (en particulier par P.-A. Duvillard). Il vise à :

- (1) identifier l'ensemble des infrastructures construites en contexte de permafrost,
- (2) réaliser un inventaire le plus exhaustif possible des dommages subis par ces infrastructures sur la base d'enquêtes réalisées auprès des gestionnaires,
- (3) identifier les principaux processus géomorphologiques responsables des désordres géotechniques.

Le recensement des éléments d'infrastructures (par exemple un pylône) sous Système d'Information Géographique a d'abord été réalisé en utilisant différentes sources d'informations dont des cartes de distribution du permafrost (par ex. : Magnin et al., 2015) pour les parois et les formations superficielles, à l'échelle de massifs ou à celle des Alpes françaises. Au total, 947 éléments d'infrastructures sont présents sur des terrains à permafrost. 74 % d'entre eux sont des composantes de remontées mécaniques (Duvillard et al., 2015, complété).

Le travail d'enquête réalisé auprès des gestionnaires et exploitants d'infrastructures des stations concernés par le permafrost a permis de dresser un inventaire des dommages. D'après les informations qui ont pu être rassemblées, plus d'une quinzaine d'infrastructures des Alpes françaises a connu des dommages très vraisemblablement liés au permafrost sur les 30 dernières années. Ces infrastructures ont été endommagées (affaissements, basculements, détérioration des fondations ou ancrages) puis généralement réhabilitées (ajustements, consolidations ou reconstructions), mais parfois sans solution géotechnique à long terme. On observe par ailleurs une augmentation relative du nombre des structures endommagées sur les deux dernières décennies (9 cas entre 2000 et 2010 contre le double sur la période 2010-2018) et une augmentation des coûts de maintenance (Duvillard et al., 2019). Ce travail n'est toutefois pas exhaustif du fait d'un manque d'informations pour certaines stations de haute altitude mais il est certainement révélateur d'une évolution générale dans les Alpes.

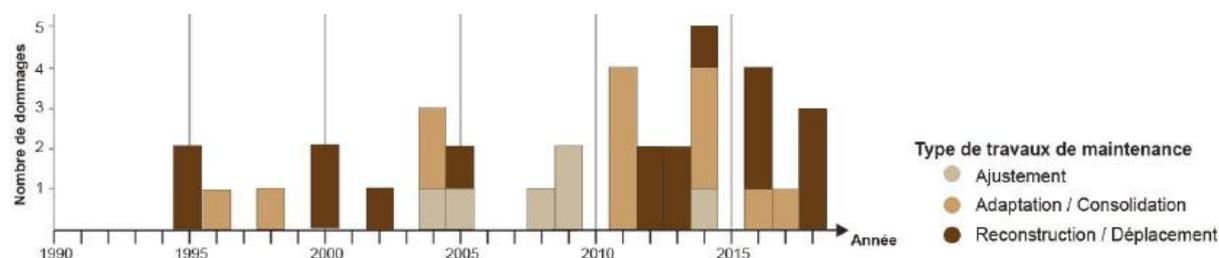


Figure 18 : Évolution du nombre de dommages et travaux de maintenance sur les infrastructures présentes en contexte de permafrost dans les Alpes française pour lesquelles des informations ont été réunies (Duvillard et al., 2019).

La majorité des dommages a été identifiée au niveau de terrains riches en glace comme des glaciers rocheux. Ils auraient sans doute pu être anticipés et/ou évités avec des diagnostics et études géotechniques plus détaillés et prenant mieux en considération la question du permafrost. Les processus géomorphologiques à l'origine des déstabilisations d'infrastructures sont essentiellement des processus lents, parfois déclenchés par des perturbations anthropiques. Anticiper les instabilités nécessite de préciser les quantités de glace présentes dans les terrains ainsi que la

température de ces derniers. Cela représente un véritable challenge pour garantir la stabilité des infrastructures construites en haute montagne et notamment sur des parois rocheuses. Même s'il existe assez peu d'infrastructures installées dans de telles parois dans les Alpes françaises, elles sont particulièrement sensibles, à l'image du refuge des Cosmiques installé sur une arête rocheuse (3613 m, massif du Mont-Blanc). En 1998, un écoulement rocheux de 600 m² survenu sur le versant SE avait entraîné la déstabilisation d'une partie du bâtiment, nécessitant d'importants travaux de confortement (Ravel et al., 2013). Le secteur fait aujourd'hui l'objet d'un suivi géophysique et thermique afin de préciser l'évolution actuelle du permafrost. Face à l'évolution très rapide des milieux de haute montagne (Bodin et al., 2015), deux perspectives de recherche sont à envisager pour poursuivre le développement des connaissances nécessaires à une gestion efficace des infrastructures de haute montagne. Il est notamment nécessaire i) de poursuivre l'inventaire des dommages pour approfondir les connaissances en termes géotechniques sur les terrains à permafrost. Ce panel d'expériences permettra ii) de proposer des solutions techniques concrètes ainsi que des recommandations techniques de maintenance ou de construction pour les gestionnaires d'infrastructures.

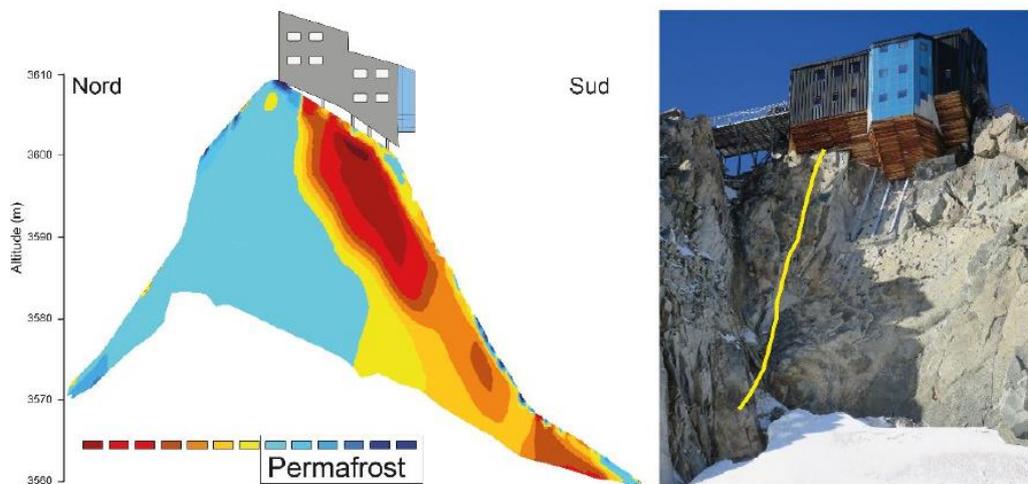


Figure 19 : distribution du permafrost au sein de l'arête des Cosmiques par tomographie électrique. Source : wikipedia.

Si le massif du Mont-Blanc a été l'un des premiers territoires concernés par le tourisme glaciaire avec une mise en tourisme des « Glacières » dès 1741, il reste aujourd'hui un territoire d'exception pour qui souhaite observer ou fouler la glace. Est ici considéré comme site touristique glaciaire tout lieu touristique ayant comme principal élément attracteur un glacier, les formes géomorphologiques qui lui sont liées ou les témoignages qu'il a laissés dans le paysage.

Selon cette définition, sur les 51 « sites d'importance » recensés dans l'arc alpin par E. Salim dans le cadre de sa thèse de Doctorat (2018-2021) dont une partie est intégrée au projet AdaPT Mont-Blanc, le massif du Mont-Blanc en compte 10 répartis entre France, Suisse et Italie. Si quatre de ces sites sont des refuges de montagne, des hôtels ou de petits sites proches de glaciers, les six autres constituent des sites touristiques majeurs à l'image, en France, de l'Aiguille du Midi (3842 m) et du Montenvers – Mer de Glace (1913 m) qui constituent les deux principales attractions touristiques de la région Auvergne Rhône-Alpes en termes de nombre de visiteurs (données Savoie-Mont-Blanc-Tourisme). En Italie, c'est l'accès à la pointe Helbronner (3462 m) par le téléphérique « Skyway » qui constitue une importante ressource touristique.

Au Montenvers qui accueille chaque année près de 400 000 visiteurs (donnée CMB), l'épaisseur de glace a diminué de plus de 200 m en un peu plus de 150 ans. La gestion du site nécessite dès lors la mise en place annuelle de nouvelles marches d'escalier (534 en 2019) pour atteindre le glacier et la pérennité de la grotte de glace, creusée chaque année depuis 1946, n'est plus assurée. À ces questions s'ajoute la problématique de la dégradation du paysage causée à la fois par le retrait du glacier et par le développement d'une couverture détritique (couche de débris rocheux) à sa surface. Dans ce cadre, les gestionnaires d'infrastructures ont besoin de mieux connaître les choix et perceptions de leur clientèle afin de mettre en œuvre des modalités d'adaptation.

Annexe 11. Exemples de cas connus et traités de ROGP en France

Les présentations qui suivent sont extraites de divers documents élaborés dans le cadre du programme Paprog, notamment à l'occasion de ses séminaires.

Lac proglaciaire d'Arsine, 1986 : Ce petit lac, apparu dans les années 50, à la suite du retrait du glacier, s'était développé progressivement au fil des années à l'intérieur de moraines épaisses et bien étanches. En 1985, le volume du lac atteignait 800 000 m³ et le niveau du lac n'était plus qu'à 2 mètres de la moraine. A la lumière des expériences des lacs péruviens, le débordement de l'eau sur la moraine ne pouvait conduire qu'à une catastrophe : la moraine se serait érodée très rapidement et la vidange du lac aurait déversée 800 000 m³ d'eau dans la vallée de la Guisane. De nombreuses habitations, du village du Casset jusqu'à Briançon, étaient concernés. Le Laboratoire de Glaciologie de Grenoble avertit le préfet et le service de Restauration des Terrains en Montagne fit conduire des travaux de génie civil au printemps de 1986 afin d'abaisser le niveau du lac et d'écarter le danger. (d'après http://www.risknat.org/risques-glaciaires-et-periglaciaires/document_preparatoire_seminaire_ROGP.pdf)

Réf. : Richard, D, and Gay, M (eds.) (2004) D4: Monitoring of the most representative glaciers: Survey and prevention of extreme glaciological hazards in European mountainous regions. Proceedings, Vol. 2

Le glacier de Rochemelon à la frontière franco-italienne comprend un lac glaciaire et alimente le torrent du Ribon (vallée de la Haute Maurienne). Suite à un suivi dans le cadre du programme européen Glaciorisk de 2001 à 2003, il a été analysé de façon approfondie et des travaux en 2004 puis une purge complète en 2005 ont été réalisés en raison du danger

Ref : rapport RTM de 2016.

Glacier de Tête-Rousse, été 2010 En 1892, la rupture brutale d'une poche d'eau du glacier de Tête Rousse affecta la commune de Saint Gervais (Haute-Savoie, France), causant 175 décès et d'énormes dégâts. Suite à cet événement, une galerie fut creusée afin de drainer la langue du glacier. Cette galerie a été régulièrement entretenue tout au long du 20^e siècle. En 2004, le service RTM 74 voulu savoir si cette galerie de surveillance était toujours utile et méritait de continuer à être entretenue. La question fut posée aux glaciologues du LGGE, qui lancèrent une campagne de prospection géophysique en collaboration avec d'autres scientifiques (LTHE, LGIT, 2007-2009). Les mesures radar mirent en évidence une anomalie qui nécessita d'être caractérisée plus précisément.

Fin 2009, la méthode RMP (Résonance Magnétique des Protons) révéla une poche d'eau de 60 000 m³ sous pression. En mars 2010, le LGGE alerta le préfet de la Haute-Savoie et le maire de St Gervais d'un risque possible de vidange brutale. Après de nouvelles études complémentaires qui confirmèrent le risque, les autorités décidèrent conjointement en juillet de mettre en place un plan de sécurité : (1) des opérations de forage et pompage d'une part pour drainer artificiellement la poche d'eau et (2) dans le même temps un système de protection civile incluant un système d'alerte et un plan d'évacuation géré par le SDIS. La population était régulièrement informée par des réunions ; 3500 personnes étaient concernées.

D'après les études historiques de 1892, les gens disposaient de 10 à 30 minutes pour évacuer selon leur lieu d'habitation le long du torrent. Le service de Protection Civile (SIDPC) coordonna la « cellule de gestion de crise ». Mi-août le système d'alerte était opérationnel. Une information appropriée, précise et régulière à la population (habitants et touristes) évita la panique. Les opérations de pompages commencèrent le 10 août et la pression chuta rapidement ; une nouvelle crainte émergea une fois les premiers milliers de mètres-cubes pompés avec succès, liée au possible effondrement du toit de la cavité. Les scientifiques furent à nouveau sollicités pour donner des réponses en urgence, en modélisant le comportement de la cavité. Dans le même temps la gendarmerie fut mobilisée pour mettre en place un système de surveillance en continu sur le glacier et déclencher l'alerte en cas de besoin.

Finalement, début octobre 2010, 48 000 m³ d'eau avaient été évacuée et le risque éliminé. Ainsi en 2010 une éventuelle catastrophe, similaire à celle de 1892, a pu être évitée grâce à (1) une collaboration étroite entre tous les acteurs impliqués dans le cycle de gestion des risques et (2) la mémoire vivante d'un événement ancien. Ce cas peut donc être considéré comme un exemple de bonne pratique de gestion intégrée des risques.

Réf. : Patriarca, E., P. Tournaire (2010) Menace sur St Gervais. Ed. Catapac, 105p. Vincent, C., S. Garambois, E. Thibert, E. Lefebvre, E. LeMeur and D. Six (2010) Origin of the outburst flood from Tête Rousse glacier in 1892 (Mont-Blanc area, France). *Journal of Glaciology*, 56, (198) 688-698. Gagliardini O., F. Gillet-Chaulet, G. Durand, C. Vincent and P. Duval (2011). Estimating the risk of glacier cavity collapse during artificial drainage: the case of Tête Rousse Glacier. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L10505, doi:10.1029/2011GL047536 Legchenko, A., M. Descloitres, C. Vincent, H. Guyard, S. Garambois, K. Chalikakis, and M. Ezerski (2011), 3D magnetic resonance imaging for groundwater, *New J. Phys.*, in press. Vincent, C., M. Descloitres, S. Garambois, A. Legchenko, H. Guyard, E. Lefebvre, and A. Gilbert (2011), A potential catastrophic subglacial lake outburst flood avoided in the Mont Blanc area, *Geophysical Research Letter*, submitted.

Glacier de Taconnaz (Haute-Savoie) Les chutes de séracs de Taconnaz menacent une zone habitée dans la vallée de Chamonix. Elles présentent un risque lorsque le manteau neigeux hivernal, à l'aval de la chute, est instable. Elles peuvent alors déclencher une avalanche de neige et de glace et descendre jusqu'en bas de la vallée comme ce fut le cas en 1988, 1999 et en 2006. L'examen des dépôts de l'avalanche a montré, à chacun de ces événements, des proportions très significatives de glace. Cette chute de séracs, le débit de glace, la fréquence et les volumes de glace mis en jeu, ont été étudiés par le LGGE au cours du projet Glaciorisk. Des études se poursuivent, notamment dans le cadre du projet GlariskAlp, avec le LGGE (mesures photogrammétriques aériennes et au sol, radar au sol et héliporté) et le VAW Zürich (mesures micro-sismiques). En outre, une étude sur le régime thermique du glacier est engagée dans le cadre du programme européen Acqwa (2008-2012).

Réf. : Le Meur, E. and C. Vincent (2006) Monitoring of the Taconnaz ice fall (french Alps) using measurements of mass balance, surface velocities and ice cliff position. *Cold Regions Science & Technology*, 46, (1) 1-11. Gay et al.

Glacier du Fond de Chauvet (face Nord du Massif du Chambeyron).

C'est l'unique représentant des « glaciers de vallon » dans les Alpes du sud. Il occupe le fond d'un vallon suspendu entre 2850 et 3160 m. Avec sa superficie de 15 ha, il est le résidu couvert de blocs d'un appareil qui fut au "Petit Age de glace" un des plus importants des Alpes méridionales. Ce glacier est en fait un "glacier noir" entouré d'un "glacier rocheux" qui est un mélange de pierre, de rochers et de terre gelés en permanence. Dans le vallon de Chauvet, les températures permettent la présence d'un sous-sol gelé en permanence (pergélisol) car l'isotherme 0°C est actuellement situé à 2 400 m d'altitude. Aujourd'hui, le glacier est en recul, libérant une vaste marge pro-glaciaire à faible pente : le Plan de Chauvet. Actuellement le glacier du Fond de Chauvet s'est réfugié dans le fond du vallon entre 2 820m et 3160 m d'altitude.

La première originalité de ce glacier tient dans la vaste étendue remplie de glaces mortes (800 m de long) formant le Plan de Chauvet et le versant Nord de l'Aiguille du Chambeyron. Le second point d'intérêt est constitué par les vidanges, de types crue brutale, qui trouvent leur origine dans les eaux de fusion glaciaire et qui dévastent le vallon de Chauvet jusqu'à l'Ubaye. Périodiquement des poches d'eau se forment au niveau du cryokarst. Celles-ci conjuguées avec la fonte de la neige et les précipitations constituent un lac "supraglaciaire" qui s'évacue par des vidanges glaciaires soudaines, dévastant tout sur son passage, en véritable "chasse d'eau".

Depuis 1930, 6 vidanges se sont produites dont les plus récentes 1997 et 2008. Le 25 juillet 1997 et le 17 juillet 2008, 80000 m³ d'eau se sont écoulés dans la pente arrachant tout et déposant près de 40000 m³ de terre, arbres dans l'Ubaye l'obstruant en partie, provoquant un risque d'embâcle et débâcle très dangereux pour les installations situées à l'aval (camping, ponts etc.). Le glacier de Chauvet a été étudié dans la cadre du projet Glaciorisk. D'autre part, des prospections scientifiques ont commencé en 2009, en partenariat entre l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg et l'Etat, pour connaître la profondeur et la composition du glacier. Elles devraient être poursuivies pour connaître la nature du verrou (roche, glace, pergélisol...), estimer sa solidité, et ainsi estimer une

probabilité de rupture. En 2010 une étude de stabilité du barrage du glacier rocheux a été réalisée par une étudiante en master 1 de l'EOST de Strasbourg. En complément, un levé Lidar aérien permettrait de connaître et quantifier les possibilités de dépôt de matériaux le long du chenal de vidange. Ceci permettrait d'en déduire une estimation du volume de matériaux qui pourrait atteindre la confluence avec l'Ubaye, en cas de vidange brutale.

Réf. : Buckel, C. 2010. Etude de la stabilité du glacier rocheux du Fond de Chauvet. Mémoire de stage, Master 1 'Sciences de la Terre', Université de Strasbourg, Strasbourg, France, 38p. et annexes. Assier, A., Evin, M. 1995. Cryokarst et vidanges glaciaires au glacier de Chauvet. (Haute-Ubaye, Alpes Françaises du Sud). In: Griselin, M. (Ed): Actes du 3è Symposium International 'Cavités glaciaires et cryokarst en régions polaires et de haute montagne'. Annales Littéraires de l'Université de Besançon, Série Géographie, 561(34), pp. 83-87. Evin, M. 1990.

Glacier rocheux de Bérard - La Condamine-Châtelard (04)

Le glacier rocheux de Bérard, situé dans le massif de Parpaillon (Alpes du Sud), fait 250 m de long et 100 m de large. A la fin de l'été 2006, la partie frontale s'effondra complètement en quelques semaines. Un volume total d'environ 1,7 millions de m³ de matériaux (glace et débris rocheux) s'est répandu sur 13 ha sur une pente moins raide 150 m à l'aval et a été repris par une lave torrentielle. Des signes de déstabilisation étaient déjà visibles en 2004, avec la formation d'une crevasse transversale de 80m de long.

Il s'agit actuellement du seul cas connu d'écroulement de glacier rocheux dans les Alpes. Il pose donc de nombreuses questions sur les facteurs qui ont favorisé son évolution. Les mesures pour comprendre les causes de la rupture comprennent une étude du régime thermique de la surface du sol, une Séminaire Gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire 12 et 13 mars 2012 – Grenoble WTC - Document préparatoire 1692 étude des déplacements horizontaux et verticaux et une campagne de prospection géophysique (tomographie électrique et sismique).

Ce cas est à rapprocher du cas du Cerro Las Tortolas (Andes, Chili) : l'écroulement du glacier rocheux en novembre 2006 a couvert 0.12 km², et une part importante des matériaux a été canalisée dans une gorge générant un flux hyper-concentré de neige, glace, eau et débris rocheux sur une distance de 3 km. Dans les 2 cas, la topographie convexe du terrain a pu favoriser une déstabilisation progressive du glacier rocheux ; le déclenchement des mouvements peut coïncider avec un apport massif d'eau de fonte et de précipitations.

Réf. : Krysiecki, J.-M. 2008. La rupture du glacier rocher du Bérard (Massif du Parapaillon, Alpes-de-Haute-Provence, 04) : un cas de dégradation du pergélisol de montagne ?. Mémoire de Master 2 'Evaluation et Gestion de l'Environnement et des Paysages de Montagne', Université Joseph Fourier, Grenoble, France, 139p. Krysiecki J.-M. (2009). Rupture du glacier rocheux du Bérard (Alpes de Haute Provence) : analyses géomorphologiques et premiers résultats du suivi mis en place sur le site. Environnements Périglaciaires, n°16, 65-78. Schoeneich P., Dall'Amico M., Deline P., Zischg A., eds (2011). Hazards related to permafrost and to permafrost degradation. PermaNET project, state-of-the-art report 6.2. On-line publication ISBN 978-2- 903095-59-8. www.permanet-alpinespace.eu

Glacier rocheux de Bellecombe.

Il représente un enjeu économique important puisqu'il concerne des installations du domaine skiable des Deux-Alpes (pylônes du télésiège et gare d'arrivée). Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, le risque que peut faire courir l'évolution du permafrost n'est pas négligeable. A titre préventif, lors de travaux sur les installations en 2005, un certain volume de permafrost a été remplacé par du tout-venant. La totalité de la glace n'a cependant pas été enlevée et son suivi est donc essentiel vis-à-vis des infrastructures implantées à sa surface.

Les méthodes de prospection géophysique utilisées sur ce site depuis 2007 ont pour but de définir les limites du glacier rocheux. Les méthodes de tomographie électrique et sismique permettent de détecter le glacier rocheux mais ne permettent pas une estimation précise de l'épaisseur englacée. Des études menées en 2010-2011 ont montré que les méthodes géoradar sont efficaces, sous certaines conditions, pour déterminer la structure interne du glacier rocheux jusqu'au substratum.

Les méthodes utilisant les ondes de surface (sources actives ou passives) ont un intérêt pour la description de la couche active, couche la plus facilement mobilisable en cas d'évolution.

Réf. : Cadet H., O. LeRoux, L. Lorier, P. Schoeneich, J.M. Krysiecki (2011) Emploi de méthodes géophysiques calibrées par des forages pour l'étude et le suivi du permafrost sur la station des Deux Alpes – Rapport de synthèse, Projet PGRN 2010, 24p.

Les inventaires d'événements

Outre l'inventaire recensé par le RTM cité dans le rapport, il est intéressant de noter le travail collaboratif conduit par Ludovic Ravanel sur les parois du massif du Mont-Blanc, avec le recensement de 1500 événements collectés avec la collaboration des guides et professionnels de la montagne.

Annexe 12. Les dispositifs concernant les avalanches

Des codes internationaux et des systèmes d'information du public développés, clairs et bien compris

L'échelle européenne de risque d'avalanche, adoptée par tous les pays de l'arc alpin dès 1993, compte cinq niveaux allant de 1 (risque faible), à 5 (risque très fort). Elle a été élaborée en concertation avec l'ensemble des services européens de prévision d'avalanche. Ils se sont également accordés sur d'autres règles, comme celle de n'appliquer cette information de synthèse dans les bulletins que sur des zones géographiques d'au moins 100 km². Utilisée depuis plus de 20 ans dans toute l'Europe, elle est bien connue des pratiquants de la montagne hivernale, professionnels et amateurs.

Toutefois, un indice de risque ne suffit pas : la prise en compte d'informations complémentaires est indispensable. L'information qui résulte des analyses des services météorologiques se traduit dans un niveau global d'information de **vigilance** et dans les **bulletins d'estimation du risque d'avalanche** (BRA ou BERA) est élaboré chaque jour de la saison hivernale.

Encadré 9. La vigilance avalanche intégrée dans la vigilance météorologique. Source : Météo-France.

Les avalanches font partie des phénomènes dangereux couverts par le dispositif de vigilance météorologique, mis en place depuis 2001. En cas de risque avalancheux fort (niveau 4) ou très fort (niveau 5), le plus souvent associé à d'importantes chutes de neige, les départements concernés figurent en orange ou en rouge sur la carte. La responsabilité de la mise en vigilance " avalanche " est portée par le centre de Grenoble pour les départements alpins et corses et par le centre de Tarbes pour les départements pyrénéens, en concertation avec les autres services responsables de la vigilance météorologique.

Encadré 10. Les bulletins d'estimation de risques d'avalanches. Source : Météo-France, complété par la mission.

Les BRA ou BERA sont destinés aux services de sécurité civile et aux acteurs et pratiquants de la montagne (skieurs, surfeurs, randonneurs, gestionnaires de domaines skiables...). Ces bulletins décrivent les conditions de neige et informent des risques d'avalanches spontanées et provoquées qui sévissent jusqu'au lendemain soir sur chaque massif des Alpes, des Pyrénées et de Corse. On y trouve :

- une carte synthétique indiquant pour chaque massif le niveau de risque d'avalanche prévu, l'orientation des pentes les plus dangereuses ainsi qu'une description succincte des principaux risques de départs spontanés et de déclenchements provoqués ;
- un bulletin décrivant pour chaque massif la stabilité du manteau neigeux, les conditions d'enneigement (épaisseurs de neige, qualité de la neige de surface, chutes de neige récentes...), les prévisions météorologiques ;

Le BRA qui est un outil d'aide à la décision pour l'utilisateur. Il doit lui permettre d'adapter le choix de son itinéraire en fonction de son expérience et des observations sur le terrain.

Ces bulletins sont publiés chaque jour du 15 décembre au 30 avril. Météo-France diffuse des bulletins d'information neige et avalanche (INA) sans chiffrage du risque et sans cartouche des pentes les plus dangereuses.

Les systèmes de recueil d'information sur les avalanches sont organisés, formalisés et rémunérés avec les professionnels de la montagne

Outre les moyens propres de Météo-France, la particularité intéressante du système d'observation est la puissance du partenariat qui lie Météo-France avec les services de pistes des stations de ski.

Encadré 11. Le réseau de surveillance des avalanches : une production partenariale.
Source : Météo-France.

150 postes d'observations, situés entre 1 000 et 2 500 m et tenus essentiellement par le personnel des services des pistes des stations de ski, fournissent 2 fois par jour les informations suivantes : nuages, vent, températures et précipitations, épaisseur et qualité de la neige fraîche, hauteur totale de neige au sol, phénomènes de chasse-neige sur les crêtes et avalanches observées. Ils réalisent aussi des sondages hebdomadaires du manteau neigeux, pour en évaluer la stabilité, en repérant les différentes couches de neige superposées selon leur dureté, leur température, leur masse volumique et leur humidité. 28 stations automatiques étagées entre 1 700 et 3 000 m d'altitude apportent un complément d'informations indispensables grâce à des mesures horaires du vent, de la température et de la hauteur de neige en altitude.

Depuis décembre 2019, bénéficiant de l'expérience positive de la mobilisation des guides en période de confinement COVID, une convention lie (pour l'instant dans les Hautes-Alpes, la Savoie et la Haute-Savoie) le Syndicat national des guides de montagne (SNGM) et Météo France. Les guides volontaires, et formés à la nivologie complètent les observations dans des secteurs moins fréquentés. La convention serait dotée de 10k€ par département.

Les décisions de réduction de l'aléa sont quasi quotidiennes et très bien rodées

L'outil, notamment dans le périmètre des domaines skiables, de réduction des risques est de purger par déclenchement artificiel les couloirs d'avalanche. Ces interventions sont organisées dans un plan d'intervention de déclenchement d'avalanches (PIDA).

Encadré 12. Les PIDA : outils d'organisation des déclenchement d'avalanche.

Source : ANENA <https://www.anena.org/9119-declenchement-d-avalanches.htm#par78754>

Après l'avalanche catastrophique de Val d'Isère en 1970, un groupe de travail issu de la commission « Sécurité en montagne et risques naturels », s'est constitué à la demande de plusieurs départements afin d'établir des documents de planification pour le déclenchement des avalanches, sortes de consignes de tir. C'est l'ANENA en 1975, qui est alors chargée d'élaborer ces documents, et propose aux communes supports de stations deux exemples de « PIDA » et de consignes de tir (un pour les grandes stations et l'autre pour celle d'une taille plus modeste), afin de leur permettre d'élaborer elles-mêmes leurs documents.

Le « PIDA » (Plan d'intervention de déclenchement des avalanches) devient alors un document de planification des secteurs et des zones dans lesquelles, par prévention, une commune peut organiser des déclenchements d'avalanches.

La procédure d'élaboration du PIDA

Le PIDA est établi sous la seule autorité du maire dans le cadre de ses pouvoirs de police administrative et fait donc l'objet d'un arrêté municipal.

La **commission municipale de sécurité** est naturellement fondée, si elle existe, à donner un avis consultatif sur ce plan.

Il s'agit à la fois d'un document administratif municipal avec une valeur juridique propre à tout arrêté municipal, mais aussi et avant tout d'un plan opérationnel que l'organisme chargé de la sécurité est tenu d'appliquer pour répondre au maintien et à la préservation de l'ordre public.

Le P.I.D.A doit être approuvé par les services de l'Etat pour intégrer l'ordonnancement juridique. C'est la circulaire du 24 juillet 1980 qui prévoit cette forme de contreseing. Ainsi, en dépit des lois

de décentralisation, ce texte continue de prévoir la soumission du P.I.D.A. au préfet, pour un contrôle préalable d'opportunité. Le préfet vérifie alors la proportionnalité des mesures de l'acte par rapport au but recherché, ainsi que la comptabilité de l'acte vis-à-vis des intérêts de la Nation.

Il faut donc attendre l'arrêté préfectoral validant l'arrêté municipal, créateur du P.I.D.A., pour que ce dernier intègre de plein droit l'ordre juridique.

Aussi, la mise en œuvre du P.I.D.A. peut se traduire, à la demande du maire et dans certaines circonstances exceptionnelles, par l'engagement de moyens d'intervention de l'État, tels que les hélicoptères. Ainsi le Préfet ne peut être écarté de l'élaboration d'un document qui prévoit un recours aux moyens de l'Etat.

Un même P.I.D.A. s'appliquant sur le territoire de plusieurs communes implique que chaque maire approuve celui-ci et publie un arrêté distinct.

Le P.I.D.A. peut aussi avoir des incidences sur une autre station sur le territoire d'une autre commune (pistes et remontées mécaniques à fermer). Dans ce cas le maire de cette autre commune doit prendre un arrêté en conséquence. Cette situation est fréquente lorsque les domaines skiables sont reliés, la concertation indispensable peut s'exercer alors dans le cadre d'une commission intercommunale de sécurité.

Mais avant d'arriver à maturité, le P.I.D.A. se développe à l'aide d'étapes qui le précèdent et qui garantissent son pragmatisme et sa pérennité.

L'étude locale du risque d'avalanche constitue la première démarche, primordiale et essentielle.

Cette étude s'appuie notamment sur la Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanches (CLPA).

Ensuite vient l'appel aux témoins locaux, la consultation de documents historiques, de documents géographiques, de données statistiques des précipitations et des vents, des études sur le terrain pour connaître la nature de ce dernier.

Une bonne base cartographique est donc nécessaire pour réaliser un P.I.D.A. qui encore une fois reste un document opérationnel.

En ce sens, définir les zones à risques c'est définir les points de tirs et surtout les moyens techniques les plus efficaces pour déclencher l'avalanche.

L'étude des risques d'avalanches détermine les points d'extension maximale des avalanches formant ainsi la « zone de sécurité ». Lors des déclenchements préventifs, les zones de sécurité interdites au public prennent en compte les amplitudes maximales. Le P.I.D.A. définit précisément ces zones et indique les moyens mis en œuvre pour parvenir à sa neutralisation : fermeture des pistes et remontés mécaniques, éventuellement des routes et chemins, restaurants d'altitude interdits d'accès, mise en place de vigies, de filets, de signalétique, des moyens et procédures d'information.

Les zones de sécurité interdites au public sont tracées sur la carte P.I.D.A. et répertoriées sur un tableau récapitulatif avec la liste des pistes et remontées mécaniques concernées par la sécurisation de chaque zone.

Les mentions obligatoires

- Un organigramme des personnels chargés de l'application du P.I.D.A. : c'est un tableau récapitulatif de l'ensemble du personnel. Il mentionne le nom, la fonction et le rôle des différents intervenants. A savoir qu'un suppléant est désigné nommément pour chaque poste. Cet organigramme permet d'avoir un descriptif détaillé des responsabilités et des fonctions de tous les intervenants. De ce fait, en cas de problème, il est facile de s'y référer.
- Un inventaire des points de déclenchement et des zones interdites au public.
- Un cahier de consignes de sécurité à mettre en œuvre pour le public et les personnels. Ce cahier de consignes de sécurité vise à prévenir les professionnels et le public des éventuels

accidents qui pourraient survenir du fait d'une avalanche. Par ailleurs, il donne des indications sur les comportements à adopter en cas d'accident.

- Enfin, il doit être fait état des consignes de tir par secteur et/ou des types de déclenchement. Ces consignes sont à destination des professionnels. Ce sont des directives qui s'imposent aux artificiers.

Les documents graphiques

Il se peut qu'il y ait plusieurs documents cartographiques ou bien un seul si toutes les données indispensables se trouvent sur cet unique document. Ils permettent donc d'avoir une vue d'ensemble concrète du territoire lors de la mise en œuvre du P.I.D.A.

On devrait normalement y trouver :

- Les habitations, les routes, les restaurants d'altitude
- Les pistes et les remontées mécaniques
- Les sites, les pentes, les couloirs où les déclenchements sont pratiqués. Tous les points de tirs sont identifiés par un numéro
- Les ouvrages de protections (râteliers, tourne digue, etc.)
- La zone interdite au public pendant les opérations. Ces zones sont identifiées par une lettre et une couleur
- Le positionnement des vigies de contrôle
- Les installations de déclenchement (Catex, gaz-ex, avalancheur)
- Les « dropping zones » pour le P.I.D.A. hélico
- Le tracé des avalanches avec leurs extensions maximales
- Le cheminement des artificiers : accès, repli
- Le ou les dépôts d'explosifs
- Le positionnement des canons avalancheurs et des impacts de tirs
- Le parcours de l'explosif depuis le dépôt
- Les postes de secours.

L'encadrement de la mise en œuvre du P.I.D.A.

La formation du personnel :

Le P.I.D.A. désigne nommément tous les personnels engagés dans sa mise en œuvre et décrit toutes les missions afférentes aux différentes fonctions et missions. Il désigne également le Chef d'exploitation des remontées mécaniques de la station, chargé de faire respecter les règles de sécurité des personnels, et de fermeture des appareils aux clients.

Il désigne également les commandants de gendarmerie et de police chargée si nécessaire de faire évacuer les zones de sécurité (restaurants d'altitude, bâtiments, voiries, etc.). De plus, si le P.I.D.A. s'applique aux routes il désignera les responsables des voiries concernées.

L'artificier préposé au tir, chargé de la mise en œuvre des produits explosifs, doit être titulaire d'un permis de tir signé par le président de la société d'exploitation des remontées mécaniques (ou le maire si la station est gérée en régie) après avoir subi une visite médicale et être habilité à l'emploi des produits explosifs, conformément aux dispositions de l'art. 3 du décret du 12 juillet 1978 relatif au marquage, à la détention, au transport et à l'emploi des produits explosif.

Il doit être en outre justifié des qualifications suivantes :

- Formation de base : être titulaire d'un certificat de préposé au tir, option « tir en montagne pour le déclenchement d'avalanches » délivré par le Ministre de l'Education.
- Recyclage : avoir subi depuis moins de cinq ans soit la formation de base indiquée ci-dessus, soit une session de recyclage sur la neige, les avalanches et l'emploi des explosifs dans la neige. A l'issue de cette session, les personnels non titulaires du certificat de préposé au tir option « tir en montagne pour le déclenchement des avalanches » devront en subir les épreuves. Les autres stagiaires recevront une simple attestation de recyclage.
- Enfin la formation continue consiste en un rappel annuel des schémas opérationnels, et des consignes de sécurité. La formation prévoit aussi un rappel sur les cheminements précis des artificiers et des vigies par remontées mécaniques, chenillettes, hélicoptère, accès à ski ou à pied et à ne pas oublier le chemin de repli prévu. La formation prévoit également une information continue sur la mise en place et positionnement des personnels d'appui avec matériel de secours et de recherche adéquat.

Le responsable de la mise en œuvre du P.I.D.A. qui concourt à son établissement, prévoit et fournit les moyens nécessaires en matériel et personnel, décide de la mise en œuvre de tout ou partie du P.I.D.A. pour ce qui concerne le plan de tir du jour en fonction de l'évaluation avalancheuse faite en concertation avec les chefs de secteur. Il veille et contrôle son application, notamment les dispositions relatives au respect des consignes de sécurité. Il transmet également l'information de début et de fin à tous les intervenants, il distribue et assure le retour des explosifs, il saisit le registre des explosifs.

Il est le premier destinataire du compte rendu du déroulement et des résultats des tirs, car il est le personnel qui par la suite va rendre compte au maire des opérations (en général lors des réunions de la commission municipale de sécurité). Le début et la fin du P.I.D.A. doit être clairement transmis et identifié par tous les intervenants ainsi le directeur des opérations suit en temps réel l'exécution du P.I.D.A. (renseignée pas les vigies ou les boîtiers GPS). La traçabilité des tirs effectués (ou non parce que non nécessaires après évaluation des risques) doit être la plus précise possible.

Le VigiP.I.D.A. est un outil de suivi efficace. Il recueille les comptes rendus après l'exécution du P.I.D.A.

Cette collecte des comptes rendus permet de recueillir toutes les informations saisies par les artificiers à savoir : l'analyse (outil d'aide à la décision) et le bilan du P.I.D.A. (vue panoramique).

Annexe 13. Les principaux programmes européens : Glaciorisk, Permadataroc, GlariskAlp

Glaciorisk (2001-2003) Suivi et prévention de futurs désastres glaciaires - Survey and prevention of extreme glaciological hazards Programme européen FP5 - 5ème PCRD

Le projet de recherche GLACIORISK a duré trois ans, de 2001 à 2003 et a étudié les catastrophes d'origine glaciaire en Europe. Les objectifs spécifiques du projet étaient d'identifier, de suivre et de prévenir les phénomènes catastrophiques d'origine glaciaire afin de mieux évaluer les risques potentiels dans un contexte climatique et socioéconomique en évolution.

Pour ce faire, le projet a fédéré et intégré les travaux d'experts de l'ensemble de l'Arc alpin. Plusieurs modules d'activités ont été élaborés, chacun se déroulant à l'intérieur de divers pays et institutions, par exemple le Cemagref (France), l'Institut fédéral suisse de technologie de Zurich, l'Université de Salzbourg (Autriche), la Societa Meteorologica Sualpina (Italie). Les modules d'activités du projet comprenaient la plupart des étapes conduisant à l'adaptation aux changements climatiques, depuis la collecte de données jusqu'à l'analyse économique et les aides à la décision.

Dans un premier temps, le projet a fourni des informations sur les phénomènes glaciaires à risque grâce à une base de données donnant accès aux expériences passées dans l'ensemble des régions concernées. L'étude a été axée sur les phénomènes liés aux crues de rupture de lacs glaciaires (GLOF), à la stabilité des glaciers, aux avalanches liées aux chutes de sérac et au changement dans la longueur des glaciers. Le projet visait à sensibiliser l'opinion aux risques glaciaires en diffusant des informations au grand public et aux utilisateurs finaux. Outre la réalisation d'une vidéo sur les risques glaciaires, différents atlas de glaciers à risques ont été publiés pour plusieurs pays. Les divers risques glaciaires ont également été étudiés par les scientifiques pour permettre de mieux comprendre les phénomènes et d'améliorer la capacité de prévision et d'atténuation de ces risques. Un bilan des connaissances préexistantes à l'échelle mondiale et des expériences de terrain dans les Alpes a été réalisé.

Des simulations numériques des glaciers et des risques ont été effectuées pour accroître notre compréhension des conditions de déclenchement, de l'ampleur et de la fréquence des phénomènes, étudier la sensibilité aux changements climatiques et augmenter la capacité de prévision des phénomènes. Le but ultime de cette opération était d'effectuer un zonage des risques et d'établir des cartes de risques. Cependant, les divers processus déterminant l'incidence de ces risques, notamment les systèmes hydrologiques sous-glaciaires, étant aujourd'hui mal connus, l'équipe de recherche n'a pas été en mesure de tracer des cartes de risques.

Néanmoins, le projet a débouché sur des lignes directrices pour l'évaluation des risques. Ces lignes directrices, qui portent sur l'élaboration de scénarios de risques, d'estimations des dommages potentiels et d'un inventaire des mesures de précaution, sont ensuite soumises aux parties prenantes dans un atelier consacré à l'évaluation des risques. Un deuxième atelier est ensuite organisé avec des décideurs et des spécialistes des risques pour évaluer les mesures préventives.

Un cadre d'analyse des risques a été mis au point à l'occasion de ce processus pour rendre ces informations aussi exploitables que possibles par les décideurs et pour permettre l'évaluation des mesures tout en intégrant divers scénarios et la perception des risques par la population concernée. Sur la base du rapport coût-efficacité, les résultats prennent en compte les données sur les changements climatiques et la perception du risque par le public, d'où la possibilité pour les décideurs de fixer les priorités en conséquence. Pour le canton du Valais, Suisse, une Séminaire Gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire 12 et 13 mars 2012 – Grenoble WTC - Document préparatoire 19 planification des mesures de protection a été établie pour les 10 glaciers présentant les plus grands risques et différentes mesures de protection ont été envisagées sous l'angle de leur rapport coûts/efficacité : il ressort de l'analyse que l'application de stratégies de surveillance et de prévention est plus rentable que la construction d'infrastructures coûteuses telles que des galeries de drainage et des dispositifs de protection des routes et des voies ferrées.

Ref.: Richard, D. and M. Gay (2003), GLACIORISK Final report - Survey and Prevention of Extreme Glaciological Hazards in European Mountainous Regions. La base de données sur les phénomènes glaciaires, Gridabase, est toujours en ligne mais n'a pas été mise à jour depuis la fin du projet. <http://www.nimbus.it/glaciorisk/gridabasemainmenu.asp>, mais est reprise et complétée par le RTM

PermadataROC (2006-2008)

Elaboration d'une base de données et expérimentation de méthodes de mesure des mouvements gravitaires et des régimes thermiques des parois rocheuses à permafrost en haute montagne

Projet Interreg IIIA Alcotra n° 196, dont les principaux résultats sont les suivants :

- Echange de compétences et de connaissances entre techniciens, chercheurs et responsables des régions concernées sur la thématique de la dégradation du permafrost de parois et des mouvements gravitaires associés ; mise en place d'un réseau d'observateurs pour l'inventaire des éboulements et écoulement en haute montagne (massif du Mont Blanc) ;
- Installation d'instruments de mesure du régime thermique dans les parois rocheuses de haute altitude et mise au point de méthodes de traitement des données ; - Utilisation de méthodes et équipements innovants (laserscan, photogrammétrie, détection acoustique) pour le suivi de l'instabilité des parois rocheuses de haute altitude difficilement accessibles.

Site du projet : <http://www.fondazionemontagnasicura.org/multimedia/permadataroc/> Résumé des partenaires, des résultats et livrables dans la base projets Risknat : <http://www.risknat.org/baseprojets/ficheprojet.php?num=24&name=PERMAdataROC>

PermaNET (2008-2011) Longterm Permafrost Monitoring network Interreg IV (European Territorial Cooperation)

Espace Alpin 2007-2013 <http://www.permanet-alpinespace.eu/home.html>

Principaux résultats :

- (1) Réseau de surveillance du permafrost dans l'Espace Alpin PermaNET rassemble les données des sites les plus importants de surveillance du permafrost et les compile dans un réseau standardisé. Sur les sites clé, de nouvelles stations de surveillance ont été installées et instrumentées.
- (2) Distribution du permafrost dans les Alpes Un des objectifs principaux de PermaNET est de fournir une carte de distribution du permafrost des Alpes. Cette carte est constituée de deux jeux de données combinés : l'inventaire des preuves de permafrost et une carte modélisée de la distribution du permafrost.
- (3) Aléas naturels liés au permafrost Le projet évalue plusieurs méthodes de détection et de surveillance des mouvements de terrain liés au permafrost et fait des recommandations pour la gestion des risques dans les zones affectées par l'actuelle dégradation du permafrost. (WP6, voir détails ci-dessous)
- (4) Permafrost et changement climatique La haute altitude et les régions de haute altitude sont généralement reconnues comme étant particulièrement sensibles aux effets du changement climatique. Une large proportion du permafrost dans les Alpes européennes, par exemple, est au point de fusion ou proche de celui-ci et est donc très sensible au réchauffement atmosphérique.
- (5) Permafrost et gestion de la ressource en eau Il y a toujours peu de connaissance sur l'impact du changement climatique sur le permafrost alpin et comment la fonte accrue de la glace du permafrost modifie les caractéristiques des écoulements et la qualité de l'eau des sources alpines.

Réf. : Mair, V., Zischg, A., Lang, K., Tonidandel, D., Krainer, K., Kellerer-Pirklbauer, A., Deline, P., Schoeneich, P., Cremonese, E., Pogliotti, P., Gruber, S., Böckli, L., (2011): PermaNET - Permafrost Long-term Monitoring Network. Synthesis report. INTERPRAEVENT Journal series 1, Report 3. Klagenfurt.

Le Work Package 6 a traité des relations entre le permafrost et les aléas naturels dans les conditions de changement climatique. Un état de l'art a été réalisé sur les aléas naturels liés au permafrost et la dégradation du permafrost. Les 4 chapitres traitent (1) des glaciers rocheux, (2) des laves torrentielles, (3) des écroulements rocheux et (4) des mouvements superficiels du sol et leurs dégâts aux infrastructures. Chaque chapitre résume les connaissances actuelles sur ces processus et leur relation avec le changement climatique, et est illustré par plusieurs cas d'étude récents dans les Alpes. Ces cas d'études montrent la grande variété d'effets sur les infrastructures dans les zones de haute montagne.

Les processus liés au permafrost et à sa dégradation n'influencent pas les aléas sur de larges zones. Cependant, dans certains cas ils peuvent avoir une influence remarquable sur les situations de risques. La première étape dans chaque activité de zonage est de se référer à la carte de distribution du permafrost. Si celle-ci montre une possible présence de permafrost sur le site étudié, il est recommandé d'utiliser les méthodes de détection du permafrost telles que décrites dans le guide PermaNET. Si le permafrost est avéré, des méthodes de surveillance spéciales soutiennent l'analyse des processus.

Afin d'évaluer les approches opérationnelles pour la détection et la surveillance des mouvements de terrain et des températures du sol dans les zones de permafrost, 6 fiches de méthode ont été réalisées (dGPS, GPR, DInSAR, ERT, Séminaire Gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire 12 et 13 mars 2012 – Grenoble WTC - Document préparatoire 21 TLS et photogrammétrie terrestre). Chaque fiche résume les principes de base de la méthode et liste les applications possibles et les principaux résultats, possibilités et limites. Les 4 chapitres d'état de l'art ainsi que les 6 fiches méthodes sont téléchargeables sur le site du projet : <http://www.permanet-alpines-pace.eu/products.html>

GlariskAlp (2010-2013) Risques glaciaires dans les alpes occidentales Programme de Coopération Territoriale Européenne (Alcotra France/Italie) 2007/2013 - Mesure 2.2 - Prévention des risques naturels. <http://www.fondazionemontagnasicura.org/fr/glariskalp.aspx>

Le projet GlaRiskAlp a été créé pour donner des réponses pratiques et théoriques aux risques causés par le retrait des glaciers dans les Alpes occidentales lié au changement climatique. Ce retrait, commencé il y a un siècle et qui s'est accéléré, lors des deux dernières décennies, accroît le nombre, l'intensité et la fréquence de certains aléas naturels des zones glaciaires et périglaciaires, qui menacent des populations et des biens dont la vulnérabilité a beaucoup augmenté avec le développement (urbanisation, tourisme, transports...) de cette région de montagne très anthropisée. Afin de développer un aménagement du territoire efficace et pour améliorer la gestion des risques dans les zones alpines, il est nécessaire que ces phénomènes soient mieux pris en compte, tout en améliorant nos connaissances.

Le projet GlaRiskAlp s'occupe de ces dynamiques en réunissant différents organismes français et italiens qui s'occupent d'étudier la montagne et ses aléas (7 partenaires : Université de Savoie - Laboratoire LISTIC, CNRS - Laboratoires EDYTEM, GIPSA-Lab et LGGE, Fondation Montagne Sûre, ARPA Vallée d'Aoste, CNR-IRPI Torino). Pour mettre en œuvre les mesures de prévention et protection nécessaires, les autorités gestionnaires des risques ont besoin d'un inventaire actualisé des aléas récents d'origine glaciaire, d'une meilleure compréhension des processus actuels, et de scénarios d'évolution à 5 et 10 ans des aléas actuels et potentiels. L'objectif du projet est de traiter des deux aspects complémentaires suivants :

Reconnaissance, à l'échelle des Alpes occidentales (Rhône-Alpes, Provence-AlpesCôte d'Azur, Piémont, Vallée d'Aoste),

- (i) des types d'aléas engendrés par le retrait glaciaire,
- (ii) des secteurs récemment désenglacés,

(iii) des aléas actuels et potentiels caractérisant ceux-ci.

Les résultats attendus comprendront entre autre : 1) Inventaire des glaciers actuels et récents 2) Typologie des aléas (dans le prolongement de Glaciorisk 2002) 3) Reconnaissance des secteurs favorables aux aléas

Etudes détaillées sur des sites-pilotes pour mieux comprendre des processus encore mal connus et proposer des parades : suivi de la dynamique des chutes de séracs (sitespilotes de Taconnaz et des Grandes Jorasses, massif du Mont Blanc), des poches d'eau intra-glaciaires (site-pilote de Tête Rousse, massif du Mont Blanc), des glaciers (site-pilote d'Argentière, massif du Mont Blanc) et des secteurs récemment désenglacés (sites-pilotes dans le massif du Mont Blanc, le haut Val de Rhêmes et le Val d'Orco).

Annexe 14. Les programmes de recherche concernant les ROGP soutenus par l'ANR

Sur demande de la mission, l'ANR a conduit une étude spécifique sur les projets qu'elle a financés pendant la période 2005-2021 concernant : les glaciers, le pergélisol, les relations glacier-atmosphère, la compréhension climat-glacier et risques ; projets dont les thématiques sont liés directement ou indirectement aux risques d'origine glaciaire et périglaciaire.

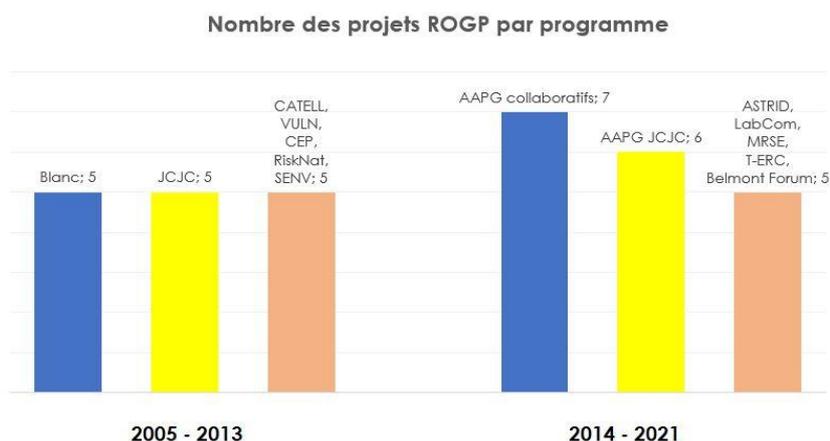


Figure 20 : Nombre de projets ANR 2005-2021 liés aux ROGP par programme (Source : ANR, 2022, pour le compte de la mission)

La majeure partie des projets ROGP sont des projets de recherche fondamentale et sont majoritairement représentés dans l'axe « Terre solide et enveloppes fluides » (CE01 de l'appel à projets générique ou « AAPG ») mais également quelques-uns dans les axes « Planétologie, structure et histoire de la Terre » (CE49 de l'AAPG) ou « Terre vivante » (CE02 de l'AAPG). Il est à noter un projet MRSEI (instrument d'aide au montage de projets européens) ayant pour objectif de mettre en place des outils d'aide à la décision, et un projet LabCom (partenariat public-privé) de développement expérimental. La diversité des organismes-partenaires des projets montre le spectre large des thèmes de recherche et leur caractère multidisciplinaire :



Figure 21 : Thèmes et projets de recherche 2005-2021 ANR liés aux ROGP (Source : ANR, 2022, pour la compte de la mission).

Zones géographiques des projets liés aux ROGP

Sur les 33 projets financés par l'ANR en lien avec les ROGP, 10 portent sur des glaciers des Alpes et 10 autres portent sur les glaciers arctiques et antarctiques. Les zones géographiques d'étude sont représentées dans le diagramme ci-dessous :

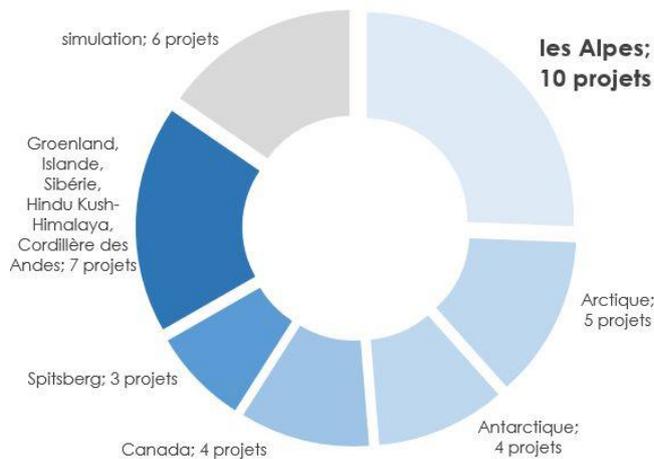


Figure 22 : Zones géographiques des projets ANR 2005-2021 liés aux ROGP. (Source : ANR, 2022, pour le compte de la mission).

Une majorité de projets collaboratifs

Parmi tous les projets ROGP identifiés par l'ANR, 19 projets sont de type « collaboratif » avec au moins 2 à 7 partenaires. Les 14 projets mono-partenaires sont essentiellement des projets « jeunes chercheurs ou jeunes chercheuses ».

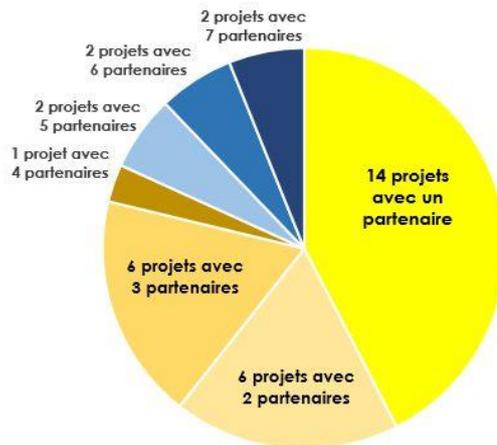


Figure 23 : Proportions des projets ANR 2005-2021 liés aux ROGP selon le nombre de partenaires (Source : ANR, 2022, pour le compte de la mission).

Répartition géographique des partenaires

La répartition géographique des partenaires montre clairement la concentration des partenaires en Auvergne-Rhône-Alpes, ce qui est cohérent avec le fait que presque 1/3 des projets financés ont leur terrain d'étude dans les Alpes.

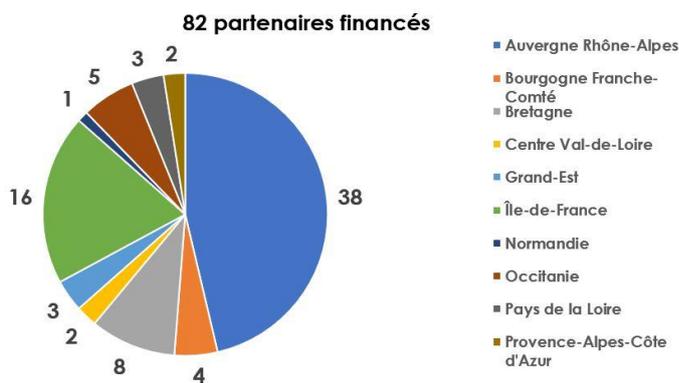


Figure 24 : Répartition géographique des projets ANR 2005-2021 liés aux ROGP (Source : ANR, 2022, pour le compte de la mission).

S'agissant de la répartition de l'investissement total (11547K€) sur la période 2005-2021, par région, plus de la moitié revient à la Région Auvergne Rhône-Alpes :

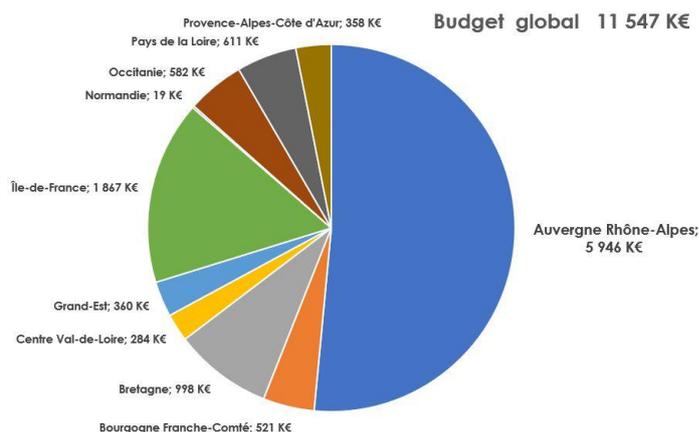


Figure 25 : Répartition de l'investissement des projets ANR 2005-2021 liés aux ROGP par région.

Source : ANR, 2022, pour le compte de la mission.

Comparaison projets déposés-projets financés entre 2019 et 2021

Une recherche sur la base de données AAPG des projets du « département Environnement, Ecosystèmes, Ressources biologiques (EERB) » (Comités d'évaluation scientifique 01, 02, 03, 04, 20, 21, 32, 34, 39, 49) a été conduite par l'ANR à la demande de la mission, pour la période 2019 à 2021. Cette recherche montre que sur les 29 projets liés aux ROGP déposés, 9 ont été sélectionnés. Selon l'ANR, cela représente un taux de sélection de 31% sur cette thématique qui est supérieur au taux de financement moyen de l'AAPG (environ 17% en 2019 et 2020, et 23% en 2021). D'où l'appréciation de l'ANR : La communauté scientifique déposant des projets à l'ANR sur cette thématique a donc un fort taux de succès, et la thématique reçoit donc un effort de recherche conséquent.

Une thématique de recherche bien représentée au sein des projets PIA

En complément du plan d'action de l'ANR, l'ANR assure la gestion d'une partie des actions des Plans Investissement d'Avenir/France 2030. Sur la base des éléments fournis par l'ANR, la mission présente les actions en lien avec la thématique des risques d'origine glaciaires et péri-glaciaires :

Portefeuille Sciences de la Terre, Univers et Espace

4 projets MOPGA (Make Our Planet Great Again)

ASET - Etude de l'évolution climatique dans l'océan arctique et antarctique (500 k€, CNRS) ;

PEGS - Permafrost et gaz à effet de Serre en Sibérie (500 k€, U. Paris Saclay) ;

ARCHANGE - Etude de l'évolution climatique dans l'océan arctique (750 k€, CNRS) ;

MAGICLIM - Evolution des glaciers et impact sur le paysage (500 k€, CNRS).

4 EQUIPEX (équipements d'excellence pour dynamiser la recherche)

IAOOS terminé en 2021 (porteur Sorbonne U, 5 M€) a développé des plateformes pour suivre l'évolution en Arctique (60% des publications) ;

Une large partie (60% des publications) de CLIMCOR (porteur CNRS, 17 M€, terminé en 2019) a participé au développement et installation de nouveaux instruments de forage et carottage en mer, dans les glaces et les lacs ;

GEOSUD (porteur IRSTEA, 11,5 M€) terminé en 2019, a effectué le développement des outils et des moyens d'accès aux données satellitaires d'observation de la Terre lesquelles incluant la surveillance des glaciers à l'échelle mondiale (10% des publications).

Polarpod (Porteur Ifremer, 28 M€). Jean-Louis Etienne a initié le projet Polar Pod, un « navire vertical » conçu en particulier pour dériver dans le courant circumpolaire Antarctique. Il permettra d'accéder à des mesures couplées inter-thématiques difficiles à obtenir sur un navire classique. Cette circumnavigation de 3 ans va permettre pour la première fois la collecte de données et d'échantillons ininterrompue sur les quatre cycles saisonniers et sur tout le tour de l'Antarctique. La construction est en cours

1 LABEX (laboratoire d'excellence)

OSUG@2020 (Université de Grenoble-Alpes, dévolu en 2021, 7,6 M€) a pour objectif l'observation et la modélisation des systèmes naturels relevant de la géophysique interne et externe, des surfaces et interfaces continentales, de la planétologie et de l'astrophysique, et en particulier est actif sur l'étude de l'évolution des glaciers, de la glace et du permafrost à l'échelle mondiale (dont les Alpes...) (10% des publications d'un labex très actif = une centaine de publications sur le sujet).

Portefeuille Sciences Humaines et Sociales

5 LABEX

ARCHIMEDE (Porteur Université de Montpellier III. Aide : 13,9 M€) : Archéologie et histoire de la méditerranée et de l'Egypte ancienne. (Paul Valéry). Thématique : Archéologie et histoire de la méditerranée et de l'Egypte ancienne. Liens avec la thématique risques glaciaires et périglaciaires : 4 articles publiés. Ajustement isostatique glaciaire, paléo-changements du niveau de la mer ;

DRIIHM/IRDHEI (CNRS, 9 M€) : Dispositif de recherche interdisciplinaire des interactions homme-milieu. Thématique : Observation des interactions homme-systèmes. Dans deux contextes : (1) l'industriel et (2) l'aménagement de l'espace. Etude des socio-écosystèmes très anthropisés et anthropo-construits. Liens avec la thématique risques glaciaires et périglaciaires : 8 articles publiés. Evolution glaciaire en Patagonie. L'holocène glaciaire ;

IMU (COMUE Université de Lyon, 6.5 M€) : Intelligence des mondes urbains.). Thématique : Les villes et l'urbain, passés, présents et avenir ; l'urbanisation et la métropole. Liens avec la thématique risques glaciaires et périglaciaires : 4 articles publiés. Les déplacements glaciaires alpins et au Groenland ;

LASCARBX (U. Bordeaux, 12 M€) : L'usage du monde par les sociétés anciennes : processus et formes d'appropriation de l'espace sur le temps long. Thématique : L'usage du monde par les sociétés anciennes : processus et formes d'appropriation de l'espace sur le temps long au cours de la préhistoire, l'antiquité et le moyen âge. Liens avec la thématique risques glaciaires et périglaciaires : 6 articles publiés. Involution et chronologie des éléments du permafrost du pléistocène, période glaciaire en vallée du Rhône et dans les Pyrénées, éléments périglaciaires et chronologie du pléistocène ;

PATRIMA (CY Cergy Paris Université, 4.8 M€) : Patrimoine matériels : savoirs, patrimonialisation, transmission. Thématique : Domaines de la création et du patrimoine, production de connaissance sur les héritages culturels et la transmission culturelle. Liens avec la thématique risques glaciaires et périglaciaires : 1 article publié. Evolution du comportement mécanique de la pierre calcaire soumise aux cycles de gel-dégel.

Sur la base de cette recension, l'ANR considère que la thématique ROGP est plutôt bien représentée au sein des projets Plan investissement d'avenir.

IRiMa, un PEPR exploratoire consacré à la science du risque à l'ère des changements globaux

Le projet PEPR Exploratoire IRiMa (gestion intégrée des risques pour les sociétés plus résilientes à l'ère des changements globaux), porté par le BRGM, le CNRS et l'UGA, avec un financement accordé de 52 M€ en juillet 2022, n'est à ce jour par encore contractualisé par l'Agence. L'objectif de ce PEPR est de fédérer au niveau national les différentes communautés scientifiques impliquées dans le domaine de la gestion des risques, pour contribuer au développement de la science

des risques à travers une approche résolument holistique et interdisciplinaire (géosciences, l'ingénierie, les sciences de l'information, sciences humaines et sociales). Il s'agira d'améliorer la manière dont nous analysons, comprenons, modélisons et anticipons les risques découlant des aléas naturels et technologiques, afin de mieux en maîtriser les impacts.

La co-construction au cœur de la gestion des risques et des catastrophes

Ce PEPR veut répondre à un besoin identifié d'innover en termes de politiques de gestion des risques et des crises en considérant à la fois les aspects naturels, technologiques, environnementaux et sociétaux qui leur sont associés. IRiMa vise la construction d'une science du risque qui fasse dialoguer et croiser les différentes connaissances issues des géosciences, sciences du climat, sciences humaines et sociales, ingénierie et sciences de l'information. Mais aussi développer des dispositifs de co-production des savoirs avec les différents acteurs concernés en menant une réflexion systématique sur les modalités de mobilisation des données scientifiques dans les politiques publiques. Il s'agit avec ce PEPR de dépasser l'idée de transfert des productions scientifiques au profit d'une dynamique de co-construction avec les acteurs concernés et de retour critique sur les savoirs produits et les politiques mises en œuvre.

Un volet « risques côtiers et de montagne » dans le PEPR IRiMa

Les catastrophes naturelles et les risques étant souvent dépendantes des spécificités des zones géographiques qu'ils touchent (les risques en France métropolitaine ne sont pas identiques d'une région à l'autre ; les effets du changement climatique diffèrent que l'on soit en montagne ou en zone côtière ; les Outre-mer sont confrontés à des problèmes d'éruptions volcaniques et d'ouragans, qui ne touchent pas la métropole, etc.), le PEPR IRiMa est organisé autour de cinq pôles : risques côtiers et de montagne, risques outre-mer et zone intertropicale, risques NaTech (accidents technologiques engendrés par un événement naturel), plateformes numériques transversales et risques et sociétés. Selon une information recueillie par la mission auprès des chercheurs impliqués dans ce programme, sur les projets fléchés correspondant à la moitié du budget global du PEPR, 2 millions d'euros seraient consacrés aux « risques de montagne » dont une partie serait allouée à la recherche sur les ROGP.

En complément des financements ANR et PIA/France 2030, il est à noter les financements alloués par la Commission Européenne via ses Programmes de travail (Horizon 2020 puis Horizon Europe). Par exemple, dans le programme Horizon Europe en cours, le programme de travail 2023-2024 inclut une action sur la thématique : « Inland ice, including snow cover, glaciers, ice sheets and permafrost, and their interaction with climate change » (CL5-2024-D1-01-02).

De cette rapide analyse, il ressort que la thématique ROGP est une thématique très spécifique avec une communauté de recherche relativement petite. C'est ce qui conduit à lever l'apparente contradiction entre l'affirmation selon laquelle « les ROGP sont parmi les risques naturels les moins étudiés » et celles d'après lesquelles, « pour une telle communauté, le nombre de projets et de partenaires scientifiques (et également certains partenaires non académiques) financés sur le plan d'action de l'ANR sont importants » et « cette thématique est bien représentée au sein des projets PIA/France 2030 ».

S'agissant du PEPR exploratoire IRiMa, s'il ne répond pas à l'ambition affichée dans le projet de stratégie de la DGPR qui visait à « construire et pérenniser un programme de recherches priorisé et pluriannuel destiné à faire progresser les connaissances scientifiques sur les phénomènes d'origines glaciaire et périglaciaire », il permettra en revanche, une intégration de cette thématique marginale (en comparaison de celle liée aux risques géophysiques et hydrologiques) dans un travail et une réflexion d'envergure sur la gestion intégrée des risques pour les sociétés plus résilientes à l'ère des changements globaux.

Annexe 15. Les systèmes d'observation français

Tableau présent sur le site du PARN : http://www.risknat.org/alpes-climat-risques/Resau_alpin/services_d_observation.html

Services d'observation et bases de données	Missions et objets d'étude	Types de données	Organismes porteurs et producteurs de données*
Observations climatiques			
Météo-France http://www.meteofrance.com/	Missions de service public de diffusion d'informations sur la météorologie et le climat. Publie notamment des bilans climatiques annuels et saisonniers	Données d'observations (<i>in situ</i> , radar, satellite), climatologie, modèles et données de prévisions et prévisions climatiques	Météo-France
Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region (HISTALP) www.zamg.ac.at/histalp/	Longues séries de paramètres climatiques couvrant l'arc alpin (« Grande Région Alpine »)	Données homogénéisées mensuelles de températures, précipitations, pression atmosphérique, ensoleillement et nébulosité	ZAMG (Autriche)
Environnement alpin			
Les GLACIers, un Observatoire du CLIMat (GLACIOCLIM) www.lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs/	Observatoire de Recherche en Environnement de la thématique "Surfaces et Interfaces Continentales" portant sur l'étude des Glaciers et du Climat	Bilans de masse glaciaire	LGGE, Irstea
Réseau de mesure du permafrost et des processus liés au gel (PermaFRANCE) http://permafrance.osug.fr/	Réseau d'observation et de suivi du permafrost de montagne français, des phénomènes liés au gel et des processus périglaciaires associés	Mesures de température du sol superficielles et en forages, vitesses de déplacement de glaciers rocheux etc.	PACTE, EDYTEM
Aléas « naturels »			
Enquête permanente sur les avalanches (EPA) www.avalanches.fr/epa_lobservation-actuelle	Dispositif régulier d'observation des avalanches en France donnant accès à un inventaire, le plus complet possible, des événements d'avalanche ayant eu lieu sur les sites observés pendant la saison hivernale (4000 couloirs à ce jour)	Base de données des événements observés pour chaque site (dates, altitudes, dépôt, caractéristiques, météo 3 jours, précédents, météo 4h, précédentes, causes, victimes, dégâts ou lieux atteints)	Irstea, ONF-RTM, MEDDE
Observatoire des Risques Naturels en Montagne du service de Restauration des Terrains en Montagne (BD RTM Evénements) http://rtm-onf.ifn.fr	Base de données sur les événements d'avalanche, inondation, crue torrentielle, ravinement, chute de bloc, glissement de terrain, affaissement et tassement par retrait	Informations sur plus de 30 000 événements, et plus de 19 000 ouvrages de protection contre les risques naturels (regroupés en 2400 dispositifs de protection)	ONF-RTM, IFN, MEDDE, Ministère de l'Agriculture

Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versants (OMIV) http://omiv.osug.fr/	Etude de la dynamique des mouvements gravitaires (endommagement, déclenchement, propagation) et de l'effet des forçages externes (climat, séismes) sur quatre sites représentatifs des mécanismes observés dans les Alpes françaises (roches tendres/denses, mouvements lents ou rapides)	Développement d'une instrumentation multidisciplinaire permanente sur chaque site, visant à caractériser : i) la cinématique de déplacement et de déformation (géodésie, inclinomètres, extensomètres, imagerie aérienne et satellitaire), ii) le comportement sismique du glissement (endommagement fragile via les micro-séismes et réponses aux séismes régionaux), iii) les réponses hydrauliques aux forçages météorologiques	ISTerre, Géoazur, EMMAH, IPGS-EOST, Chrono-Environnement
Surveillance Séchilienne www.versant-sechilienne.developpement-durable.gouv.fr/	Système opérationnel de surveillance du versant instable des Ruines de Séchilienne (Isère)	Données de télésurveillance : extensométrie, positionnement GPS, vitesses de déplacement, etc.	MEDDE, CEREMA
Banque Nationale de Données pour l'Hydrométrie et l'Hydrologie (Banque HYDRO) www.hydro.eaufrance.fr	Banque de données hydrologiques des services de l'Etat administrée et gérée par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations	Mesures de hauteur d'eau à divers pas de temps en provenance de 3 500 stations de mesure (dont 2 400 en service) implantées sur les cours d'eau français et accès aux données signalétiques des stations	MEDDE, (SCHAPI, DREAL, SPC, etc.), EDF, Irstea, compagnies d'aménagement
Service de Prévision des Crues des Alpes du Nord (« Information sur la vigilance crues ») www.vigicrues.gouv.fr	Mission réglementaire de surveillance, de prévision et de transmission de l'information sur les crues	Données des stations de mesure des hauteurs et débits liquides des principaux cours d'eau métropolitains (stockées dans la Banque HYDRO)	MEDDE, SPC Alpes du Nord (DDT38)
Base de Données sur les Incendies de Forêt en France (BDIFF) http://bdiff.ifn.fr/	Rassemble toutes les données relatives à des incendies de forêt survenus en France métropolitaine depuis l'année 1992	Données à caractère déclaratif collectées de manière complémentaire par différents services locaux (départementaux ou régionaux)	MAAPRAT, MIOMCTI, DGPAAT, IGN
* Acronymes : voir sites internet			

Source : Einhorn et al., 2015 (Journal of Alpine Research | Revue de Géographie Alpine, 103-2)

GLACIOCLIM

GLACIOCLIM (les GLACIers, un Observatoire du CLIMat) est un service national d'observation visant à assurer un suivi sur le long terme des glaciers des Alpes, des Andes et de l'Antarctique. Dans les Alpes il est implanté sur les glaciers d'Argentière, Mer de Glace, Gébroulaz, Saint-Sorlin et Sarennes.

PermaFrance

Le réseau d'observation PermaFrance de l'OSUG, <https://permafrance.osug.fr/> repose également sur un nombre très restreint de sites (Encadré 13).

Encadré 13. Le réseau PermaFrance Source : <https://permafrance.osug.fr/>

Il vise principalement (en parois rocheuses et dans les zones d'accumulation – glaciers dits glaciers rocheux ») :

- L'observation et le suivi thermique des effets liés au gel (cycles gel/dégel, gel saisonnier, pergélisol et couche active), à tous les niveaux d'altitude ;
- L'observation et le suivi de la dynamique des processus géomorphologiques associés au gel, dans les étages morpho-dynamiques infra-périglacière, périglacière et supra-périglacière ;
- L'observation et le suivi des effets du changement climatique sur l'état du gel du sol, sur la dynamique des phénomènes, et les risques associés (chutes de blocs, déstabilisations/stabilisation, ...).

Le volet pergélisol en parois rocheuses vise à caractériser et suivre le permafrost des parois rocheuses de haute montagne, et les processus géomorphologiques associés. Ce volet se concentre sur le massif du Mont-Blanc, et en particulier sur le site de l'Aiguille du Midi. Il comporte :

- Des mesures de température de surface
- Des mesures de température dans trois forages horizontaux de 10 m.
- Des mesures géophysiques périodiques
- Un suivi microtopographique d'une dizaine de parois rocheuses
- Un recensement annuel des écroulements rocheux.

Le volet pergélisol en formations superficielles se concentre sur les glaciers rocheux, considérés à la fois comme les formes et les indicateurs principaux du permafrost de montagne riche en glace. Ce volet est mené sur une demi-douzaine de sites distribués du Nord au Sud des Alpes françaises. Il comporte :

- Des mesures de température de surface ;
- Des mesures de profils de température dans deux forages verticaux de 15 m sur le glacier rocheux de Bellecombes, dans le domaine skiable des Deux-Alpes ;
- Des mesures géophysiques périodiques sur quatre glaciers rocheux, visant à évaluer la teneur en glace ;
- Des mesures de déplacements superficiels de glaciers rocheux.

Le volet gel saisonnier est en cours de développement. Il vise à appréhender la distribution spatiale et temporelle du gel saisonnier en moyenne montagne. Une phase expérimentale est en cours dans la région du Lautaret-Galibier.

Le volet éboulis froids étudie les caractéristiques thermiques et l'évolution des éboulis froids de moyenne et basse altitude. Il comporte également un volet écologique, ces éboulis étant le siège d'écosystèmes particuliers (les écosystèmes abyssaux) liés au pédoclimat froid. Ce volet suit une demi-douzaine de sites distribués du Jura au Dévoluy. Il comporte :

- Des mesures de température de subsurface
- De la thermographie infrarouge
- Des relevés botaniques périodiques.

Les observatoires sont nombreux

Le site du PARN http://www.risknat.org/alpes-climat-risques/Resau_alpin/observatoires.html cite (on a retenu ici uniquement ceux ayant un lien direct avec le sujet de la mission) :

L'Observatoire National des Effets du réchauffement Climatique (ONERC)

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Impacts-et-adaptation-ONERC-.html>

Créé par la loi du 19 février 2001, l'ONERC a trois missions principales : (1) collecter et diffuser les informations sur les risques liés au réchauffement climatique, (2) formuler des recommandations sur les mesures d'adaptation à envisager pour limiter les impacts du changement climatique, (3) être le point focal du GIEC en France. Il met notamment à disposition des indicateurs sur les impacts du changement climatique, ainsi qu'une base de données des projets de recherche en cours ou achevés portant sur les impacts du changement climatique et l'adaptation et couvrant la France. L'ONERC a participé au développement de la base de connaissances bibliographique du portail Alpes-Climat-Risques au cours du projet ClimChAlp, et en a publié les synthèses thématiques dans son Rapport Technique N°1 en 2008.

L'Observatoire National des Risques Naturels (ONRN) <http://www.onrn.fr/>

L'ONRN créé dans le cadre de l'action 2 du PNACC (consacrée à la diffusion des données et informations) est développé en partenariat avec la DGPR, la Caisse centrale de réassurance, la Mission risques naturels et des sociétés et mutuelles d'assurance. En complément d'informations générales sur les aléas, l'exposition et la vulnérabilité des populations, l'ONRN va mettre à disposition des professionnels et du grand public les principales bases de données thématiques concernées par les risques naturels liés au changement climatique.

L'Observatoire Régional des Effets du Réchauffement Climatique (ORECC) – Rhône-Alpes

<http://orecc.rhonealpes.fr>

L'objectif de l'ORECC est de mettre à disposition des acteurs territoriaux une information fiable, la plus localisée et précise possible, sur le changement climatique et ses effets déjà constatés ou prévus. La création d'un Observatoire Régional du Changement Climatique en Rhône-Alpes a été préconisée en 2011 dans le cadre des travaux préparatoires au Schéma Régional Climat-Air-Énergie (SRCAE), puis a été retenue comme une orientation stratégique et transversale du SRCAE approuvé en mars 2012. Les travaux de préfiguration ont été menés par Rhône-Alpes-Énergie-Environnement (RAEE) avec l'appui du Groupe de Réflexion et d'Action sur l'Adaptation au Changement Climatique (GRAACC). Piloté conjointement par l'État (DREAL), la Région Rhône-Alpes et l'ADEME, il a été inauguré officiellement le 6 Novembre 2013.

L'Observatoire savoyard du Changement Climatique (OsCC)

http://www.mdp73.fr/index.php?option=com_content&task=view&id=89&Itemid=37

L'Observatoire savoyard du Changement Climatique de la Mission Développement Prospective (MDP) de la Savoie publie depuis 2009 des documents d'analyse relatifs à divers aspects du changement climatique en Savoie (changement climatique, bilans climatiques annuels et saisonniers, impacts, adaptation et atténuation, gaz à effet de serre). Parmi ces ressources, l'OsCC publie également un nouvel indicateur composite de l'évolution des températures depuis 1900 développé à l'échelle des Alpes françaises en agrégeant des séries de données multi-sources.

L'Observatoire de l'eau en montagne

<http://observatoire-eau-montagne.org/>

L'Observatoire de l'eau en montagne créé suite aux états généraux de l'eau en montagne (Megève 2010) se développe sur le site pilote « Pays de Savoie – Annecy – Mont-Blanc – Léman ». Celui-ci regroupe des gestionnaires de l'eau de bassins versants des deux Savoie (Arve, Léman, lac d'Annecy et Arly) autour de trois thématiques : (1) le partage de la ressource, (2) la préservation des zones humides, torrents et lacs de montagne, (3) l'évolution des masses d'eau et des risques.

Les objectifs généraux sont de renforcer l'observation et d'améliorer la connaissance du fonctionnement hydrologique des hauts bassins versants. Cet objectif passe par le renforcement des réseaux de mesure hydrométéorologique existants et par le développement d'outils de modélisation innovants permettant l'élaboration d'outils de gestion et d'aide à la décision pour les élus et les gestionnaires (notamment un système d'alerte en temps réel).

L'Observatoire du Mont-Blanc

<http://pit.espace-mont-blanc.com/embp/index.cfm/observatoire-du-mont-blanc.html>

Développé dans le cadre du Plan Intégré Transfrontalier de l'Espace Mont-Blanc (PIT EMB) financé par le programme ALCOTRA, l'Observatoire du Mont-Blanc a pour rôle d'observer, à l'aide d'indicateurs environnementaux sociaux et économiques, l'évolution de l'état du territoire et la mise en place des recommandations, des stratégies, des plans d'actions et des mesures du Schéma du Développement Durable de l'EMB. Cet observatoire est doté d'un Géoportail qui permet l'interrogation, la représentation cartographique et l'extraction des données fournies par le partenariat transfrontalier, ainsi que d'un Système de Connaissances (SYCO) qui donne accès aux informations, données et évaluations nécessaires aux politiques, stratégies et actions des responsables de l'EMB et autres acteurs locaux. Les indicateurs environnementaux de l'Observatoire, qui visent à simplifier, quantifier et communiquer des données environnementales complexes à des fins de suivi et d'information, portent sur le bilan de masse des glaciers, la qualité de l'air, la production de déchets, les prélèvements en eau, la qualité de l'eau des principaux linéaires et sur le nombre et la superficie des milieux naturels.

Le système national d'observation de la sécurité en montagne (SNOSM)
<https://www.snosm.fr/fr/le-snosm>

Le Système National d'Observation de la Sécurité en Montagne est un dispositif de saisie, de validation, de traitement et d'analyse des données des accidents visant à informer les pratiquants et les professionnels de la montagne et à définir les axes de prévention au niveau national. À ce titre, il a pour missions :

- d'élaborer des statistiques dans le domaine de l'accidentologie des sports de montagne et de favoriser la circulation des données et des études dans ce domaine ;
- de produire toutes études et analyses permettant la mise en œuvre des campagnes nationales de prévention ;
- de communiquer les informations en matière d'accidentologie et de prévention.

Le SNOSM a été créé en 1997 par le ministère de l'intérieur et le ministère chargé des sports afin de mieux connaître les caractéristiques des accidents en montagne. L'action du SNOSM s'est inscrite dans le cadre de la Commission de l'Information et de la Sécurité du Conseil Supérieur des Sports de Montagne (dissoute en 2014) et fonctionne sur la base d'un protocole signé entre les deux ministères et l'École Nationale des Sports de Montagne, site de l'ENSA, qui l'héberge.

Pour le « domaine montagne » 11 activités sont répertoriées : Alpinisme, cascade de glace, Canyonisme, Escalade, Parapente, Randonnée pédestre, Randonnée en Raquette, Randonnée à Ski, Spéléologie, Via ferrata V.T.T.

Pour le « domaine skiable » 3 activités principales sont retenues : le Ski Alpin, le Snowboard, Le ski nordique. La pratique de ces activités de glisse hors du domaine skiable (hors compétences des services des pistes) est donc observée dans le domaine montagne.

Annexe 16. Les trois avancées de recherche les plus cruciales identifiées par la mission

La télédétection

A ce stade, l'exploitation de données de télédétection pour les ROGP est restée du domaine spécialisé de la recherche, et n'a pas fait l'objet d'exploitations systématique et de routine. Des programmes européens ont exploité les données Sentinel et Sentinel-2 libres de droits, issues du programme Copernicus.

L'encadré 14 trace les applications possibles et le tableau 7 rappelle les diverses sources mobilisables et leur disponibilité, qui montrent que la résolution disponible désormais est compatible avec les besoins des ROGP.

De nombreux travaux ont montré, notamment pour les événements majeurs en Himalaya, mais aussi un peu partout dans le monde pour les territoires où la haute montagne est peu accessible et peu fréquentée, tout l'apport de connaissance, que la mobilisation des données de télédétection apportait pour un usage ex post pour la compréhension des événements passés, mais aussi son apport pour la surveillance des phénomènes fortement évolutifs comme les ROGP. Sauf les parois raides et les poches nra et sous-glaciaires, la faible végétation induit des circonstances très favorables à l'exploitation de ces images. Il convient pour cela de développer des chaînes de traitement automatisées et d'exploiter ces informations de façon récurrente.

Encadré 14. Les emplois possibles de la télédétection pour les divers EGP. Source : Makan Gandit, 2021, mémoire de stage PAPROG.

Pour les **lacs de montagne**, ce que le satellite va détecter est une surface en eau (reflectance eau ou vague, couleur) et une évolution de la surface (augmentation du volume du lac). Il existe de nombreuses méthodes de détection des surfaces en eau applicables en inventaire. Pour la « gestion opérationnelle », la recherche de la date d'apparition du lac va s'appuyer sur les méthodes inventaires adaptées et réalisables (il est plus simple de trouver l'objet lorsqu'on sait où regarder). Pour l'évolution historique du lac, sa qualité va dépendre en grande partie du niveau de complexité géographique de position du lac (ombrage, neige, point repère) et bien sûr de la qualité des images disponibles (en Montagne, il peut exister des difficultés de géo-références). Pour la gestion opérationnelle, le volume d'eau est une information importante, même si la précision recherchée pourrait être faible, elle implique de connaître le sol avant la formation du lac et éventuellement la profondeur du lac, s'il se forme par exemple en contact à un glacier (lac des Bossons). Ainsi il est indispensable de disposer d'un MNT avant la formation du lac et dans certains cas de mesures bathymétriques.

Pour les **glaciers rocheux**, ce que le satellite va détecter sont des modifications de surface, des déplacements de points spécifiques, et potentiellement un indice de glace en sous-sol. Pour les inventaires, il s'agira d'une part de repérer les surfaces (forme géomorphologique) et de caractériser le mouvement (glacier actif et inactif), ce qui nécessite des séries temporelles. Pour la gestion opérationnelle, elle implique de suivre le déplacement de points du glacier. Il faut donc à la fois une répétitivité plus ou moins importante et une qualité d'image bonne (Gavillon, 2018). Pour l'instant, sans association à de la topographie sur site cela paraît délicat. Comme pour les lacs, le résultat des traitements va dépendre en grande partie du niveau de complexité géographique de position du glacier rocheux (ombrage, neige, point repère) et bien sûr de la qualité des images disponibles.

Pour les **glaciers blancs**, ce que le satellite va détecter est la glace à l'air libre, des formes géométriques caractéristiques (Sérac), des mouvements. Les fronts de glaciers restent des zones à très fortes pentes où la détection par satellite est moins fiable. L'inventaire est déjà réalisé, il pourrait être recherché une actualisation des surfaces et une qualification de l'état de santé des glaciers par comparaison de l'évolution des lignes d'équilibre. Pour la « gestion opérationnelle », la verticalité des zones de sérac rend difficile le suivi.

Pour les **parois sources d'effondrement par disparition du pergélisol**, dans des contextes de pentes de plus de 40° il y a de fortes difficultés techniques dans l'usage d'images satellites. Il faut

rechercher des indices indirects que sont les dépôts de l'effondrement. Le satellite peut détecter une modification de surface sur des séries temporelles d'images. A ce jour donc sans autres méthodes, il n'y a pas de débouché PAPROG.

Pour les **poches d'eau sous glaciaire**, elles sont invisibles sur les images, si des méthodes indirectes ne sont pas découvertes, il n'y a pas de débouché PAPROG.

Tableau 7 : Différentes sources d'images satellites (Gandit M., 2021)

Nom	Technologie	Résolution (nadir)	Fauchée	Répétitivité	Accès	Condition d'accès
Sentinel 1	Radar	10m	250km	12/2= 6 jours	Peps cnes	Libre & gratuit
Sentinel 2	Optique	10 à 60 m	290km	10/2= 5jours	theia-land.fr Copernicus	Libre & gratuit
Pléiades	Optique	70cm à 2,8 m	20km	programmation	Dinamis Datta terra	gratuit et sur commande
Landsat 8	Optique	30m	185km	16 jours	theia-land.fr	Libre & gratuit
Spot 6/7	Optique	1,5 à 6m	60km	Programmation	Dinamis Datta terra	gratuit et sur commande
Venµs	Optique	10m	27km	2 jours	theia-land.fr	Libre & gratuit
Hydroweb	Altimétrie radar	//	100 a 500km	10 à 35 jours	theia-land.fr	Libre & gratuit
Ice sat2	Laser	13m	45m	Programmation	https://icesat2.gsfc.nasa.gov/	Payant et sur commande
PAZ	Radar	1 a 15m	100km	Programmation	Eo portal directory	Payant et sur commande

La modélisation thermique des glaciers

Les modèles employés par les laboratoires de recherche pour comprendre la dynamique des glaciers supposent des instrumentations complètes et des suivis sur de longues périodes. Les travaux montrent de grands progrès : reste à mieux comprendre les effets de transport d'énergie par le mouvement de l'eau pénétrant dans le glacier et les effets d'accélération générés du réchauffement par la désagrégation des glaciers.

L'objectif de ces travaux est de répondre à des questions cruciales pour bien sérier les enjeux de prévention et de sécurité civile :

- Prévention : quelles zones de départ, quels volumes de glace mobilisés, et notamment quels risques de voir des mouvements de grande ampleur se déclencher au changement de régime thermique des glaciers ?
- Sécurité civile : conditions météorologiques et saisonnières de déclenchement des départs, définitions de système de suivi, seuils de déclenchement d'alerte ?

Modélisation des transports de matériaux : rhéologie des divers mélanges de rochers et de matériaux plus fins, de glace et d'eau

Les progrès des modèles de transport sont opérationnellement essentiels. Pour cartographier les zones exposées, il faut en effet :

- un ordre de grandeur de la zone de départ pour déterminer un volume de glace initialement mobilisée (voir ci-dessus) ;
- les conditions de propagation de la masse de matériaux, selon leur composition notamment.

Les écoulements composites suivent *grosso modo* une loi de frottement de type Voellmy composée d'un frottement solide et d'un frottement inertiel proportionnel au carré du nombre de Froude ($\mu = \mu_s + g/\xi F^2$). Le coefficient μ_s influence la distance d'arrêt à faible vitesse (frottements internes

de la phase solide), et le coefficient ξ plafonne la vitesse max (viscosité du fluide). Cette représentation n'épuise cependant pas toute la complexité de cette propagation.

Le logiciel 2D RAMMS (*Rapid Mass movement Simulation*) développé en Suisse par l'institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SFL) employé notamment par le service RTM et les bureaux d'études avec lesquels il travaille, est calibré selon ces deux paramètres μ_s et ξ . Il est également utilisé dans le Val d'Aoste par Montana Segura. D'autres modèles, 3D, sont employés par les laboratoires de recherche.

La présence d'eau peut contribuer à fluidifier l'écoulement (ce phénomène est invoqué pour expliquer la rapidité de la propagation de l'avalanche de la Marmolada).

La calibration de couples de paramètres de la loi de Voellny fait l'objet d'un travail d'étude en cours au service RTM sur 8 événements de 100 000 m³ à 500 000 m³.

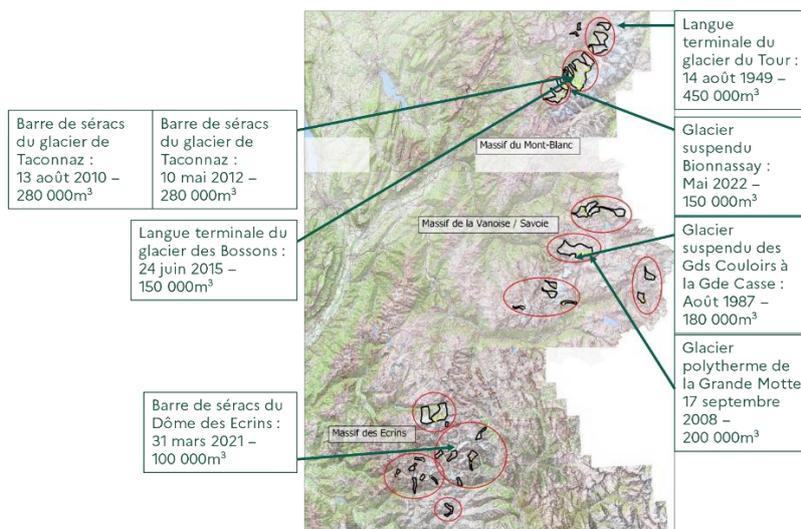


Figure 26: Localisation des huit avalanches de glace bien documentées dans les Alpes. Source : Margot Baty, Cartographie des avalanches de glace dans les Alpes, 2022, document RTM non publié.

Ce sujet de la propagation et de l'amplification/atténuation qui l'accompagne est certainement celui qui est le plus attendu par les acteurs opérationnels : pour un scénario d'événement de départ donné, jusqu'où, avec quel volume et à quelle vitesse les événements se propagent-ils ?

Annexe 17. Le texte de la stratégie ROGP préparé par la DGPR (projet mars 2022)

Plan du document

PRÉSENTATION

OBJECTIFS ET ORIENTATIONS STRATÉGIQUES

AXE I : LA CONNAISSANCE

Objectif I.1. Construire une communauté opérationnelle regroupant les scientifiques et les gestionnaires du risque autour des risques glaciaires et périglaciaires

Objectif I.2. Caractériser les aléas et identifier les zones à risque

AXE II : LA PRÉVENTION

Objectif II.1. Accompagner les gestionnaires de la prévention des risques

Objectif II.2 sensibiliser la population et procéder à l'information préventive

AXE III : LA PLANIFICATION DE SÉCURITÉ CIVILE

Objectif III.1. Intégrer les risques d'origines glaciaire et périglaciaire identifiés dans les plans communaux de sauvegarde (pcs), les schémas départementaux d'analyse et de couverture du risque (sdacr) et l'organisation de la réponse de sécurité civile (orsec)

Objectif III.2. Prendre les mesures de surveillance et de sauvegarde de la population

SCHÉMA DE GOUVERNANCE

MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE PROGRESSIVE ET PROPORTIONNÉE DE LA STRATÉGIE DE PRÉVENTION DES RISQUES D'ORIGINES GLACIAIRE ET PÉRIGLACIAIRE

Présentation

Les risques d'origines glaciaire et périglaciaire regroupent les risques naturels ayant pour source des zones couvertes de glace, englacées, récemment déglacées, ou concernées par le dégel du pergélisol. Il peut s'agir de masse de glace (les glaciers), mais également de terrains à pergélisol. Le changement climatique accentue le réchauffement et la fonte des zones englacées. Il contribue à l'augmentation des risques liés aux évolutions des glaciers (poches d'eau, lacs, rupture ou effondrement d'une partie du glacier) et du pergélisol qu'il se situe dans des parois ou des glaciers rocheux. L'augmentation des températures contribue également à l'émergence de phénomènes gravitaires nouveaux ou dans de nouveaux secteurs qui peuvent être générateurs de risque pour les zones d'occupation humaine en aval.

Leur caractère émergent et l'importance du changement climatique dans l'occurrence de ces risques ne permet pas de bénéficier de références historiques suffisantes sur lesquelles s'appuyer pour prévenir les risques à venir. Les fréquences d'occurrence attendues sont faibles au regard d'autres phénomènes sources de danger en montagne (crues, avalanches, chutes de blocs...). Pour autant, la brutalité des phénomènes et l'importance des volumes mis en jeu, ainsi que le peu de références historiques documentées qui auraient pu orienter des choix d'aménagement ou de développement, laissent craindre des impacts potentiels majeurs.

Les manifestations de ces risques peuvent prendre des formes très variées. On peut notamment citer les mouvements gravitaires de masse de glace (chutes de séracs et ruptures de langues glaciaires occasionnant des avalanches de glace), les écoulements brutaux d'une masse d'eau (rupture d'un lac glaciaire ou périglaciaire ou d'une poche d'eau au sein d'un glacier) ou encore les

risques dus au dégel du pergélisol (déstabilisation de glaciers rocheux, déstabilisation de parois rocheuses, mouvements superficiels dus au mouvement ou à la fusion de glace du sol).

Ils peuvent en outre entraîner des effets dévastateurs loin en aval de leur origine, par une succession d'effets en « cascade » (génération de laves torrentielles ou propagation de crues suite à la rupture d'un lac glaciaire, déclenchement d'avalanches suite à la chute de séracs, etc.).

Les phénomènes mis en jeu dans les risques d'origines glaciaire et périglaciaire sont d'une grande complexité. La compréhension de ces phénomènes, difficiles à instrumenter, à observer et à mesurer, est insuffisante à ce jour pour déployer des moyens de prévention, de détection et de gestion. De plus, les niveaux de connaissance tant du point de vue de la détection que des conditions de déclenchement de l'aléa varient selon les phénomènes. Par conséquent, la collaboration avec les acteurs de la recherche est indispensable pour comprendre les phénomènes et prioriser les recherches nécessaires à améliorer l'analyse des aléas, afin de mieux prendre en compte les risques qui en découlent.

La rareté de références historiques, la difficulté à évaluer les intensités, et les probabilités d'occurrence, à définir les périodes de retour, ainsi que la non-stationnarité de ces phénomènes sous influence du changement climatique en font un défi pour les acteurs de la prévention.

La stratégie nationale pour la prévention et la gestion des risques d'origines glaciaire et périglaciaire vise en premier lieu à coordonner et poursuivre l'amélioration de la connaissance. Elle a également pour objectif de mobiliser conjointement les collectivités locales et l'État à l'échelle nationale et déconcentrée, ainsi que d'améliorer la culture du risque de la population. La sensibilisation du public devra intégrer à la fois les riverains, les habitants des collectivités concernées, les usagers et les professionnels de la montagne ainsi que les touristes.

L'intégration de ces risques émergents au sein des documents de planification des acteurs de la gestion de crise doit être étudiée, et ceci d'autant plus pour les phénomènes dont l'ampleur ou la cinétique rapide rendraient insuffisantes ou inopérantes les actions de prévention ou protection.

Les glaciers et les zones englacées en montagne vont évoluer au cours des prochaines décennies. Afin de prendre en compte ces changements et afin de pouvoir mettre en œuvre des actions concrètes, de les adapter en fonction des évolutions qui auront eu lieu, des retours d'expérience et de l'avancée des connaissances, des plans d'actions pluriannuels jalonnent la mise en œuvre de cette stratégie. Ils permettront de concrétiser graduellement cette stratégie et de mettre à jour ses indicateurs pour en quantifier les avancées

Objectifs et orientations stratégiques

L'objectif général de cette stratégie est de se préparer à l'émergence et à la multiplication des risques d'origines glaciaire et périglaciaire, en se fondant sur la continuité allant des progrès de la connaissance jusqu'à la gestion de situations de crise en passant par la prévention et la sensibilisation des décideurs publics concernés et des populations. La mise en œuvre de la stratégie doit permettre, en cas d'imminence ou de survenue d'un événement d'origine glaciaire ou périglaciaire, d'avoir anticipé et de s'être préparé afin d'apporter une réponse la plus pertinente possible.

Les orientations stratégiques retenues pour guider sa mise en œuvre sont :

- l'amélioration de la connaissance des phénomènes et des mécanismes associés ainsi que le développement d'instrumentation, de modélisation et de méthodologies adaptées en appui à cette connaissance ;
- l'approfondissement de la connaissance des événements survenus, de leur gestion et des retours d'expérience ;
- le recensement des enjeux potentiellement exposés, la caractérisation des risques et la priorisation des sites menacés ;
- la sensibilisation des acteurs pour renforcer la culture sur les risques d'origines glaciaire et périglaciaire, et le « savoir réagir » ;
- l'intégration des risques d'origines glaciaire et périglaciaire dans les outils de prévention, lorsque leur connaissance et leur typologie le permettent ;

- le suivi de sites potentiellement à risque et l'organisation de l'alerte ;
- la préparation en vue des gestions de crise.

Axes de travail

Le plan est développé selon 3 axes :

Axe I : La connaissance : construire une communauté opérationnelle, améliorer la connaissance scientifique, caractériser les aléas potentiels, identifier les risques et développer des méthodes et outils pour la gestion et la prévention des risques d'origines glaciaire et périglaciaire.

Axe II : La prévention : informer, sensibiliser les acteurs de la prévention et de la gestion des risques ainsi que la population, accompagner la mise en œuvre d'actions de prévention et/ou protection et, si leurs caractéristiques le permettent, intégrer ses nouveaux risques dans les outils de prévention actuels.

Axe III : La planification de sécurité civile : intégrer les risques d'origines glaciaire et périglaciaire dans les documents de planification de sécurité civile.

Axe I : LA CONNAISSANCE

Construire une communauté opérationnelle, améliorer la connaissance scientifique, caractériser les aléas potentiels, identifier les risques, et développer des méthodes et outils pour la gestion et la prévention des risques d'origines glaciaire et périglaciaire

Évolution au fil des plans pluriannuels des indicateurs :

- ratio de bassins à risques glaciaires dont l'expertise prioritaire a été réalisée/ bassins ROGP identifiés,

Les indicateurs sont ajustés par sous actions dans le plan d'actions pluriannuel.

Objectif I.1. Construire une communauté opérationnelle regroupant les scientifiques et les gestionnaires du risque autour des risques glaciaires et périglaciaires

La mise en relation des acteurs a pour but de garantir une cohérence des actions de recherche en lien avec la prévention des risques. La mise en place d'une communauté doit permettre des échanges plus efficaces entre les chercheurs et les acteurs opérationnels. Elle s'articule autour de journées d'échanges, exposés ou visites techniques, publications, rapports et communiqués. Les objectifs de ces échanges sont d'une part d'identifier les besoins de l'opérationnel et d'autre part d'y apporter une réponse scientifiquement fondée afin de maintenir la compétence technique de la communauté opérationnelle directement intéressée par les objectifs de la stratégie.

Action I.1.1 : DÉFINIR LES PRIORITÉS DE RECHERCHE ET ACCOMPAGNER LA RECHERCHE AUTOUR DE LA PRÉVENTION DES RISQUES GLACIAIRES ET PÉRIGLACIAIRES

Cette action est destinée d'une part à favoriser les échanges entre organismes et acteurs scientifiques, et, d'autre part, structurer la mise en réseau et la coordination pour garantir une couverture optimale des risques et maintenir les compétences scientifiques. Elle permettra :

- d'identifier les verrous scientifiques et techniques limitant les capacités de prévention des risques d'origines glaciaire et/ou périglaciaire à court et moyen termes ;
- de construire et pérenniser un programme de recherches priorisé et pluriannuel destiné à faire progresser les connaissances scientifiques sur les phénomènes d'origines glaciaire et périglaciaire afin de favoriser la prévention des risques.

Les actions menées, en réponse aux besoins des gestionnaires du risque, devront permettre d'impulser une dynamique au sein de la communauté scientifique des risques d'origines glaciaire et/ou périglaciaire pour répondre à des appels d'offre recherche sur des sujets plus fondamentaux permettant à plus long terme d'irriguer la recherche opérationnelle.

Action I.1.2 : CRÉER UNE PLATEFORME D'ÉCHANGES ENTRE LES SCIENTIFIQUES ET LES GESTIONNAIRES DE RISQUE

La création d'une communauté passe par le partage d'informations. Cette information prend aujourd'hui la forme de publications scientifiques, de rapports, d'avis d'experts, de présentations et est très largement diffusée via différents vecteurs. L'objectif de cette action est donc de construire une plateforme d'échanges accessible aux chercheurs et aux gestionnaires du risque pour permettre de mutualiser facilement les données et de disposer d'un socle commun. L'agrégation de ces données, leur administration et leur partage par des outils adaptés pourra permettre dans un second temps une diffusion plus large d'une partie des données intéressant le grand public. (Axe 2 Action 3)

Action 1.1.3 : COMMUNIQUER SUR LES RECHERCHES AUTOUR DES RISQUES D'ORIGINES GLACIAIRE ET PÉRIGLACIAIRE

Les recherches menées seront diffusées largement. Au-delà de la communication au sein de la communauté scientifique via les vecteurs classiques que sont les colloques et articles scientifiques, des actions de communication seront conduites à destination des acteurs de la prévention et de la gestion de crise (journées de restitution des actions menées dans le cadre de cette stratégie, diffusion des rapports techniques, alimentation des dossiers techniques thématiques (II.1.1)). Ces échanges permettront également de bénéficier de l'expérience des acteurs opérationnels.

La communication sera également organisée auprès de la population : via l'alimentation d'outils de sensibilisation (II.2.2), de conférences grand public ou de reportages vidéo et audio.

Objectif 1.2. Caractériser les aléas et identifier les zones à risque

L'objectif est de disposer d'un état des lieux des sites les plus exposés aux risques d'origines glaciaire et périglaciaire, afin de prioriser les actions à mener

Action 1.2.1 : DISPOSER D'UN INVENTAIRE ACTUALISÉ DES FORMES GÉOMORPHOLOGIQUES SUSCEPTIBLES DE GÉNÉRER DES ALÉAS ET DES TECHNIQUES DE SURVEILLANCE

Les risques d'origines glaciaires et périglaciaires prennent naissance depuis des formes géomorphologiques plus ou moins bien connues. Autant les lacs péri ou proglaciaires, les glaciers blancs, les glaciers rocheux sont majoritairement identifiables, les parois à pergélisol, ou les poches d'eau intra-glaciaires restent très difficiles à identifier. De même la détermination des zones de pergélisol en mouvement reste exploratoire et difficile à grande échelle. L'inventaire des objets pouvant générer des aléas, est nécessaire et l'objectif de cette action consiste donc à disposer d'un inventaire le plus complet possible sur les Alpes comme sur les Pyrénées. Compte tenu des difficultés d'accès à ces formes, et au nécessaire suivi lié à leur évolution rapide, un travail sera mené pour déterminer des outils opérationnels de mise à jour de ces inventaires. L'usage de la télédétection spatiale sera ainsi exploré et exploité autant que possible. Une réflexion sera conduite sur la structuration des outils de surveillance permettant de rassembler la connaissance nécessaire.

Action 1.2.2 : COMPRENDRE LES PHÉNOMÈNES ET ESTIMER LES EMPRISES

La compréhension des mécanismes des phénomènes et des précurseurs climatiques doit nous permettre de déterminer les zones de départ à partir des inventaires réalisés et actualisés dans l'action 1.2.1. L'analyse des événements historiques aidera à déterminer les mécanismes de propagation et les meilleures méthodes pour les représenter. La détermination de ces emprises sera réalisée avec une plus ou moins grande précision en fonction de l'échelle de l'analyse menée. Le degré d'incertitude associé à la détermination des emprises sera estimé. Quand ce sera possible, l'aléa sera caractérisé en termes de probabilité.

Action 1.2.3 : EXPLOITER LES CONNAISSANCES SUR LES ALÉAS EN VUE DE HIÉRARCHISER LES BASSINS DE RISQUES

La connaissance des phénomènes, de leurs zones de départ potentielles ainsi que de leur emprise probable sera confrontée à la connaissance des enjeux. Ce croisement permet d'évaluer l'investissement nécessaire pour la prévention des risques d'origines glaciaire et périglaciaire mais doit également permettre de hiérarchiser les actions de prévention. L'échelle du bassin de risque sera retenue comme étant cohérente au niveau de l'analyse des aléas et des enjeux. Les bassins de risque identifiés seront hiérarchisés afin d'accompagner les actions à mener dans le cadre de cette

stratégie. Cette hiérarchisation sera régulièrement réinterrogée par les services de l'État au regard de l'évolution des formes géomorphologiques, de la connaissance des mécanismes qui initient le déclenchement de l'aléa (départ) ainsi que sa propagation et, par ailleurs du fait de l'urbanisation, de l'évolution des enjeux.

Objectif I.3. Développer des méthodes et outils pour la gestion et la prévention des risques d'origines glaciaire et périglaciaire

Les outils de protection, de prévention, de suivi et d'alerte couramment utilisés pour les risques naturels nécessitent d'être réexaminés au regard des spécificités des risques d'origines glaciaire et périglaciaire. Les zones de départ étant situées en haute altitude et dans des contextes climatiques très difficiles, il sera probablement nécessaire de développer des techniques et méthodes spécifiques.

Action I.3.1 : TESTER DES INSTRUMENTS DE MESURES ET DE SUIVI IN-SITU

Certains sites seront instrumentés ou suivis à des fins d'amélioration de la connaissance mais également afin de tester les différents appareils de mesure en condition réelle. Cette instrumentation pourra être pérenne ou ponctuelle et nécessitera des développements pour le traitement et l'analyse des informations issues de ces acquisitions pour prendre en compte ce contexte spécifique. L'accompagnement de ces instrumentations et dispositifs de suivi doit permettre de mieux connaître les différentes méthodes, leurs limites, leurs coûts et leurs contraintes notamment de mise en œuvre afin de pouvoir rapidement les déployer dans des situations de crise ou d'urgence.

Action I.3.2 : ANALYSER DE FAÇON COLLABORATIVE DES SITES À RISQUES

Certains sites ou bassins de risque feront l'objet d'un approfondissement collaboratif entre les opérateurs en charge de la prévention des risques et les chercheurs. Ces sites, choisis pour leur intérêt en termes de développement de méthode, feront ainsi l'objet d'un examen plus approfondi. L'objectif est de définir des méthodes, de tester des outils et de se projeter dans les travaux ou systèmes d'alerte nécessaires. Ce travail collaboratif contribue à la création d'une communauté, au transfert de connaissance et à la définition d'un langage commun qui sera source d'efficacité pour traiter les sites plus exposés au risque.

Axe II : LA PRÉVENTION

Assurer la prévention des risques d'origines glaciaires et périglaciaires : informer et sensibiliser les acteurs de la prévention et de la gestion des risques ainsi que la population, accompagner la mise en œuvre d'actions de prévention et/ou protection et, si leurs caractéristiques le permettent, mettre en œuvre les outils de prévention actuels pour intégrer ces nouveaux risques.

Indicateur principal : nombre de démarches initiées par les collectivités/préfets (Stratégies territoriales pour la prévention des risques en montagne (StePRiM), actions de préventions et/ou protection (ex : vidanges de lac...), ...

Objectif II.1. Accompagner les gestionnaires de la prévention des risques

Action II.1.1 : FORMER LES GESTIONNAIRES DU RISQUE

Des dossiers techniques thématiques seront réalisés au fur et à mesure du développement des connaissances scientifiques et techniques. Leur objectif est de fournir, en particulier aux services techniques des collectivités et aux services déconcentrés de l'État, des éléments d'information pertinents sur les formes glaciaires et périglaciaires, les phénomènes associés, la typologie et la détection des situations pouvant générer des risques ainsi que les modes de gestion possibles. Des sessions de formation seront construites sur la base notamment des retours d'expérience et des actions qui auront été mises en œuvre sur les territoires déjà affectés par les risques d'origines glaciaire et périglaciaire.

Action II.1.2 : ACCOMPAGNER LA MISE EN ŒUVRE D' ACTIONS DE PRÉVENTION

Les gestionnaires du risque intégreront les connaissances acquises au travers de l'axe I et les prendre en compte dans le cadre de leurs actions de prévention. Au fur et à mesure de l'avancée des connaissances, ils seront donc accompagnés dans la mise en œuvre des actions de prévention et/ou protection, et travailleront en priorité au droit des sites habités.

Action II.1.3 : FAVORISER LE RETOUR D'EXPÉRIENCE

Les retours d'expérience des actions de prévention et/ou de protection entreprises par les gestionnaires du risque seront systématiquement encouragés. La valorisation de ces retours d'expérience permettra d'enrichir la connaissance nécessaire aux actions de l'axe I, et également d'affiner l'identification des besoins opérationnels.

Objectif II.2. Sensibiliser la population et procéder à l'information préventive

Action II.2.1 : SENSIBILISER LA POPULATION

Les données relatives aux aléas d'origines glaciaire et périglaciaire (par exemple carte de probabilité de présence du pergélisol, inventaire des glaciers, glaciers rocheux, lacs glaciaires ou périglaciaires), issues de l'axe I, alimenteront les outils de sensibilisation de la population. Elles devront être mises à sa disposition dans un format adapté. Des documents pédagogiques décrivant les risques afférents aux phénomènes d'origines glaciaire et périglaciaire seront élaborés et diffusés pour développer la culture du risque. Une démarche de communication visant à sensibiliser un large public sera définie. L'emploi des outils nationaux (géorisques, géoportail) sera étudié.

Action II.2.2 : INTÉGRER LES RISQUES D'ORIGINES GLACIAIRE ET/OU PÉRIGLACIAIRE DANS LES DOCUMENTS RÉGLEMENTAIRES D'INFORMATION PRÉVENTIVE

Cette action consistera à définir des recommandations sur la façon d'intégrer les risques d'origines glaciaire et/ou périglaciaire dans les documents réglementaires d'information préventive, à destination des services de l'État et des collectivités locales lorsque cela s'avérera possible (notamment Transmission d'Informations au Maire (TIM)).

Objectif II.3. Étudier l'intégration des risques d'origines glaciaire et/ou périglaciaire dans les documents d'aménagement (PLU, SCOT, PPR, PAC,...) et adapter des guides techniques pour l'aménagement en zone d'aléa

L'objectif de cette action est de déterminer l'opportunité et les modalités de prise en compte des risques d'origines glaciaires et périglaciaires dans les documents d'aménagement du territoire. Cet objectif sera étudié à l'aune des évolutions des connaissances scientifiques et techniques. L'analyse sera menée en fonction du porteur, du document et de sa destination.

Axe III : LA PLANIFICATION DE SÉCURITÉ CIVILE

Intégrer les risques d'origines glaciaire et périglaciaire dans les documents de planification de sécurité civile. Indicateur principal : (à préciser par le MI)

Objectif III.1. Intégrer les risques d'origines glaciaire et périglaciaire identifiés dans les plans communaux de sauvegarde (PCS), les schémas départementaux d'analyse et de couverture du risque (SDACR) et l'organisation de la réponse de sécurité civile (ORSEC)

Les orientations du ministère de l'intérieur conduisent notamment à la mise en place par les préfets d'une organisation de la réponse de sécurité civile (ORSEC), à la rédaction des schémas départementaux d'analyse et de couverture du risque (SDACR) par les services d'incendie et de secours (SIS) et à l'élaboration de plans communaux de sauvegarde (PCS) par les maires ou les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI). Ces documents ont pour objectifs d'identifier les risques, d'informer, de recenser les moyens et les organisations nécessaires pour faire face aux conséquences de tous les événements susceptibles d'intervenir sur un territoire. Une fois les risques d'origines glaciaire et périglaciaire identifiés dans les axes A et B, il conviendra d'en informer les autorités locales (préfets – maires) et leurs services et de leur fournir des documents d'information didactiques intégrables dans leur outil de planification. Dans ce cadre, un modèle de grille d'analyse des risques et de leurs conséquences pourra être élaboré au niveau national avec la participation de représentants de collectivités et des services territoriaux.

Objectif III.2. Prendre les mesures d'information (alerte) et de sauvegarde de la population

Sur les sites présentant potentiellement des risques importants, un suivi de l'évolution peut être rendu nécessaire. Pour ces sites, un protocole de surveillance approprié peut être mise en place sur la base des connaissances issues de l'action I.2 (suivi par télédétection, de mesures de terrain, ou d'observation collaborative par exemple...). Il appartient aux autorités compétentes de prendre les mesures appropriées de sauvegarde au titre de leur pouvoir de police administrative ou au titre de la direction des opérations de secours (alerte descendante, interdiction d'accès, évacuation, etc.).

SCHÉMA DE GOUVERNANCE

La gestion des risques d'origines glaciaire et périglaciaire nécessite l'association des scientifiques, qui sont pour l'heure les plus à même d'analyser les situations critiques qui pourraient survenir, et des acteurs opérationnels, qui connaissent les problématiques et les besoins associés à la prévention et la gestion de ces risques émergents. C'est pourquoi la gouvernance s'organise au travers de deux instances, une de gouvernance et de définition des priorités et l'autre qui éclairera la première en apportant les éléments scientifiques et techniques :

- un comité de pilotage (COFIL), co-présidé par le représentant du DGPR et du DGSCGC, auquel siègent les directions générales concernées, ainsi que les opérateurs INRAE et ONF, a pour rôle de déterminer les orientations générales du plan d'actions. Il est également chargé de son adaptation au fur et à mesure de l'avancée des connaissances scientifiques ou de l'évolution des phénomènes. Il se réunit au moins une fois par an. Il convient d'associer en tant que de besoin les collectivités locales via leurs représentant(e)s au sein de l'association nationale des élus de la montagne (ANEM).
- un comité scientifique et technique animé par les opérateurs INRAE et ONF, qui rassemblent les organismes de recherche concernés (CNRS-INSU, Universités,...), qui a pour but de :
 - éclairer le COFIL sur les orientations de recherche et de suivi ;
 - coordonner les actions de recherche autour des risques d'origine glaciaire et périglaciaire ;
 - éclairer les décisions de priorisation des actions sur les risques d'origine glaciaire et périglaciaire ;
 - maintenir un réseau d'experts mobilisables pour analyser les situations et proposer des mesures à prendre sur des sites particuliers.

Il se réunit au minimum une fois par an en amont du COFIL.

MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE PROGRESSIVE ET PROPORTIONNÉE DE LA STRATÉGIE DE PRÉVENTION DES RISQUES D'ORIGINES GLACIAIRE ET PÉRIGLACIAIRE

La stratégie de prévention des risques d'origines glaciaire et périglaciaire, déclinée en objectifs, porte sur le court, le moyen et le long termes. Elle sera déclinée au travers de plans d'actions pluriannuels, avec une première période de 3 ans, qui posent un cadre d'actions partagé. Le comité de pilotage s'attachera à définir des objectifs intermédiaires adaptés à la durée du plan d'actions. Les actions seront évaluées et révisées à l'issue de cette durée en fonction de l'avancée des connaissances et de l'évolution des phénomènes. L'exercice sera clôturé par un état des lieux afin d'établir un bilan, de donner de la visibilité aux actions qui auront été réalisées et alimenter la mémoire collective sur les évolutions mesurées. Cette étape de synthèse sera mise à profit pour dégager de nouvelles actions à mener et enclencher l'étape suivante. Ces plans d'actions seront assortis d'indicateurs et de production de livrables afin de maintenir une dynamique et de s'assurer de sa bonne conduite.

Annexe 18. Références bibliographiques et documentation utilisée par la mission

- Ancey C., 1998. Guide neige et avalanches : Connaissances, pratiques, sécurité, Édisud, Aix-en-Provence, 2e édition, 335 p.
- Bard A., Renard B., Lang M., 2012. Tendances observées sur les régimes hydrologiques de l'arc alpin. La Houille blanche, 1, 38-43.
- Besson L., 2005. Les Risques naturels : De la connaissance pratique à la gestion administrative, coll. Dossier d'experts, Territorial éditions, Paris, 592 p.
- Bodin X., Schoeneich P., Deline, P., Ravanel L., Magnin F., Krysiecki J.-M. et Echelard T., 2015. Le permafrost de montagne et les processus géomorphologiques associés : évolutions récentes dans les Alpes françaises. Revue de géographie alpine.
- Bolognesi R., 2002. Des avalanches en modèle réduit. Neige et avalanches, 100, 16-19.
- BRGM Base de données nationale mouvements de terrain, <http://www.mouvementsdeterrain.fr/>
- Buisson A., Guirado F., Lacroix F. & Valla F., 1999a. Glaciers à risques, Alpes françaises, Éditions Cemagref, Antony, 250 p.
- Buisson A., Dumas C., Reynaud L. & Valla F., 1999b. Les risques naturels d'origine glaciaire: inventaire dans les Alpes françaises et typologie, La Houille Blanche, 85:5, 47-53, DOI: 10.1051/lhb/1999057
- Chanut M.-A., Dubois L. & Duranthon J.-P., 2014. Analyse de l'évolution du mouvement de terrain de Séchillienne. Journées nationales de géotechnique et de géologie de l'ingénieur, Beauvais, 8-10 juil. 2014.
- Church, M., and Ryder, M. (1972). Paraglacial sedimentation: a consideration of fluvial processes conditioned by glaciation. Geol. Soc. Am. Bull. 83, 3059–3072. doi: 10.1130/0016-7606(1972)83[3059:PSACOF]2.0.CO;2
- Coussot P., 1996. Les Laves torrentielles : Connaissances à l'usage du praticien, série Études, Équipements pour l'eau et l'environnement, n° 23, Éditions Cemagref, Antony, 177 p.
- Da Silva Q., 2021. Analyse des facteurs climatiques et météorologiques dans le déclenchement des phénomènes glaciaires et péri-glaciaires. Mémoire de fin d'étude du Master STpE, UGA, ONF.
- Deymier C., Tacnet J.-M., Mathys N., 1995. Conception et calcul de barrages de correction torrentielle, Série Études n° 182, Éditions Cemagref, Antony, 87 p.
- Duvillard P.-A., Ravanel L. et Deline P. 2015. « Évaluation du risque de déstabilisation des infrastructures de haute montagne engendré par le réchauffement climatique dans les Alpes françaises », Revue de géographie alpine 103-2
- Duvillard P.-A., Ravanel L., Deline P. et Dubois L., 2018. *Paraglacial Rock Slope Adjustment Beneath a High Mountain Infrastructure - The Pilatte Hut Case Study (Écrins Mountain Range, France)*. Front. Earth Sci. 6:94. doi: 10.3389/feart.2018.00094
- Duvillard P.-A., 2019. Déstabilisation des terrains supports d'infrastructures de haute montagne dans les Alpes françaises. Thèse de géographie en cours d'édition.
- Eckert N., Keylock C.J., Castelbrunet 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*. J. Glaciol., 59 (213), 93-114.

Effendiantz L., Guillemin P., Rochet L., Pauly J.-C., Payany M., 2004. Les Études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux : Guide technique, coll. Environnement – Les risques naturels, ministère de l'Écologie et du Développement durable, Laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC), Laboratoires régionaux des ponts et chaussées d'Aix-en-Provence, 86 p.

Faillietaz J., et Martin F. 2013. Instabilités glaciaires et prédiction . Mémoires de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles, n° 25: 149-64

Faillietaz J., Funk M., Sornette D., 2012. *Instabilities on Alpine temperate glaciers: New insights arising from the numerical modelling of Allalingsletscher (Valais, Switzerland)*. Nat. Haz. Earth Sys. Sc., 12, 1-15.

Faillietaz J., Martin F., et Christian V. 2015. *Avalanching Glacier Instabilities: Review on Processes and Early Warning Perspectives: glacier instabilities*. Reviews of Geophysics 53 (2): 203-24

Francou B. et Vincent C., 2007. Les glaciers à l'épreuve du climat, IRD-Belin, France.

Francou B. et Vincent C., 2015. Quoi de neuf sur la planète blanche. Glénat, France.

Frey, H., Haeberli W., Linsbauer A., Huggel C., et Paul F., 2010. *A Multi-Level Strategy for Anticipating Future Glacier Lake Formation and Associated Hazard Potentials*. Natural Hazards and Earth System Science 10 (2): 339-52

Gandit M., 2021. Usages de la télédétection spatiale pour le suivi des risques glaciaires et périglaciaires, stage PAPROG ONF-RTM. Rapport de master2 géomatique Agroparistech-Université Paul Valéry Montpellier, non publié. Communiqué à la mission par RTM.

Gardent M., 2014. Inventaire et retrait des glaciers dans les alpes françaises depuis la fin du Petit Age Glaciaire, thèse. Géographie. Université de Grenoble, 2014. NNT : 2014GRENA008 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01062226>

Gardent M., Rabatel A., Dedieu J.-P., Deline P., 2014. *Multitemporal glacier inventory of the French Alps from the late 1960s to the late 2000s*. *Global and Planetary Change*, 120, 24-37.

GEORISQUE : portail ministériel d'information <https://www.georisques.gouv.fr/>

Gilbert A., Vincent C., 2013. *Atmospheric temperature changes over the 20th century at very high elevations in the European Alps from englacial temperatures*. Geophys. Res. Lett., 40, 2102-2108, doi:10.1002/grl.50401.

Gilbert A., Vincent C., Wagnon P., Thibert E., Rabatel A., 2012. *The influence of snow cover thickness on the thermal regime of Tête Rousse Glacier (Mont Blanc range, 3 200 m a.s.l.): Consequences for outburst flood hazards and glacier response to climate change*. J. Geophys. Res., 117, F04018, 2012. doi:10.1029/2011JF002258.

Groupe Falaises, 2001. Prévention des instabilités de falaises : Confrontation des méthodes d'étude des éboulements rocheux dans l'arc alpin (K. Carere, S. Ratto, F. Zanolini, eds.), Programme INTERREG II C Méditerranée occidentale et Alpes latines, 240 p.

Gruber S., Hoelzle M., et Haeberli W. 2004. *Permafrost Thaw and Destabilization of Alpine Rock Walls in the Hot Summer of 2003: Thaw and destabilizations of alpine rock walls*. Geophysical Research Letters 31 (13)

Gruber, S., et Haeberli W. 2007. *Permafrost in Steep Bedrock Slopes and Its Temperature-Related Destabilization Following Climate Change*. Journal of Geophysical Research 112 (F2)

Haeberli W., et Burn CR. 2002. *Natural Hazards in Forests: Glacier and Permafrost Effects as Related to Climate*. Environmental Change and Geomorphic Hazards in Forests 9: 167- 200

Haeberli W., Käab A., Paul F., Chiarle M., Mortara G., Mazza A., Deline P., Richardson, S., 2002. *A surge-type movement at Ghiacciaio del Belvedere and a developing slope instability in the east face of Monte Rosa, Macugnaga, Italian Alps*. Nor. Geogr. Tidsskr., 56 (2), 104-111.

- Hagenmuller P., 2014. Les Mécanismes de cohésion de la neige révélés par la microtomographie. Neige et avalanches, 145.
- Huss M., Bauder A., 2009. *Twentieth-century climate change inferred from long-term point observations of seasonal mass balance*. *Annals of Glaciology*, 50, 207-214.
- Institut des risques majeurs. Site d'information sur les risques majeurs en Rhône-Alpes, <http://www.irmagrenoble.com/>
- Lambert S., Nicot F., eds., 2010. Géomécanique des instabilités rocheuses, traité MIM (Mécanique et ingénierie des matériaux), Lavoisier, Paris, 434 p.
- Lane E.W., 1955. *The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering*. *Journal of the Hydraulics Division of the American Society of Civil Engineers*, 81 (745), 1-17.
- Legchenko A., Vincent C., Baltassat J.M., Girard J.F., Thibert E., Gagliardini O., Descloitres M., Gilbert A., Garambois S., Chevalier A., Guyard H., 2014. *Monitoring water accumulation in a glacier using magnetic resonance imaging*. *The Cryosphere*, 8, 155-166.
- Leroy-Ladurie E., 1967, Histoire du climat depuis l'an mil, Paris, Flammarion.
- Linsbauer, A., Frey H., Haerberli W., Machguth H., Azam M.F., et Allen S. 2016. « Modelling Glacier-Bed Overdeepenings and Possible Future Lakes for the Glaciers in the Himalaya—Karakoram Region ». *Annals of Glaciology* 57 (71): 119-30
- Lliboutry L., Morales Arnao B., Pautre A., Schneider B., 1977. Glaciological problems set by the control of dangerous lakes in Cordillera Blanca, Peru. *J. Glaciol.*, 18 (79), 275-290.
- Lüthi M., Funk M., 2001. *Modelling heat flow in a cold, high-altitude glacier: Interpretation of measurements from Colle Gnifetti, Swiss Alps*. *J. Glaciol.*, 47, 314-324.
- Magnin F., Josnin J.-Y., Ravanel L., Pergaud J., Pohl B., et Deline P. 2017. *Modelling Rock Wall Permafrost Degradation in the Mont Blanc Massif from the LIA to the End of the 21st Century*. *The Cryosphere* 11 (4): 1813-34
- Marcer, M., Bodin, X., Brenning, A., Schoeneich, P., Charvet, R., Gottardi, F., 2017. *Permafrost favorability index: spatial modeling in the French Alps using a rock glacier inventory*. *Front. Earth Sci.* 5, 105. <https://doi.org/10.3389/feart.2017.00105>.
- Marcer, M., Serrano, C., Brenning, A., Bodin, X., Goetz, J., Schoeneich, P., 2019. *Evaluating the destabilization susceptibility of active rock glaciers in the French Alps*. *Cryosphere* 13, 141–155. <https://doi.org/10.5194/tc-13-141-2019>.
- MATE-METL (ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement), 1999. Plans de prévention des risques naturels (PPR), risques de mouvements de terrain : Guide méthodologique, La Documentation française, Paris, 74 p.
- Mercier D., 2010. La géomorphologie glaciaire. Analyses de crises érosives d'origine climatique dans les environnements englacés et sur leurs marges. Thèses HDR, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II. HAL Id: tel-00613729 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00613729>
- MEDDTL (ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement), 2011. Les Mouvements de terrain, coll. Prévention des risques naturels, MEDDTL, Paris .
- Mougin P., Bernard G., 1922. Étude sur le glacier de Tête Rousse. In : Études glaciologiques, tome IV (P. Mougin, ed.), Imprimerie nationale, Paris, 322 p.
- Naaim-Bouvet F. et Richard D., dir., 2015. « Risques naturels en montagne ». Éditions Quae, Paris, 392 p., ISBN : 978-2-7592-2386- 2
- OECD, 2007. *Climate change in the European Alps, adapting winter tourism and natural hazard management*, Shardul Agrawal, Editor (version française citée par ailleurs dans le rapport)

- Paul F., Rastner P., Azzoni R-S, Diolaiuti G., Fugazza D., Le Bris R., Nemec J., Rabatel A., Ramusovic M., Schwaizer G., and Smiraglia C., 2020, Glacier shrinkage in the Alps continues unabated as revealed by a new glacier inventory from Sentinel-2, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 1805–1821, 2020 <https://doi.org/10.5194/essd-12-1805-2020>
- 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*, 21(2), 357-365.
- Ravel, L., Deline, P., Lambiel, C., & Vincent, C. (2013). Instability of a high alpine rock ridge: The lower Arête des Cosmiques, Mont-Blanc Massif, France. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 95(1), 51-66.
- Ravel, L., Magnin, F., & Deline, P. (2017). Impacts of the 2003 and 2015 summer heatwaves on permafrost-affected rock-walls in the Mont-Blanc massif. *Science of the Total Environment*, 609, 132-143.
- Ravel L., Moreau L. (2018). Apparitions et disparitions glacio-géomorphologiques autour de la Mer de Glace au cours des étés 2016 et 2017. *Nature et Patrimoine en Pays de Savoie*, 55 : 25-25.
- René P., 2013. *Glaciers des Pyrénées : Le réchauffement climatique en images*, Éditions Cairn, Pau, 168 p.
- Reynaud L., 1988. *Gébroulaz, un glacier de la Vanoise*, brochure du Parc national de la Vanoise. RTM-ONF : Base de données RTM, n'est pas en accès libre à ce stade.
- Schaer M., Issler D., 2001. Particle densities, velocities and size distributions in large avalanches from impact-sensor measurements. *Ann. Glaciol.*, 32, 321-327.
- Six D., Vincent C., 2014. Sensitivity of mass balance and equilibrium-line altitude to climate change in the French Alps. *J. Glaciol.*, 60 (223), 867-878.
- S.N.O.S.M., 2020. Bilan des accidents mortels 2009-2020 des sports de montagne https://www.snosm.fr/sites/default/files/2021-03/Bilan%20des%20accidents%202020_0.pdf
- Tacnet J.-M., Richard D., 2010. De la conception à la sûreté des barrages de correction torrentielle, *Sciences, eaux et territoires*, 2, 164-175.
- Tacnet J.-M., Thibert E., Berthet-Rambaud P., Limam A., Naaim M., Perrotin P., Richard D., 2010. Conception et comportement dynamiques des structures de génie civil : Application aux ouvrages paravalanches. *Sciences, eaux et territoires*, 2, 46-57.
- Thibert E., Eckert N., Vincent C., 2013. *Climatic drivers of seasonal glacier mass balances: An analysis of 6 decades at Glacier de Sarennes (French Alps)*. *The Cryosphere*, 7, 47-66, doi:10.5194/tc-7-47-2013.
- Vallon M., 1989. *Evolution, water balance, potential hazards, and control of a pro-glacial lake in the French Alps*. *Ann. Glaciol.*, 13, 273-278.
- Vallot J., Delebecque A., Duparc J.-L., 1892. Sur la catastrophe de Saint-Gervais. *Arch. Sci. Phys. Natur.*, 28, 1-25.
- Viallon-Galinier L., 2019. Étude prospective de la prise en compte des risques d'origine glaciaire et périglaciaire dans un plan interministériel, thèse MSAPDD, ENPC-AgroParisTech, non publié, communiqué à la mission par la DGPR.
- Vincent C., 2002. *Influence of climate change over the 20th century on four French glacier mass balances*. *J. Geophys. Res.*, 107, 4375. doi:10.1029/2001JD000832.
- Vincent C., Auclair S., et Le Meur E. 2010. « *Outburst Flood Hazard for Glacier Dammed Lac de Rochemelon, France* ». *Journal of Glaciology* 56 (195): 91-100

Vincent C., Descloitres M., Garambois S., Legchenko A., Guyard H., Thibert E., Gilbert A., Karr N., Tairraz V., 2012. *Intraglacial water reservoir detected from a geophysical survey in 2010 and preventive measures to avoid a disaster*. La Houille blanche, 2, 34-41, doi:10.1051/lhb/2012013.

Vincent C., Garambois S., Thibert E., Lefèbvre E., Le Meur E., Six D., 2010. Origin of the outburstflood from Glacier de Tête Rousse in 1892 (Mont Blanc area, France). *J. Glaciol.*, 56 (198), 688-698.

Vincent C., Kappenberger G., Valla F., Bauder A., Funk M., Le Meur E., 2004. *Ice ablation as evidence of climate change in the Alps over the 20th century*. *J. Geophys. Res.*, 109, D10104. doi:10.1029/2003JD003857.

Vincent C., Le Meur E., Six D., Funk M., 2005. *Solving the paradox of the end of the Little Ice Age in the Alps*. *Geophysical Research Letters*, 32, L09706, doi:10.1029/2005GL022552.

Vincent C., Le Meur E., Six D., Possenti P., Lefebvre E., Funk M., 2007. *Climate warming revealed by englacial temperatures at Col du Dôme (4 250 m, Mont Blanc area)*. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L16502, doi:10.1029/2007GL029933.

Vincent C., Six D., Thibert E., 2012. L'évolution des glaciers alpins et les risques d'origine glaciaire. *La Météorologie*, 78, 44-53.

Vincent C., Thibert E., Harter M., Soruco A., Gilbert A., 2015. Volume and frequency of ice avalanches from the Tacconnaz hanging glacier (French Alps). *Ann. Glaciol.*, 56 (70), 17-25.

Vincent C., Gilbert A., Jourdain B., Piard L., Ginot P., Mikhalenko V., Possenti Ph., Le Meur E., Laarman O. and Six D., 2020, *Strong changes in englacial temperatures despite insignificant changes in ice thickness at Dôme du Goûter glacier (Mont Blanc area)*, *The Cryosphere*, 14, 925–934, 2020 <https://doi.org/10.5194/tc-14-925-2020>

		avalanche de glace de grande ampleur, les risques liés à l'aérosol deviennent parfois importants).		
IGA/ETNA		<p><u>Modélisation de la propagation des événements rocheux à haute-altitude</u></p> <p>S'il semble assez facile de traiter le cas des chutes de blocs unitaires avec les outils existants (analyse trajectographique), pour les avalanches rocheuses, en revanche, les avalanches de glace et les avalanches mixant roche et glace, il est nécessaire de faire de nouveaux développements. A minima, il faudrait développer des modèles granulaires permettant de définir une zone de départ du Modèle Numérique de Terrain pré-fragmentée. Ces modèles sont en cours de développement et devraient être opérationnels d'ici un ou deux ans. Mais il faudra également intégrer la fragmentation des particules (roche, glace) au cours de la propagation, notamment grâce à une approche basée sur des zones cohésives extrinsèques.</p>	1 ETP (Post-Doc)	50 K€
IGA/ETNA		<p><u>Lacs et propagation des écoulements</u></p> <p>Il est nécessaire de mener des recherches sur :</p> <p>1/ la problématique de l'initiation des écoulements avec en arrière-plan plusieurs cas de figure : conditions de rupture brutale (type « Tête Rousse », glace ou berge morainique) ou de rupture progressive d'un barrage morainique (surverse ou érosion interne avec ouverture de brèche ou renard hydraulique) ou d'un barrage de glace (érosion de la glace par un écoulement d'eau).</p> <p>2/ la problématique du chargement en sédiments de l'écoulement par érosion avec une large gamme de phénomènes possibles allant du charriage torrentiel classique aux laves torrentielles en</p>	1 ETP (Post-Doc)	50 K€

		<p>passant par différents types d'écoulement hyper-concentrés, pas forcément bien identifiés à ce jour. La problématique de la rhéologie des mélanges « eau + glace » et de la propagation de tels écoulements avec prise en compte des effets thermiques (fonte progressive de la glace dans le mélange) restent des questions ouvertes.</p>		
IGE/ETNA		<p>Modélisation systémique/prospective, d'abord qualitatif puis quantitatif</p> <p>Il s'agit de situer les ROGP et les différentes vallées alpines dans la séquence dite « paraglaciale » (courbe de Mercier, 2019) et travailler à l'anticipation future (en gros, « où et quand les différents ROGP vont-ils apparaître ou disparaître ou, à tout le moins, s'intensifier ou diminuer ? ») en s'appuyant sur les évolutions prévisibles du climat et des glaciers. Pour cela un travail sur l'inventaire géo-historique (voir point suivant) sera nécessaire.</p>	1 ETP (Post-Doc)	50K€
IGE/ETNA		<p>Modélisation des processus à la base des ROG pour les glaciers blancs</p> <p>Amélioration de la description des processus dans le modèle « Elmer/Ice » : (code communautaire de modélisation de l'écoulement des glaces, glaciers, calottes polaires) : fracturation et endommagement de la glace (chute de séracs, ouverture de crevasses), frottement lorsque la base du glacier devient progressivement tempérée, lien entre le frottement et l'hydrologie sous-glaciaire, détection de potentielle poche d'eau, meilleure prise en compte des mécanismes de percolation et fonte/regel au sein du manteau neigeux pour la modélisation du régime thermique des glaciers, mécanismes d'ouverture de chenaux sous glaciaire, creusement</p>	1 ETP (Post-Doc)	50 k€

		de bédrière en cas de surverse d'un lac...		
IGE/ETNA		<p><u>Observations des glaciers blancs</u></p> <p>Dans la continuité des activités de suivi observationnel menées à l'IGE/ETNA, il s'agirait de conduire des programmes de recherche permettant de mieux contraindre la physique des processus décrits dans la partie ci-dessus. En plus des systèmes d'observation déjà validés, utilisation de nouveaux instruments : fibre optique pour la mesure de température ou de déformation, capteurs connectés pour un suivi plus long des déformations sans risque de rupture du câble, sonde « sonic » pour la teneur en eau de la glace, etc.</p>	1 ETP (Post-Doc)	50 k€
IGE/ETNA		<p><u>Suivi des glaciers blancs "à risques"</u></p> <p>Aujourd'hui l'IGE/ETNA travaille sur le suivi récurrent des glaciers de « Tête Rousse », de « Taconnaz » et du lac des Bossons. Les processus en jeux évoluant généralement sur un temps très long (décennies) et les glaciers étant fortement sollicités dans un climat qui se réchauffe, il est fort probable que cette activité de suivi déjà très chronophage s'amplifie dans le futur (missions de terrain, modélisation, rapports, réunions en préfecture/mairie, etc...). On peut déjà ajouter à la liste pour la vallée de Chamonix le suivi du glacier des Bossons et sa potentielle déstabilisation dans les prochaines décennies.</p>	1 ETP (Post-Doc)	50 k€
IGE/ETNA		<p><u>Constitution d'un inventaire des ROGP par enquête géo-historique.</u></p> <p>Ce travail permettra d'étayer les affirmations concernant les évolutions des ROGPs (notamment leur émergence depuis le Petit Age</p>	Il ne s'agit sans doute pas d'un ETP permanent mais plutôt de RH temporaire sur 2-3 ans.	

		Glaciaire, le déplacement en localisation et en altitude, et en nature avec le réchauffement, et d'attendre/mettre en perspective ce qu'apportera progressivement la mise en place d'un éventuel observatoire.		
IGE/ETNA		<u>Actualisations nécessaires pour le suivi de l'évolution spatio-temporelle</u> (= actualisation des inventaires des glaciers (blancs, couverts, rocheux), des lacs (pro, supra, juxta-glaciaires), des dépôts d'éroulement (en surface des glaciers) incluant l'apport de la télédétection. Par exemple, l'actualisation de l'inventaire des glaciers des Alpes FR (le précédent datant de 2015), est toujours d'actualité.		
IGE/ETNA		Dans l'hypothèse d'un financement ANR d'une durée de 3 ans, le montant total des dépenses éligibles proposé est : 8x 50k€ (salaires avec charges) x 3 (ans) auquel il convient d'ajouter un « environnement » d'environ 40% du coût total correspondant aux frais annexes (missions, sous-traitance, stage, instrumentation, frais d'hélico, machine de calcul, etc.), soit un total de : 8x50x3X1,4 k€ de dépenses éligibles.		Sous-total (dépenses éligibles) IGE/ETNA : 1700 k€
EDYTEM		<u>Mieux comprendre les phénomènes générateurs de risques</u> 1/ Modélisation hydro-thermo-mécaniques des parois rocheuses et glaciaires et des glaciers rocheux. Travail de modélisation numérique à partir de données provenant de sites instrumentés (Aiguille du Midi, Grands Montets, Iseran, etc.) ou à instrumenter (Laurichard, Tour Ronde, Lou, Petit et Grand Flambeau, etc.) ou dont l'instrumentation doit être	24 mois de post-doc 12 mois de CDD IE-IR Equipements (forages instrumentés, géophysique continue) Missions (campagnes)	200 k€ 50 k€ 100 k€ 15 k€

		<p>renforcée (glaciers suspendus de l'Aiguille du Midi par ex.)</p> <p>Collaborations avec IGE, ISTERre, 3SR, INRAe.</p> <p>2/ Modélisation de la propagation des matériaux glace/roche/eau et des processus de cascade.</p> <p>Intégration des résultats thermo-hydro-mécaniques (lien avec thèse en cours de M. Cathala)</p> <p>équipements sur les sites Perma France et/ou d'intérêt dans le cadre de la gestion des ROGP et les équipements pour le suivi des ROGP.</p> <p>Collaboration avec INRAe, SL Davos.</p> <p>3/ Modélisation du bilan d'énergie</p> <p>Afin d'obtenir une idée plus précise de la distribution du pergélisol en montagne.</p>	<p>12 mois de post-doc</p> <p>12 mois de stage</p> <p>Equipements (calcul, stockage de données)</p> <p>Missions (campagnes)</p> <p>10 mois de post-doc</p> <p>Missions</p>	<p>100 K€</p> <p>12 K€</p> <p>10 K€</p> <p>10 K€</p> <p>90 K€</p> <p>4 K€</p>
EDYTEM		<p><u>Suivre l'évolution du permafrost de montagne</u></p> <p>1/ Instrumentation in situ et observations. Compléter les équipements sur les sites Perma France et/ou d'intérêt dans le cadre de la gestion des ROGP et les équipements pour le suivi des ROGP.</p> <p>2/ Télédétection Production de données de mouvements (InSar et optique)</p>	<p>6 forages (en paroi et en GR).</p> <p>CDD IE pérenne (relevé mesures, gestion/diffusion de données)</p> <p>Acquisition d'un LiDAR</p> <p>Frais de fonctionnement (calcul, stockage)</p> <p>CDD IE/IR (2 mois/an) pour l'analyse des données.</p>	<p>120 k€</p> <p>50K€/an</p> <p>50K€/an</p> <p>5K€/an</p> <p>5K€/an</p>
EDYTEM		<u>Diffuser les données et les connaissances</u>		

		<p>Gestion des données produites</p> <p>Diffusion et sensibilisation, animation avec les acteurs et le public.</p>	<p>CDD IE (2 mois/an)</p> <p>Fonctionnement</p> <p>CDD (6 mois/an)</p>	<p>5K€/an</p> <p>8K€/an</p> <p>15K€/an</p>
EDYTEM		Le montant des dépenses éligibles est calculé en faisant l'hypothèse d'un financement ANR sur une durée de trois ans.		Sous-total dépenses éligibles EDYTEM : 1080 k€
ISTerre	UGA, USMB, Université Gustave Eiffel, CNRS, IRD	<p><u>Méthodes d'imagerie et de caractérisation intra/sous glaciaires.</u></p> <p>Sur les méthodes d'imagerie et de caractérisation intra/sous glaciaires, des améliorations sont possibles notamment avec la sismique active : nos résultats récents parviennent à exploiter les hautes fréquences, ce qui entraîne un potentiel d'amélioration en termes de résolution. Les méthodes d'analyse modale et d'analyse de polarisation ont, certes, une résolution bien plus limitée, mais peuvent aussi permettre de détecter des volumes à un coût (instrumentation/traitement) beaucoup plus limité. Couplée à des campagnes de géoradar alimentant des modèles mécaniques simples, l'analyse vibratoire permet d'interpréter les modes de vibrations observés, et de détecter les modes propres de résonance d'une cavité. Nos derniers tests confirment ces pistes, mais nécessitent encore un travail important. Il paraît aussi utile, compte tenu des performances de calcul actuel, de tester des imagerie (migration) 3D et sismique et en radar. Le coût instrumental sur le terrain serait significatif, mais si le gain est à la hauteur de nos espoirs, cette approche permettrait de répondre aux questions d'imagerie/ de caractérisation des structures (géométrie de la poche</p>	<p>Post-doc (2 ans)</p> <p>2 campagnes de sismique haute fréquence</p> <p>Collecte de données de sismique vibratoire pendant 2 ans (au moins pendant l'été</p>	<p>100K€</p> <p>60 K€</p> <p>30 K€</p>

		d'eau/de la cavité, canaux intra/sous glaciaires.		
ISTerre		<p><u>Surveillance et alerte</u></p> <p>S'agissant de la surveillance et de l'alerte l'analyse du bruit de fond peut permettre de localiser, voire de quantifier des écoulements intra/sous-glaciaires, ce qui peut aider à comprendre le fonctionnement hydrologique des éventuelles cavités. Plusieurs codes de calculs existent et peuvent être testés (sans pour autant être à un niveau d'écriture industriel actuellement).</p> <p>Cela peut également permettre de surveiller la rigidité globale du volume de glace (variation relative de vitesse des ondes sismiques de surface, sensible à la vitesse des ondes de cisaillement donc de la présence d'eau ou de vides) qui évolue avec les éventuelles vidanges et mises en pression d'une poche d'eau.</p> <p>Sur les zones de pergélisol : la pérennisation de la surveillance sismologique de glaciers rocheux actifs peut permettre de documenter la réponse de ces milieux au forçage climatique, et d'anticiper des déstabilisations/réactivations inédites depuis le Petit Âge Glaciaire mais potentiellement génératrices de risques gravitaires et torrentiels. Des campagnes standards et légères de sismique active et de GPR permettent de contraindre les modèles de sol, et l'analyse de la rigidité par les méthodes de bruit de fond sismique peuvent suivre le contenu en glace (qualitativement, voire quantitativement d'après les derniers résultats) et anticiper une dynamique inhabituelle (fracturation, accélération). Le travail est largement avancé (avec des exemples en Suisse), il manque peut-être des exemples en France pour</p>	Post-Doc 3 ans	150K€
			Maintenance de systèmes d'acquisitions de bruit de fond sismique	100 K€ sur au moins trois ans.

		que les acteurs locaux/régionaux s'emparent de ces techniques.		
ISerre		<p>Projets plus fondamentaux</p> <p>1) Proposer une approche d'inversion jointe GPR, RMP mais aussi éventuellement sismique, voir gravi. Dans ces inversions jointes ou collaboratives, nous relierons les paramètres physiques à inverser aux différentes observations, l'inversion des paramètres étant réalisée de façon globale, ce qui permet d'optimiser les informations. Il est évidemment possible de tendre vers des inversion jointe en 3D et non pas simplement en 2D.</p> <p>2) la micro-sismicité est aussi un outil avec un gros potentiel pour le suivi des déstabilisations des zones froides (glaciers froids "blancs"), zones dans lesquelles le comportement fragile est bien compatible avec la détection sismique. La méthode n'est pas nouvelle mais l'accès et l'instrumentation ont longtemps été limitants. Les nouvelles technos permettent une instrumentation plus facile sur le terrain, facilité doublée de développements importants en traitement des données (traitement d'antenne pour localiser les événements, associée à l'IA pour détecter et classifier plus efficacement et rapidement les micro-événements). Des essais préliminaires basés sur des réseaux d'antennes sismiques, dans le massif du Mont-Blanc notamment, pourraient permettre de valider le potentiel.</p> <p>3) A l'échelle du massif et au-delà, il est important de noter qu'avec la hausse progressive de l'altitude du pergélisol, nous pouvons entrer dans une phase de "purge" globale des pentes instables, qui pourrait se caractériser par des accumulations d'éboulis subitement</p>	<p>1 thèse</p> <p>Campagne jointe RMP/GPR/Sismique</p> <p>Moyens de calculs associés</p> <p>Une thèse</p> <p>Installation, maintenance de 8 stations sismologiques dans le massif du Mont-Blanc pendant 3 ans.</p>	<p>100 K€</p> <p>50 K€</p> <p>30 K€</p> <p>100K€</p> <p>150 K€</p>

		libérées de leur "ciment" de glace. Les exemples locaux/ponctuels se multiplient, mais une approche globale qui permettrait d'anticiper les volumes potentiellement en cours de déstabilisation, ou mobilisables par des pluies intenses sous forme de lave torrentielle (et lorsque la connectivité avec la vallée existe bien), n'est pas encore finalisé il me semble. Nous sortons évidemment là du cadre des risques glaciaires, et il y a une part d'incertitude sur cette hypothèse globale. La détection sismique proposée plus haut permettrait de fournir des catalogues de déstabilisation (éboulements notamment) beaucoup plus précis et complet (intensité, volume, localisation) -> action en collaboration avec ETNA et EDYTEM, alimentée par le point évoqué précédemment.		
ISerre				Sous-total dépenses éligibles ISerre : 870 K€
CNRM/CEN	Météo-France/CNRS	Liens entre précurseurs climatiques et ROGP, évolution entre le forçage climatique et la stabilité des glaciers.	2 post-docs	100K€/an
				Total dépenses éligibles : 3.8 M€

[Site internet de l'IGEDD : « Les derniers rapports »](#)