



*Pôle Alpin d'Etudes et de Recherche
pour la Prévention des Risques Naturels*



Plan de propositions d'actions scientifiques et techniques, pour une meilleure prévention des Risques d'Origine Glaciaire et Périglaciaire (ROGP)

Rédaction : Boudières Vincent et Peisser Carine, PARN¹
Juin 2013

¹ Avec relecture demandée aux acteurs scientifiques et techniques concernés au sein du réseau du PARN, et avec les retours et contributions de : X. Bodin & P. Deline (EDYTEM), S. Garambois (ISTerre), M. GAY (GIPSA-lab), D. Richard (Irstea), P. Schoeneich (PACTE).



Introduction

Les risques d'origine glaciaire et périglaciaire (ROGP) sont dans la majeure partie des cas caractérisés par une faible fréquence d'occurrence mais une intensité potentiellement forte. Leur potentiel de destruction, ainsi que la difficulté à s'en protéger, tendent selon la définition proposée par H. Tazieff à en faire des **risques majeurs**. Ils peuvent également être qualifiés d'**émergents**, dans la mesure où ils n'ont pas ou peu d'équivalent dans le passé, entre autres du fait d'une évolution climatique hors de la variabilité connue.

A ce titre, ils sont une préoccupation pour la direction générale de la prévention des risques (DGPR) du ministère en charge de l'écologie.

La situation de crise engendrée en 2010 par la découverte de la poche d'eau sous le glacier de Tête Rousse (Haute-Savoie) a renforcé un constat déjà établi suite à la gestion de la vidange du lac glaciaire de Rochemelon (Savoie, 2004) : en dépit de programmes scientifiques et techniques récents sur le thème du risque d'origine glaciaire et périglaciaire, les organismes en charge de la gestion du risque sont encore assez largement démunis face à un certain nombre de questions ou situations spécifiques liées à l'évolution des milieux de haute montagne (glaciers et marges proglaciaires, zones récemment déglacées, permafrost).

Ce constat est lié pour partie au fait que les risques d'origine glaciaire et périglaciaire sont évolutifs par rapport au forçage climatique. Si certains aléas sont répétitifs, d'autres disparaissent alors que de nouveaux aléas sont susceptibles d'apparaître au gré du retrait des glaciers et de la dégradation du permafrost. Les approches classiques largement basées sur la connaissance historique ne sont dès lors pas toujours pertinentes pour ce type d'aléas.

Dans ce contexte, la DGPR souhaite **identifier des pistes d'actions scientifiques et techniques** qui contribuent à une meilleure connaissance et à une **meilleure prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire**.

La spécificité de ces risques (risques rares, potentiellement destructeurs, avec effets couplés, évolutifs avec le climat etc.), ainsi que l'aspect interdisciplinaire des études et les incertitudes associées font que le partage d'expériences et la confrontation des avis semblent incontournables. Toutefois, la richesse et la diversité des approches, qu'elles soient d'ordre scientifique, technique, organisationnel ou institutionnel, ne doivent pas occulter l'impératif d'action et de prévention.

Dans la poursuite de la réflexion et de la dynamique engagées à l'occasion du séminaire sur les risques d'origine glaciaire et périglaciaire des 12 et 13 mars 2012, le PARN a rencontré divers acteurs, afin d'élargir le panorama aux disciplines absentes lors de la première phase et de couvrir ainsi l'ensemble de la chaîne de prévention et de gestion des risques.

Sur ces bases, le PARN a rédigé une synthèse de l'état actuel des connaissances et des pratiques, tant scientifiques que techniques, opérationnelles et organisationnelles, dans le domaine des risques d'origine glaciaire et périglaciaire, en mettant en exergue des difficultés et points de blocage rencontrés.



Il s'agit maintenant, en s'appuyant sur cet exercice de capitalisation, de proposer des pistes d'actions envisageables à court, moyen et long termes pour permettre de faire progresser l'action préventive sur ce type de risque.

Le présent document, établi en collaboration avec les différents acteurs des domaines concernés, présente donc les pistes opérationnelles, scientifiques et conjointes à explorer, ainsi que les adaptations et améliorations souhaitables en matière d'action préventive.

Enfin, il est important de souligner le caractère intégré et transversal de ce plan qui propose selon les piliers de la prévention concernés, une approche à la fois interministérielle et au delà collective avec l'ensemble des pouvoirs publics concernés (régions, départements, EPCI, communes, mais aussi instances de massif).



Sommaire

Le plan d'actions proposé suit dans sa structure les 6 piliers de la prévention des risques majeurs² :

1- La connaissance des risques	6
2- La Surveillance, la prévision, la vigilance et l'alerte	11
3- L'éducation et l'information préventive des citoyens	14
4- La prise en compte des risques dans l'aménagement	17
5- La réduction de la vulnérabilité, la protection	20
6- La résilience et la mise en sûreté	22

A ces piliers s'ajoutent 2 axes complémentaires :

7- La mémoire et le retour d'expérience	25
8- L'adaptation aux impacts attendus du changement climatique	27

Pour chaque pilier, le plan d'actions reprend très succinctement les principaux éléments issus de la synthèse des connaissances et pratiques, auxquels s'ajoutent des informations complémentaires tirées d'une démarche d'entretiens auprès d'experts³ non présents lors du séminaire de Mars 2012. Ces entretiens ont notamment permis d'approfondir des thèmes et problématiques peu ou pas abordées en séminaire telles que la réduction de la vulnérabilité ou bien l'information et la communication sur les risques. Ces entretiens ont également permis d'alimenter les propositions et pistes d'actions.

Par ailleurs pour chaque pilier des pistes d'actions sont proposées. Elles relèvent de trois domaines différents :

- **Recherche** : il s'agit ici de propositions qui concernent la sphère scientifique, notamment dans un objectif et un besoin identifié de développement de connaissances scientifiques spécifiques.
- **Opérationnels/Technique** : il s'agit ici de propositions qui concernent les acteurs techniques de la gestion du risque. Elles concernent des besoins que ces acteurs ont pu exprimer pour améliorer leur capacité d'action (besoin de transferts, de méthodologiques, outils,...).

² Tels que déclinés dans le cadre de la politique de prévention des risques majeurs du Ministère de l'environnement : www.developpement-durable.gouv.fr

³ Au delà des acteurs scientifiques et techniques ayant apporté leur contribution au séminaire de mars 2012, des entretiens complémentaires ont été réalisés auprès des personnes et organismes suivants : DDT 74 : A. Stephan et G. Serpette, IRMA : F. Giannocarro, EDYTEM : P. Pigeon, RTM : O. Marco et P. Bouvet, PACTE-LATTS : L. Creton Cazanave.



- **Organisationnel/institutionnel** : Il s'agit de propositions ou pistes d'action visant une meilleure approche collective de la prévention de ce type de risque. Ces pistes visent par exemple le décloisonnement et l'échange d'information pour une efficacité renforcée de chacun des acteurs dans son domaine d'activité et de compétences.

Dans les cas où cela est nécessaire, les éléments ci-dessus sont abordés de façon différenciée pour les risques d'origine glaciaire (associés aux glaciers) et pour les risques d'origine périglaciaire (associés au permafrost).

Enfin, nous présentons **deux propositions transversales** pour un plan d'action national de prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire (ROGP) :

Proposition 1 : Plateforme d'expertise scientifique et technique	29
Proposition 2 : « Sites test »	33
Références et liste des sigles des laboratoires et universités ou organismes cités :	36
Annexe : tableau synthétique des piliers 1 à 6	38



Pilier 1 - Connaissance des risques

La connaissance des risques s'appuie sur celle de l'aléa d'une part et des enjeux exposés d'autre part.

Outre les analyses d'événements passés, qui sont assez limités dans le cas des ROGP puisque ces phénomènes sont rares et susceptibles de changer avec l'évolution des surfaces glaciaires, elle repose à la fois sur les études de compréhension des mécanismes d'une part et sur les études techniques conduisant à la production de cartes d'aléas (extension et intensité des phénomènes).

A. Eléments de synthèse

De façon générale, la connaissance des phénomènes a progressé au cours des 15 dernières années mais reste encore trop parcellaire, tant pour ce qui concerne la compréhension des processus, nombreux et variés, que de l'identification des sites à risque.

Des avancées sont nécessaires en particulier sur la compréhension des mécanismes de formation afin d'améliorer les possibilités d'aide à la détection des situations à risque : beaucoup de questions sont toujours du domaine de la recherche, qu'il faut continuer à faire progresser.

Du point de vue scientifique, la question des risques est souvent étudiée uniquement en marge des activités de recherche.

En parallèle, dans les services opérationnels et techniques, la connaissance des ROGP est généralement faible, sauf cas particuliers d'un service déjà confronté à un cas. Les services soulignent le manque de partage de l'information, détenue pour l'essentiel par les scientifiques : le fait de connaître le risque potentiel sur leur territoire pourrait permettre une anticipation des réactions.

La connaissance est toujours accompagnée de beaucoup d'incertitude qui oblige souvent à prendre en compte le « scénario du pire ».

Enfin, il faut noter que l'essentiel de la connaissance du risque se concentre sur la connaissance des phénomènes, parfois des aléas. La connaissance des enjeux et de leur vulnérabilité associée reste peu développée, alors qu'il existe des spécificités intrinsèques aux zones de montagne.

a. Risques d'origine glaciaire

Le dernier inventaire des milieux glaciaires (projet Interreg GlaRiskAlp, 2013) donne l'extension des glaciers actuelle et passée. Il peut permettre de pré-identifier des zones favorables au développement de lacs.

Les méthodes d'imagerie satellitaire permettent de détecter à distance les lacs et les mouvements de surface (niveau de définition à préciser pour une utilisation en détection des chutes de séracs et des ruptures de glacier).

Pour la détection de lacs, si des méthodes existent, il n'y a pas de campagne de détection systématique : le risque de « passer à côté » d'un événement existe donc.



Pour les poches intra glaciaires, les méthodes⁴ de détection portées par le LTHE et ISTerre (géoradar, Résonance Magnétique des Protons (RMP)) sont utilisables ponctuellement sur un site. En revanche, il est difficilement envisageable de systématiser la détection à l'ensemble des glaciers.

Pour les chutes de séracs et ruptures de glaciers, des méthodes par imagerie satellitaire sont en cours de développement pour la détection à distance, mais ce sont surtout les méthodes de caractérisation sur site identifié qui sont utilisées (voir Pilier 2).

Il n'y a pas d'inventaire à jour des sites à risque (le dernier date du projet européen Glaciorisk, 2004).

Les sites de Tête Rousse et Tacconnaz sont particulièrement étudiés dans le cadre de programmes de recherche (+ glacier d'Argentière pour la télédétection).

b. Risques d'origine périglaciaire

La carte de distribution du permafrost (projet Interreg PermaNET) et l'inventaire des milieux glaciaires (projet GlaRiskAlp) sont des outils à disposition pour identifier les sources possibles de phénomènes périglaciaires ou la présence de glace morte enfouie.

Le projet PermaNET a publié un guide de recommandations pour l'évaluation des aléas périglaciaires, accompagné de fiches techniques présentant les méthodes de détection disponibles.

Les Alpes du Sud (05 et 06) disposent d'un inventaire complet des glaciers rocheux réalisé par les services départementaux du RTM (2012) ; à ce jour 2 sites à risque en lien avec des glaciers rocheux ont été mis en évidence. 51 sites identifiés nécessitent des investigations complémentaires.

Pour couvrir des territoires plus vastes et difficilement observables, les méthodes de détection par interférométrie radar satellitaire semblent prometteuses pour détecter d'éventuelles déstabilisations de glaciers rocheux (recherches en cours, GIPSA-lab).

B. Pistes d'action

a. Domaine de la recherche

Soutien de la recherche sur la compréhension des processus glaciaires et périglaciaires :

- Assurer des moyens financiers mais aussi humains, afin d'entretenir et développer les compétences actuelles, dont l'expertise scientifique fut considérablement mobilisée dans certaines situations à risque fort (ex : Christian Vincent du LGGE dans le cas de Tête Rousse) ;

⁴ Il s'agit là d'une méthode spécifique mobilisée dans le cas particulier de Tête Rousse. Vis-à-vis de cette problématique de détection, d'autres méthodes existent, mais demandent à être expérimentées. Des approches comparatives de nature méthodologique sont donc encore nécessaires pour arriver d'une part à mieux comprendre les processus, d'autre part à mieux caractériser les phénomènes.



- **Prévoir des moyens dédiés à la recherche en période de crise** et immédiatement après, afin de profiter des possibilités particulières d'acquisition de connaissances dans ces cas « actifs » ;
- Assurer la pérennité des services d'observation (GlacioClim pour les glaciers, PermaFRANCE pour le permafrost), afin de fournir des données à moyen et long terme permettant de comprendre l'évolution des phénomènes et leur relation au climat.

Soutien de la recherche sur la méthodologie d'identification des sites à risque ou supposés comme tels (entre autre dans le prolongement de GlaRiskAlp et de PermaNET) :

- Caractérisation de l'aléa (définition des indices et critères) ;
- Poursuite du développement des méthodes (télédétection, RMP...) ;
- Prise en compte des enjeux et de leur vulnérabilité pour aller jusqu'à la définition du risque.

Soutien des tâches d'observation et de suivi (à caractère scientifique mais dans une optique opérationnelle) :

- sur les sites-pilotes, où des mesures à long terme de variables-clés (températures, mouvement, vitesses, bilan de masse...) permettront de mieux comprendre et anticiper les dynamiques des phénomènes (y compris effets du changement climatique sur la cryosphère) (cf. Proposition transversale 2) ;
- sur des sites jugés dangereux, où des mesures poussées (haute fréquence d'acquisition), idéalement associées à des modèles dynamiques robustes, sont fondamentales pour apprécier l'évolution du contexte, et l'urgence éventuelle de mesures de protection.

Même si des échanges existent déjà au sein de la communauté scientifique, **il reste des liens à établir entre les différentes équipes de recherche**. Renforcer les collaborations entre les sciences humaines et sociales et les sciences de la terre pourrait permettre de mieux croiser les objectifs complémentaires des uns et des autres. La constitution d'un **véritable réseau interdisciplinaire** permettrait de mobiliser plus efficacement toutes les compétences nécessaires en expertise pour la gestion de ces crises complexes.

b. Domaine opérationnel / technique

Mise en place des outils de transmission de la connaissance entre recherche, opérationnels et autorités pour porter à connaissance les phénomènes à risque.

Ces outils peuvent prendre la forme de rapports annuels synthétiques ou, afin de mieux favoriser les échanges, de colloques ou séances de formation type Universités Européennes d'Été.

L'accès aux travaux scientifiques est difficile et leur nature n'est pas toujours adaptée aux besoins opérationnels. Toutefois, une fois sélectionnées et triées pour des besoins opérationnels spécifiques, les données brutes pourraient (si elles étaient livrées) constituer un matériau fertile pour les opérationnels dans leur activité de caractérisation de l'aléa



potentiel. Dans ce cadre, une meilleure définition des sorties et des résultats scientifiques à destination des opérationnels doit être envisagée. Des paramètres utiles à la gestion opérationnelle pourraient être inclus dans les tâches d'observation des Services d'Observation (ex. GlacioClim⁵ et PermaFRANCE).

Puisqu'il semble évident que, même si elles diminuent grâce aux avancées de la recherche, les incertitudes liées à ces phénomènes naturels complexes seront toujours présentes, il faut **apprendre à intégrer ces incertitudes dans l'analyse du risque** (trouver des solutions pour « faire avec »). Il est également important de bien faire comprendre le degré d'incertitude aux techniciens, à la population, aux médias.

Cela implique également que les chercheurs acceptent de faire régulièrement un point sur l'état de la connaissance « au temps t » et la diffusent aux services opérationnels sans attendre d'avoir fait diminuer davantage le niveau d'incertitude.

Afin de rendre les inventaires plus efficaces en termes de prévention des risques, il faudrait davantage croiser les approches « par le haut » (inventaires exhaustifs) et pragmatiques « par le bas » (en partant de la vulnérabilité), pour aller vers la définition de sites à risque et non simplement la détection de phénomènes. La méthodologie développée par le RTM 05 pour son inventaire des glaciers rocheux dans les Hautes-Alpes est en ce sens un bon exemple.

Il faudrait toutefois rester prudent avec ce type d'approche puisque s'il permettrait de mieux appréhender les risques sur les vulnérabilités existantes, il ne doit pas empêcher un affichage plus exhaustif de l'aléa, nécessaire dans une perspective d'aménagement possible de nouvelles zones.

Enfin, pour aider les services à caractériser la dangerosité d'un site, il faudrait parvenir, pour chaque grande classe de phénomène, à **définir une typologie de situations à problème**, avec indication des premières mesures à prendre.

c. Domaine organisationnel / institutionnel

Afin de disposer d'une connaissance le plus à jour possible des phénomènes, la question du suivi des inventaires est récurrente à tous les types de risques et reste centrale.

Une réflexion sur la mise en place d'un observatoire, qui peut permettre de suivre des évolutions, devra traiter clairement le problème de la **structure porteuse** qui doit être pérenne pour assurer :

- la régularité d'observations « standardisées » ;
- la conservation des données ;
- la mise à disposition des données.

Des universités assurent déjà certaines missions d'observation, en particulier les Services d'Observation (labellisés par l'INSU ou en demande de labellisation) GlacioClim (LGGE/LTHE, OSUG) et PermaFRANCE. Un observatoire des ROGP devrait s'appuyer sur les services existants.

⁵ <http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs/>



Dans un contexte d'aide à l'observation, il peut être intéressant de développer des réseaux d'observateurs impliquant des professionnels de la montagne, sur le principe de ce qui se fait en Suisse et en Italie avec les guides de haute montagne, notamment pour permettre :

- une observation plus systématique des phénomènes (ex. cadastre des glaciers en Vallée d'Aoste) ;
- un suivi de l'évolution relativement rapide des phénomènes.

Ces réseaux d'observateurs peuvent améliorer sensiblement l'acquisition de connaissances et la compréhension des phénomènes (ex. suivi du lac d'Arsine et du glacier rocheux du Laurichard par le PN des Ecrins), et c'est aussi une bonne façon d'améliorer la sensibilisation au risque, puisque l'on fait intervenir directement des citoyens concernés par les phénomènes observés.

Dans le massif du Mont Blanc, un réseau (guides et gardiens de refuges) a été mis en place pour l'observation des écroulements en zone de haute montagne ; son pilotage est assuré par une personne unique et sa pérennité en est donc dépendante (L. Ravel, association La Chamoniarde / EDYTEM).

De tels réseaux étant relativement lourds à mettre en place, il peut être intéressant de se baser sur les réseaux existants. Par exemple, le réseau de gardes-moniteurs et d'agents techniques des parcs nationaux et régionaux, qui couvrent une partie des massifs français, pourrait être mobilisable moyennant un minimum de sensibilisation et de formation.

La question du pilotage de tels réseaux est fondamentale pour assurer une bonne coordination des hommes de terrain, l'homogénéité des observations et leur centralisation. Cela rejoint plus globalement la réflexion à mener autour de la structure porteuse qui devrait assurer la pérennité de ce type observations.

Les apports de ces réseaux de professionnels pourraient également être complétés par la récolte d'observations spontanées auprès des pratiquants de la montagne, qui sont souvent attentifs à des phénomènes inhabituels ou à des changements observés (ex. apparition ou modification d'un lac, de trous avec glace visibles, de traces d'éboulements etc.) mais ne savent pas à qui signaler leurs observations. Il s'agirait donc d'organiser la récolte de cette information : désigner un organisme de collecte (par ex. les services RTM départementaux), organiser les relais (par ex. par les gardiens de refuge, les gendarmeries, ...) et de faire une information auprès des usagers de la montagne (par affichage dans les refuges, par les clubs de montagne, etc.). Cela implique aussi que l'organisme récipiendaire ait la capacité et les moyens de traiter, vérifier et évaluer l'information.

Ces pistes de réflexion - Observatoire des phénomènes, réseau d'observateurs et collecte d'observation – sont évidemment complémentaires ; elles participent à la fois à la connaissance des phénomènes et à la surveillance/vigilance (Pilier 2), mais sont également à intégrer dans une réflexion plus large sur la mise en réseau des acteurs de la prévention des ROGP (voir Proposition transversale 1 - Plateforme d'experts).

Pilier 2 - Surveillance, prévision, vigilance et alerte

La surveillance doit permettre d'anticiper un événement afin de pouvoir informer et alerter rapidement les autorités et la population et préparer la gestion de crise. Dans les cas favorables elle aboutit à une prévision de l'événement (délai d'occurrence et intensité).

A. Éléments de synthèse

On dispose aujourd'hui, pour l'essentiel des phénomènes d'origine glaciaire et périglaciaire, d'une certaine gamme de techniques et méthodes pour suivre l'évolution de phénomènes une fois qu'ils ont été détectés.

Il s'agit essentiellement de bathymétrie pour l'évaluation des volumes d'eau des lacs, méthodes radar et RMP pour la définition des géométries des poches d'eau, de suivi de déplacements, de vitesses et d'activité micro-sismique pour les instabilités de glaciers et glaciers rocheux, capteurs thermiques et suivi topométrique pour les instabilités de parois rocheuses.

Ces méthodes sont toujours en cours de développement et de nombreuses recherches sont encore nécessaires pour arriver d'une part à mieux comprendre les processus, d'autre part à mieux caractériser les phénomènes.

Mais, au-delà de la caractérisation des aléas, les possibilités de la surveillance à but d'alerte s'avèrent souvent limitées. En effet la pertinence de l'alerte et des possibilités d'anticipation qu'elle engendre dépend de la cinétique d'évolution des aléas et de la possibilité de suivre des signes précurseurs. Or, pour les aléas d'origine glaciaire et périglaciaire, d'une part les types de cinématiques peuvent être assez différents, ce qui engendre des modalités différentes en terme de précocité de l'alerte, et d'autre part les signes précurseurs, s'ils existent, ne sont pas toujours détectables (possibilités de prévisions de rupture pour certains glaciers instrumentés, évolutions potentiellement brutales pour les vidanges de poches d'eau, évolution progressive plus ou moins rapide pour les lacs glaciaires, accélérations de glaciers rocheux ...).

En Suisse, certaines méthodologies ont été développées dans ce sens, par exemple pour le suivi des instabilités de glaciers (équipe de Funk et Failletaz, VAW-ETHZ). Dans les cas favorables la méthode aboutit à une prévision de rupture, dans un délai suffisant pour permettre une alerte aux populations.

Cependant dans la majorité des cas, et ceci n'est pas propre aux ROGP, le passage de la surveillance des phénomènes à la phase d'alerte, qui engendre des conséquences très lourdes, reste un point extrêmement délicat de la chaîne de gestion des risques. Les scientifiques comme les services opérationnels considèrent majoritairement ne pas disposer à ce jour d'assez d'éléments pour se positionner sur la question de la définition des seuils d'alerte.

Alors que les scientifiques se sont trouvés à plusieurs reprises dans une position de « lanceur d'alerte », la question de la répartition des rôles et responsabilités de chacun des acteurs de la chaîne de prévention des risques se pose.

Enfin, d'un point de vue opérationnel, les services notent que, même si des méthodes existent, il n'y a pas aujourd'hui en France de « protocoles de suivi types » adaptés aux grands types de phénomènes.

B. Pistes d'action

a. Domaine de la recherche

Les cas où des méthodes de surveillance ont dû être développées dans l'urgence des situations de gestion de crise semblent nombreux. Les activités de recherche concernant les développements de méthodes « en temps de paix » doivent être soutenues, notamment par des activités de suivi sur sites pré-identifiés. Le choix pourrait porter en priorité sur des sites présentant un intérêt à la fois scientifique et opérationnel (pouvant nécessiter une surveillance compte-tenu de l'évolution de l'aléa et des enjeux). En cela une double approche observation (suivi scientifique) et opérationnelle (surveillance-alerte) pourrait être envisagée.

En parallèle, il est important également de continuer à développer des méthodes permettant une surveillance de l'ensemble de la zone alpine : suivi périodique, détection de changements, notamment par l'imagerie satellitaire radar. Une fois que ces méthodes, actuellement en développement, auront atteint leur phase de mise en œuvre, il serait souhaitable d'encourager aussi la mise en place de compétences opérationnelles privées capables d'appliquer ces méthodes en routine, pour assurer une fonction de pré-alerte.

La question de la définition des critères qui permettent de définir le passage du suivi à l'alerte (nature, dépassements de seuils...) devrait être posée en termes clairs dans les programmes de recherche

b. Domaine opérationnel / technique

Dans le contexte actuel d'une probable occurrence croissante des ROGP, les services en charge de la gestion des risques souhaiteraient pouvoir s'appuyer sur des éléments méthodologiques permettant de systématiser leurs réactions.

Un travail de collaboration et de mutualisation, d'une part avec les équipes scientifiques et d'autre part avec les services récemment confrontés à des cas de suivi, pourrait servir à **définir une méthodologie systématique pour suivre l'évolution d'un problème et agir.**

La finalité pourrait être l'établissement de « **Protocoles de suivi types** » adaptés aux différents types de phénomènes.

Ces protocoles devraient en particulier préciser, en fonction du type de phénomène, à quel moment l'alerte doit intervenir pour permettre de prendre les mesures souhaitables / nécessaires (de prévention, de protection). Cette notion d'alerte précoce est évidemment liée à la cinétique d'évolution des phénomènes ; l'établissement d'une typologie des phénomènes en fonction de leur cinétique pourrait donc être un préalable nécessaire. Ce travail devra être fait en collaboration avec les services préfectoraux de la protection civile



dans les départements concernés et plus généralement dans le cadre d'une réflexion interministérielle avec le ministère de l'intérieur.

c. Domaine organisationnel / institutionnel

Afin d'intervenir très en amont dans le concept de surveillance, il faut systématiquement encourager les scientifiques à porter à connaissance les phénomènes potentiellement dangereux qu'ils auraient pu identifier au cours de leurs recherches.

Pour ce faire, des protocoles d'accord sur le transfert et l'utilisation de ces données, comme sur les modalités de « lanceur d'alerte scientifique » pourraient être envisagés. Si cette question fondamentale n'était pas traitée, il se pourrait que des données d'observation utiles dans une fonction d'alerte ou de surveillance soient récoltées par des scientifiques mais soient jugées trop imprécises ou éloignées de leur domaine de recherche, et qu'elles ne soient de ce fait pas portées à connaissance des pouvoirs publics, ou de la plateforme d'expertise scientifique (cf. proposition transversale1 page 28) .

- Un travail préalable sur la responsabilité des sources et l'utilisation des données, même brutes, doit être envisagé.
- Un travail de clarification sur les rôles et devoirs de chaque acteur de la chaîne de prévention des risques permettrait probablement d'assainir le processus d'alerte. Il devrait en particulier être clairement affiché que le partage de la connaissance entraîne un partage des responsabilités ; la tâche des services de l'Etat est alors d'aider à l'affichage du risque et à sa prise en compte réglementaire.

Pour poursuivre la chaîne de surveillance et d'alerte jusqu'au bout, il est important de définir clairement tous les éléments de la chaîne : organigramme des acteurs et de leurs interactions, « Qui alerte qui et Qu'est-ce que cela déclenche ». En particulier, l'implication des services de Sécurité Civile suffisamment en amont garantit une bonne transition de la phase d'alerte technique à celle de diffusion de l'alerte.

Dans cette optique, une collaboration régulière systématisée entre les services techniques/opérationnels et les SIDPC est à encourager, notamment comme déjà évoqué dans le cadre d'une réflexion interministérielle.

Pilier 3 - Education et Information préventive

Même si tous les aspects sont liés, ce chapitre traite de façon distincte de l'éducation / sensibilisation des publics, de l'information préventive réglementaire et de l'information en temps de crise.

A. Eléments de synthèse

On constate généralement que la **culture du risque** autour des phénomènes d'origine glaciaire et périglaciaire est plutôt **plus limitée** que pour d'autres natures d'aléas connus de façon plus classique en montagne. L'éloignement des vulnérabilités par rapport aux zones de départ et la faible fréquence d'occurrence de ce type d'événement peuvent expliquer ce constat. L'absence de préoccupations de recherche associées à ce thème en est aussi l'un des symptômes.

Pourtant, le contexte de changement climatique rend important le besoin d'améliorer cette culture, de façon assez générale mais encore plus accentuée pour les phénomènes à cinétique rapide (ex. rupture de glacier).

Pour ce qui concerne l'information réglementaire, en 2012 les ROGP ne sont pas encore intégrés en tant que tels dans l'information préventive sur les risques majeurs :

- Le portail de la prévention des risques majeurs (prim.net), comme le portail interministériel de Prévention des risques majeurs www.risques.gouv.fr ne font pas mention des ROGP;
- Il n'existe pas de dossier d'information du Ministère (qui existe par exemple pour les mouvements de terrain),
- Il n'y a pas de volet spécifique ROGP dans les documents d'information (DDRM, DICRIM, information locataire/acheteur). Toutefois, une nouvelle maquette DDRM/DICRIM prenant en compte les risques glaciaires et périglaciaires est en ligne depuis janvier 2013 sur le site prim.net.

Etant donné l'ampleur potentielle des catastrophes que peuvent engendrer les ROGP, la communication en temps de crise est un point particulièrement sensible pour d'une part être sûr de toucher toutes les populations concernées et d'autre part éviter les phénomènes de paniques liés à une communication mal maîtrisée. La question de ce qu'il est possible / souhaitable de communiquer se pose alors.

Pour les phénomènes à cinétique rapide, qui laissent très peu de temps de réaction à partir du déclenchement de l'alerte, il semble indispensable de communiquer sur tous les scénarios possibles, même avec des connaissances parcellaires à forte incertitude.

Là encore il n'existe pas de « protocole standard » ; cet aspect est géré au cas par cas par les cellules de crise.

B. Pistes d'action

En matière d'éducation au risque, un **effort important devrait être fait autour de l'information et de la sensibilisation** aux ROGP. Les différents groupes à atteindre



comprennent non seulement le grand public / les populations concernées et exposées, mais aussi les services déconcentrés de l'Etat et les collectivités, avec d'une part les communes, au regard de leur compétences en matière d'aménagement du territoire et de sécurité publique et d'autre part les conseils généraux en tant que gestionnaires de patrimoine ou d'infrastructures routières.

Rappelons que Dans le domaine de l'éducation aux risques, il existe un COPIL interministériel (Education nationale - pilote, Santé, Intérieur) chargé d'élaborer des supports pédagogiques à destination des enseignants sur l'ensemble des risques (*Décret du 11 janvier 2006 relatif à la sensibilisation à la prévention aux risques et circulaire d'application du 24 mai 2006*) Le MEDDE (DGPR/BIPCP) y siège en qualité d'expert assisté de son prestataire IFFORME. Toutefois une réflexion sur la création d'un aléagram spécifique et l'identification de consignes d'évacuation particulières pourrait être envisagée.

a. Domaine de la recherche

Dans les prochains appels à projet sur les risques, l'attention pourrait être portée sur la faiblesse de la culture du risque concernant les ROGP, afin de promouvoir des développements d'outils spécifiquement sur ce thème. En effet, avec ce type de risque sans véritable période de retour, il existe une vraie problématique relevant des sciences de la communication, afin d'expérimenter des modalités et techniques de sensibilisation renouvelées et adaptées (ex. Strappazon, 2011).

b. Domaine opérationnel / technique

Il est nécessaire de développer une culture technique au sens large du risque glaciaire : si l'information et la formation doivent évidemment cibler les services en charge de la gestion des risques (RTM, Conseils Généraux, DDT), il faudrait élargir cette action à la sphère technique privée, par exemple en intégrant le champ des ROGP dans la formation des géotechniciens. Il s'agit de faire en sorte que ces derniers puissent a minima se poser les bonnes questions lors de constructions en montagne (ex : prise en compte des problèmes de glaciers rocheux ou d'instabilités liées au permafrost dans les autorisations de travaux sur les domaines skiables)

c. Domaine organisationnel / institutionnel

A la condition que les ROGP soient reconnus comme des risques majeurs (de type émergent), le portail d'information sur les risques majeurs **prim.net pourrait s'enrichir d'un volet sur la description des phénomènes glaciaires et périglaciaires**, au même titre que les avalanches qui y apparaissent déjà.

L'éducation de la population passe, comme pour tous les autres types de risques, par l'entretien de la mémoire des événements passés. Si la faible occurrence des phénomènes rend difficile la mise en place de « témoins » sur le terrain (type repères de crue), la production d'ouvrages grand public sur les phénomènes est à encourager. Citons dans cette optique le livre « Menace sur St Gervais » (Patriarca et Tournaire, 2010) qui retrace la gestion de la crise de Tête Rousse de 2010, de telles publications ne pouvant se concevoir sans une



solide validation scientifique et technique. La problématique du changement climatique et de l'évolution des milieux montagnards qui peut en découler pourront aussi être un support fertile de sensibilisation spécifique aux ROGP.

Un autre volet essentiel de l'éducation est celui de l'éducation des enfants. Il faudrait encourager la sensibilisation à ce type de phénomènes dans les **écoles de montagne**. Les modalités pratiques pourraient se calquer sur ce qui existe déjà dans les domaines de la sensibilisation aux avalanches (ex. actions de l'association La Chamoniarde dans la vallée de Chamonix) ou aux laves torrentielles (maquettes, expositions itinérantes, mallettes pédagogiques...).

L'intégration envisagée des phénomènes glaciaires et périglaciaires dans les documents d'information sur les risques majeurs (DDRM, DICRIM) pourrait être l'occasion d'actions de sensibilisation/formation communes aux services opérationnels/techniques et aux services de protection civile, habituellement en charge de ces documents. En effet, une communication commune sur ce sujet nouveau serait garant d'un affichage harmonisé de ces aléas, ce qui pourrait faciliter la sensibilisation des élus comme de la population en évitant les équivoques.

Pour la mise en place de ces documents, il pourrait être intéressant de **s'inspirer des Plans Particuliers d'Interventions** auxquels sont soumis les gestionnaires de **barrage** : les problématiques de rupture de barrage avec propagation de l'onde de crue se rapprochent fortement des problèmes de vidanges de lacs ou de poches d'eau, et le volet d'information et d'alerte des populations y est traité de manière systématique.

De façon générale, il semble important de se donner les moyens de proposer une information exhaustive sur les phénomènes, même en l'état incomplet des connaissances incomplètes ; toutefois il conviendrait d'éviter l'écueil d'une information propre aux ROGP tendant vers le « catastrophisme systématique ». Pour ce faire, bien resituer l'information sur les ROGP, dans le contexte général et global des risques du territoire (ROGP, risque torrentiel, avalanches, risques industriels) semble une optique à privilégier. Il s'agit également de mettre en parallèle dans la mesure du possible les différents « niveaux de risque » (intensité/couplage d'occurrence).

Pilier 4 - Prise en compte du risque dans l'aménagement

A. Eléments de synthèse

Afin d'assurer la maîtrise de l'urbanisation et du bâti, l'outil réglementaire de prise en compte des risques naturels dans l'aménagement est le plan de prévention des risques naturels PPRN, qui a pour objectif de réduire l'exposition au risque ainsi que la vulnérabilité des biens et des personnes.

Pourtant, il n'y a pas actuellement en France de cas connu pour lequel un risque d'origine glaciaire ou périglaciaire ait été pris en compte dans les documents d'aménagement du territoire. De même à l'étranger, ces cas demeurent très peu fréquents : un cas recensé en Italie, en aval du lac Effimero (Mortara et Tamburini, 2004).

Une raison majeure évoquée pour expliquer cette absence est que les ROGP sortent souvent du cadre des documents d'aménagement, et notamment du PPR, du fait de leur caractère peu prévisible et évolutif. Ceci soulève un certain nombre de questions autour de la possibilité et /ou de la nécessité d'intégrer dans le zonage les phénomènes glaciaires et périglaciaires pour lesquels il n'est pas possible d'agir à la source sur l'aléa de façon sûre et durable, et qui sont trop importants pour envisager la réalisation d'ouvrages de protection.

En particulier, pour la prise en compte des ROGP dans le zonage, la faible fréquence d'occurrence des phénomènes amène à s'interroger sur la possibilité d'intégrer un événement plus que centennal. Ce type de réflexion rejoint celle actuellement en cours sur d'autres types de risques, notamment avalanches (AMV), autour des événements extrêmes.

Un autre aspect est qu'en fonction des modifications climatiques, des aléas nouveaux qui n'existaient pas jusqu'ici et pour lesquels il n'existe aucune expérience historique sont susceptibles d'apparaître, alors que d'autres pourront voir leur intensité évoluer. A l'inverse, certains phénomènes historiquement connus peuvent ne plus se produire, ou disparaître à terme avec le recul des glaciers.

Du point de vue des services en charge de la réalisation des PPRN, la prise en compte des ROGP dans le zonage des risques rencontre plusieurs limites :

- En tant que commanditaire d'étude pour les PPRN, les services de l'Etat reconnaissent généralement ne pas être en mesure d'intégrer les phénomènes glaciaires et périglaciaires dans le cahier des charges des PPRN, car le plus souvent ils n'ont simplement pas connaissance des phénomènes potentiels.
- Dans le cas où il y aurait connaissance d'un phénomène glaciaire ou périglaciaire, il n'y a généralement pas suffisamment d'éléments de caractérisation de l'aléa pour le traduire de façon objective et pouvoir le traduire en terme de zonage. Le caractère complexe de l'aléa (incluant notamment de fortes incertitudes sur les couplages entre phénomènes glaciaires, investigation géophysique, chute de sérac, crue torrentielle, instabilité,...) ainsi que l'absence de données sur les phénomènes historiques ou de phénomènes de référence centennale empêchent souvent de déterminer une enveloppe spatiale, une occurrence et une intensité du phénomène retenu comme référence pour le zonage.
- Pour les aléas susceptibles d'évoluer avec le changement climatique, l'approche classique par les périodes de retour n'est pas appropriée.



- Enfin, il n'existe pas pour ce type de risque de doctrine réglementaire qui puisse permettre une traduction réglementaire du zonage, débouchant le cas échéant sur des prescriptions spécifiques.

B. Pistes d'action

a. Domaine de la recherche

Bien que la problématique du zonage soit de plus en plus présente dans certaines recherches liées à la caractérisation des aléas, une part importante des freins et limites à la réalisation technique du zonage reste liée d'une part aux difficultés de détection des phénomènes potentiels, d'autre part aux incertitudes importantes associées à la caractérisation des phénomènes potentiels identifiés et donc de l'aléa.

Les recommandations en matière de soutien de la recherche rejoignent donc celles évoquées dans le Pilier 1- Connaissance du risque.

Toutefois, il peut être envisagé de développer des approches expérimentales sur « site test »⁶, axées méthodologiquement sur l'identification et la caractérisation spatiale et en intensité de phénomènes, voire d'événements potentiels (couplage de phénomènes) pouvant représenter un danger pour des enjeux existants ou futurs (zones d'urbanisation ou développement futurs). Le travail serait alors orienté sur l'évaluation de la fiabilité des scénarii et donc la quantification des incertitudes (approche par scénarii et multicritères). Ce travail sur la fiabilité des résultats pourrait constituer une étape intermédiaire intéressante entre une non-prise en compte des phénomènes glaciaires et périglaciaires dans l'aménagement du territoire et une intégration non adaptée en l'état des connaissances actuelles (zonage de sécurité excessif entraînant le gel de l'urbanisation sans éléments scientifiques tangibles). Ce travail d'ordre scientifique pluridisciplinaire pourrait être conduit en association avec les gestionnaires en charge d'élaborer les zonages de risques.

b. Domaines institutionnel et opérationnel / technique

Le contexte d'évolution climatique incite à intégrer dès aujourd'hui les aléas glaciaires et périglaciaires dans la réflexion sur l'aménagement du territoire, pour anticiper les situations de demain en fonction de l'évolution possible des phénomènes. Dans ce cadre, le PPRN demeure le meilleur moyen pour empêcher des constructions nouvelles dans des secteurs qui pourraient être exposés, et est un outil plus durable que le PLU qui est révisé plus régulièrement. La méthodologie d'élaboration du zonage serait toutefois à adapter aux contraintes particulières des ROGP qui bien que probables demeurent, en l'état des connaissances complexes à prévoir.

Il pourrait être par exemple envisagé de prendre en compte des événements au-delà du phénomène centennal, puisque les probabilités d'occurrence des aléas glaciaires et périglaciaires sont relativement faibles. Comme évoqué plus haut, cette démarche de type expérimental rentrerait tout à fait dans le cadre de la réflexion actuelle sur l'intégration dans les zonages des phénomènes extrêmes (Territoires à Risques Importants d'inondation (TRI), zones jaunes avalanches).

⁶ Cf. proposition transversale relative au travail collaboratif sur sites tests.



Mais ce type d'approche n'est pas pertinent pour toutes les situations de ROGP. Par exemple, un aléa glaciaire comme la rupture d'un glacier suspendu, peut être unique si le glacier ne se reforme pas. C'est alors plutôt l'approche par scénarii d'événement potentiel qui est à privilégier.

Une piste de réflexion peut être de travailler sur un zonage avec des « scénarii générationnels » qui éclaireraient les évolutions possibles à court, moyen et long terme ; l'échéance des différentes générations reste à définir mais pourraient s'appuyer sur les périodes de retour des avalanches : 30, 50, 100 (aléa de référence). Dans une perspective de changement climatique l'occurrence pluri centennales pourrait être envisagée : 300 ans⁷.

Ainsi, par exemple dans le cas du glacier de Tacconnaz (vallée de Chamonix) la caractérisation du risque et le zonage associé pourraient être fortement influencés par l'échelle de temps à laquelle il est pensé : à court terme avec prise en compte uniquement de la chute de sérac, puis à moyen ou long terme (à définir par les scientifiques) avec prise en compte de la rupture du glacier (et finalement disparition du risque si le front n'est plus suspendu).

⁷ Pour les occurrences pluri-centennales et en s'inspirant des zones AMV : les zones alors identifiées pourraient bénéficier d'une attention particulière en matière d'aménagements conformes et adaptés aux conditions de gestion des situations dangereuses (évacuation). Sur un plan urbanistique, la maîtrise de la vulnérabilité de certains équipements serait renforcée : Etablissements Recevant du Public (ERP), centres de secours, installations industrielles, habitations touristiques...

Pilier 5 - Réduction de la vulnérabilité

A. Eléments de synthèse

Pour les risques de type glaciaire ou périglaciaire caractérisés par de fortes incertitudes et la méconnaissance de leur fréquence d'occurrence, les approches classiques (plutôt techniques) sur la caractérisation de l'aléa et la réduction de la vulnérabilité présentent leurs limites puisqu'elles nécessitent de connaître avec précision l'aléa potentiellement impactant. Dans ce cas, le dimensionnement d'ouvrage de protection et l'identification de zones à risque inconstructibles sont rendus extrêmement difficiles. Toutefois, dans des perspectives de long terme et à titre de précaution, certaines démonstrations scientifiques (Dupont et Pigeon, 2007) montrent, dans les régions de montagne, que la réalisation de travaux de protection (parades actives et/ou passives) peut être contre-productive dans le temps. En effet, en l'absence de réglementation spécifique, elles peuvent induire un sentiment de sécurité qui inciterait à augmenter les enjeux à l'aval des ouvrages et en cela augmenterait progressivement le niveau de risque. Sans qu'il y ait d'études spécifiques des vulnérabilités associées aux ROGP, retenons que les parades ne remplaceront pas une réduction de vulnérabilité caractérisée par une diminution des enjeux ou tout du moins de leur exposition et sensibilité aux phénomènes potentiels.

L'effet des phénomènes glaciaires sur les ouvrages de protection à l'aval est globalement mal connu. Le manque de données sur les effets de la glace sur les ouvrages ne permet pas de prendre en compte ce paramètre dans le dimensionnement. Les études actuellement en cours à l'Irstea sur le paravalanche de Tacconnaz ont entre autres pour objectif de mieux appréhender l'impact des chutes de séracs dans la conception des ouvrages de protection en précisant les effets de la masse neige et glace sur l'ouvrage (projet Interreg Dynaval).

Dans le domaine périglaciaire, les études géophysiques, particulièrement sur le glacier rocheux de Bellecombe (station des Deux-Alpes, 38), permettent progressivement d'apporter des éléments sur la vulnérabilité des installations de domaines skiables face à l'évolution du permafrost. (Cadet et al, 2011, Schoeneich et al. 2011,).

De même, le suivi de l'évolution du permafrost dans les parois rocheuses d'altitude a, entre autres, pour objectif d'anticiper les déstabilisations possibles d'infrastructure de montagne (refuges, remontées mécaniques ; Ravanel et al, 2013).

Citons l'initiative des Suisses, qui sur la base de travaux équivalents ont abouti à la publication d'un Guide pratique « Construire sur le pergélisol » (Bommer et al, 2010).

B. Pistes d'action

a. Domaine de la recherche

Il est nécessaire d'améliorer la connaissance théorique sur la vulnérabilité des zones de montagne face aux risques d'origine glaciaire et périglaciaire, qu'il s'agisse de vulnérabilité physique, sociale, économique ou systémique.



Des recherches sur ce sujet, dans le domaine des sciences humaines et sociales, devraient être encouragées.

b. Domaine opérationnel / technique

Les impacts sur les enjeux physiques et bâtis des phénomènes d'origine glaciaire et périglaciaire peuvent être très divers. Une typologie des effets par types de phénomènes pourrait permettre de travailler sur des éléments techniques de réduction de la vulnérabilité structurelle (prescriptions de constructions), étant bien entendu que de telles techniques ne seront pas adaptées ou applicables à tous les cas.

Citons à ce titre dans le département des Alpes de Hautes Provinces : l'action du service RTM en matière d'inventaire de type « sites sensibles glaciers rocheux », qui, au delà de l'inventaire des glaciers rocheux (2012), a permis d'identifier des situations à risque sur des sites à proximité d'enjeux potentiellement concernés par la déstabilisation potentielle de ces glaciers rocheux.

Dans les zones de haute montagne, des choix judicieux d'implantation permettraient dans de nombreuses situations de réduire de façon significative les impacts, tandis qu'une meilleure connaissance des conditions du site permettrait d'apporter des réponses techniques adaptées. Il faut donc développer les études préalables au choix d'implantation et à la conception des installations.

Pour faire face aux difficultés techniques de réalisation des travaux, il y aurait un **intérêt à disposer d'une liste d'entreprises qui ont l'expérience des travaux dans les conditions de haute montagne.**

Cette liste, qui pourrait être internationale, viendrait en complément du réseau d'ingénierie lui aussi international qui devrait permettre la capitalisation d'expériences sur des questions très techniques et pratiques.



Pilier 6 - Résilience et mise en sûreté

A. Eléments de synthèse

De façon générale, les travaux théoriques sur la vulnérabilité et la résilience sont moins développés que ceux sur la connaissance de l'aléa. Les recherches récentes, dans le domaine des sciences humaines et sociales, ont mis en évidence d'une part l'importance des facteurs anthropiques dans la « préparation à la catastrophe », d'autre part la spécificité des zones de montagne en matière de vulnérabilité (voir *Synthèse des connaissances et pratiques*).

Ces travaux tendent tous à conclure qu'il est important d'une part **de renforcer les capacités de résilience locale**, d'autre part de disposer de **politiques réactives**, qui permettent de prendre en compte rapidement les effets non prédictibles des politiques antérieures, ou le manque de robustesse éventuel des outils de l'action publique antérieurs aux changements imprévus. En effet, la notion de résilience met l'accent sur les capacités générales de résistance, de rebond et de régénération des systèmes. Pour ce qui concerne les ROGP, relevant des risques dits "émergents" caractérisés par de fortes incertitudes sur les plans scientifiques et opérationnels, la capacité de résilience tient bien en une connaissance plus fine de l'exposition et de la sensibilité des territoires aux phénomènes potentiels. Cette connaissance doit ensuite permettre de mieux anticiper les situations de crise (approche par scénarii), en développant des modalités intégrées de sauvegarde des populations, pour favoriser un retour à une situation dite "normale" le plus rapide possible.

Sur un plan opérationnel, les capacités locales de gestion de crise sont principalement basées sur le Plan Communal de Sauvegarde.

Or actuellement, non seulement beaucoup de petites communes n'ont pas les moyens humains, financiers, techniques... de mettre en place un PCS, mais de plus cet outil ne prend pas en compte spécifiquement les risques d'origine glaciaire et périglaciaire. Obligatoire dans les communes disposant d'un PPRN, il devrait pouvoir compléter / compenser certaines limites de mises en œuvre des PPRN (sujet évoqué dans le Pilier 4), mais en pratique les communes ne disposent ni de la connaissance ni de la méthodologie associée aux ROGP.

A ce jour aucun PCS n'a intégré les effets d'un tel risque, mais pourraient l'être au même titre que les procédures d'urgence mises en place lors de températures extrêmes (canicule ou grand froid).

Les seuls cas de plan de sauvegarde de la population face à un ROGP ont été mis en place en situation d'urgence (Rochemelon, Tête Rousse). Dans la gestion de ces situations, une **étroite collaboration entre tous les différents acteurs** de la gestion du risque (scientifiques, techniques, décideurs, Protection Civile) a été une clé essentielle du succès de ces Plans de Sauvegarde.

Plusieurs autres éléments importants peuvent ressortir :

Logique d'un Plan de Sauvegarde des populations (Dispositif ORSEC départemental élaboré par le préfet)

S'il n'existe pas de schéma type pour l'élaboration d'un Plan de Sauvegarde des populations intégrant le « Risques d'origine glaciaire ou périglaciaire », la Sécurité Civile est en capacité



d'adapter à certains cas de ROGP (vidanges de lacs ou poches d'eau) le dispositif des Plans Particuliers d'Intervention de rupture de barrages.

Dans ces cas-là, la logique « sécurité civile » tend à prendre en compte le scénario majorant, ce qui correspond avant tout à une orientation politique, dès lors qu'il y a des vies en jeu.

Alerte :

Lorsque l'alerte est techniquement possible (voir *Synthèse des Connaissances et pratiques*), la transmission de l'alerte à la population est un élément primordial. La Protection Civile de Haute Savoie a mis au point un son spécifique de sirène, adapté aux contraintes de diffusion du son dans les vallées de montagne (liées au relief).

Mobilisation des experts

La mobilisation des experts scientifiques a été particulièrement importante sur les dernières situations d'urgence auxquelles il a fallu faire face. En termes de résilience, cette capacité de réactivité quasi instantanée est essentielle. Or, du fait de l'organisation des laboratoires de recherche, elle pourrait s'avérer problématique en cas de crises potentiellement récurrentes (système d'expertise scientifique non stabilisé, peu de moyens consacrés, pas de chercheur affecté spécifiquement aux ROGP, absence de reconnaissance académique de ces activités).

Communication en temps de crise

Etant donné l'ampleur potentielle des catastrophes que peuvent engendrer les ROGP, la communication, en amont et en temps de crise est un point particulièrement sensible pour d'une part être sûr de toucher toutes les populations concernées mais d'autre part éviter les phénomènes de panique liés à une communication mal maîtrisée.

Là encore il n'existe pas de « protocole standard » ; cet aspect est géré au cas par cas par les cellules de crise. Notons ainsi qu'il existe, pour chaque ministère, des éléments de langage propres à la typologie d'événements relevant de son champ de compétence. En ce sens et comme déjà évoqué, une approche interministérielle pour ce type de risque semble incontournable à envisager pour développer une approche intégrée de gestion du risque.

B. Pistes d'action

a. Domaine de la recherche

De manière générale, un travail sur l'évaluation des vulnérabilités dans les zones exposées apparaît nécessaire afin de mieux les prendre en compte en amont de la réflexion de prévention du risque. Il s'agit notamment de mieux préciser les natures de vulnérabilités spécifiques à ces ROGP couplant différents types de phénomènes impactant : nature de l'exposition, de la sensibilité et le cas échéant des pertes potentielles (endommagements, vies humaines, perturbations et discontinuité d'activités et de services associées,...)

Ce travail pourrait être confié aux équipes dont les sujets de recherche couvrent déjà les vulnérabilités dans les vallées de montagne : EDYTEM (Université de Savoie), PACTE-Territoires (Université Joseph Fourier)...

Pour la préparation à la gestion des situations d'urgence il faut s'assurer de la capacité de mobilisation rapide des experts scientifiques. Sur ce point, la proposition de Plateforme

d'expertise scientifique et technique (Proposition transversale 1 page 28) peut également constituer une piste de travail fertile.

b. Domaine opérationnel / technique

En termes d'anticipation des situations d'urgence, il paraît intéressant de travailler davantage sur les **concepts intégrés de sécurité**, tel que celui développé en Vallée d'Aoste au pied des séracs des Jorasses (géré par la Fondation Montagne Sûre), ou ceux déjà très aboutis mis en œuvre sur plusieurs sites suisses (pilotes par les experts du VAW ETHZ), ou bien encore au sein de l'opération interrégionale CIMA-POIA « sites pilotes de gestion intégrée des risques naturels dans les Alpes » (coordination PARN). Dans des contextes différents, ces initiatives préconisent et développent des cadres méthodologiques pour intégrer la surveillance, l'alerte, les scénarios d'événements (y compris les couplages possibles), mais aussi des scénarios de réaction pluri-acteurs adaptés. Ces expérimentations pourraient faire l'objet de développements spécifiques dans le cadre des risques ROGP sur les « sites tests »⁸.

Le travail devra alors se baser sur une typologie des phénomènes « par type de risque », en croisant par exemple les types d'enjeux et les types de cinématique, qui vont engendrer des situations de gestion différentes.

A partir de cette typologie, un « schéma anticipé de réaction » ou « **arbre de décision** » pourrait être proposé dans les communes soumises à des risques : une alerte est-elle techniquement possible ? Le délai entre l'alerte et l'occurrence de l'événement permet-il une évacuation ? Avec quels moyens ou ressources disponibles ?

c. Domaine organisationnel / institutionnel

Une piste majeure de réflexion pour améliorer la mise en sécurité est d'étudier la possibilité d'intégrer plus spécifiquement les ROGP dans les PCS.

Pour cela il semble nécessaire de disposer au préalable des divers éléments de connaissance et de méthodologie déjà évoqués dans les autres piliers (typologie des phénomènes, des enjeux...).

Dans le cas des ROGP impliquant une vidange brutale (lacs glaciaires, poches d'eau), une étude détaillée des Plans Particuliers d'Intervention des gestionnaires de barrage permettrait certainement de tirer des éléments de conception du dispositif de sauvegarde, en les adaptant aux caractéristiques spécifiques des aléas.

En fonction de l'ampleur des conséquences attendues à l'aval des aléas, l'échelle d'une seule commune peut être insuffisante et nécessiter une réflexion à l'échelle de plusieurs communes (ex PCS intercommunal).

De façon un peu plus large, il semble donc important de mener une réflexion de fond sur les aspects organisationnels de la gestion des crises liées à des risques d'origine glaciaire et périglaciaire.

⇒ Nécessité d'organiser et de coordonner une plateforme d'expertise scientifique et technique institutionnalisée⁹.

⁸ Cf. Proposition transversale relative à la démarche « sites test ».

⁹ Cf. proposition transversale sur la plateforme d'expertise scientifique.

Complément 1 – La mémoire et le retour d'expérience

A. Éléments de synthèse

En matière de ROGP, les possibilités de retours d'expérience, c'est-à-dire d'analyse détaillée d'un événement passé, sont relativement limitées du fait de la faible fréquence des phénomènes. L'importance de bien capitaliser sur les rares événements réalisés en est de ce fait accrue, afin d'en tirer au maximum les enseignements utiles pour améliorer la gestion de situations similaires le cas échéant.

Or les habitudes et pratiques de capitalisation sont très inégales selon les types d'organismes considérés.

Plutôt bien développées dans le domaine scientifique, elles se traduisent par des publications nationales et / ou internationales qui permettent une diffusion relativement large, mais elles se concentrent en général sur une partie seulement de la gestion des risques, le plus souvent la détection et la caractérisation de l'aléa, parfois également les travaux de protection (ex. Tête Rousse, lac Effimero/Belvédère, rupture du Weisshorn).

Le domaine de la Sécurité Civile a également une certaine habitude des REX (ex. SIDPC74, 2010, pour le cas de Tête Rousse).

Par contre, le retour d'expérience et la capitalisation sont des points faibles dans le domaine de l'ingénierie. Si l'on excepte quelques rares cas particuliers (Rochemelon), les interventions ne font pas l'objet de retour d'expérience. De plus, chaque service a tendance à travailler avec ses propres méthodes et techniques, sur lesquelles il communique peu. Il y a globalement peu de publications, peu d'habitudes de travail en réseau (pas d'échanges entre les entreprises privées ou autres sur les problèmes rencontrés).

Ce constat apparaît comme une faiblesse dans le cas de la réaction face aux ROGP, puisque les services se sentent pris au dépourvu lors de l'occurrence d'un phénomène, faute de pouvoir s'appuyer sur des expériences reconnues.

Le besoin se fait sentir de mieux **capitaliser les expériences sur des aspects très techniques de la gestion de ces risques spécifiques**. Par exemple au sujet des techniques de forage dans la glace : quelles techniques ont déjà été testées, dans quelles conditions, quelles ont été les causes de succès ou d'échec (l'analyse des échecs apparaît souvent une source d'enseignement importante, à valoriser) ?

B. Pistes d'action

Pour palier la faible fréquence d'occurrence de la plupart des phénomènes glaciaires et périglaciaires, il faudrait pouvoir **capitaliser les retours d'expérience à une échelle internationale**, pour profiter, entre autres, des expériences de nos voisins suisses et italiens.

Une réflexion sur les modalités de cette capitalisation est nécessaire. Elle pourrait nécessiter entre autre l'organisation d'un travail en réseau avec les gestionnaires alpins de ce type de risques, afin d'assurer une « veille » des interventions sur ces phénomènes glaciaires et périglaciaires.

a. Domaine de la recherche



b. Domaine opérationnel / technique

L'effort de capitalisation semble particulièrement nécessaire dans le domaine technique de l'ingénierie. Il pourrait porter en particulier sur les techniques d'intervention sur l'aléa (parades actives) en milieu glaciaire et périglaciaire : quelles techniques utilisées dans quel cas, quelles difficultés rencontrées, détails auxquels il faut porter attention....

Afin de faciliter cet exercice de capitalisation, qui devrait être réalisé après chaque intervention, les techniciens pourraient disposer d'une « fiche guide » standard à remplir. L'objectif serait de pouvoir rassembler et valoriser les éléments techniques sur les réflexions, les essais, les réussites et les échecs en matière d'ingénierie dans la gestion des ROGP, afin d'aller progressivement vers un « guide de bonnes pratiques ».

Le partage de l'information pourrait ensuite s'envisager à plusieurs échelles :

- En interne dans les services : pour les RTM, échanges entre les départements organisés par la délégation nationale ; pour les services de l'Etat/DDT, modalités à définir ;
- Echelle nationale : échanges entre les différents services français ;
- Echelle internationale : échanges entre gestionnaires français, suisses et italiens.

Cet effort de capitalisation pourrait être un premier pas vers une mise en commun internationale des connaissances techniques en matière de gestion de ce type de risques (ex. techniques de forage dans la glace) et la constitution d'un **réseau de l'ingénierie**.

Dans cette optique de capitalisation, un effort devra être fait en terme de veille scientifique et technique sur les événements et l'étude de l'accidentologie.

c. Domaine organisationnel / institutionnel

Comme les différents acteurs de la gestion des ROGP sont susceptibles de produire chacun des éléments de REX, la DGPR devrait veiller à bien pouvoir recueillir les différents types de REX (scientifiques, techniques, sécurité civile).

Leur analyse et leur diffusion pourrait permettre de renforcer, si nécessaire, la chaîne de prévention.

Complément 2 - Adaptation aux impacts attendus du changement climatique

A. Éléments de synthèse

Les glaciers et le permafrost alpins sont particulièrement sensibles au réchauffement climatique en raison de leur proximité avec les conditions de fusion. En modifiant profondément la dynamique des glaciers et en dégradant durablement le permafrost présent dans les parois rocheuses et formations superficielles, ce réchauffement pourrait être à l'origine de risques accrus ou nouveaux (Ravanel, 2009). On attend globalement des fréquences d'occurrence de phénomènes en augmentation, en tout cas pour certains types de phénomènes (écroulements de parois, ...), alors que d'autres vont se modifier en dimension et en intensité (chutes de séracs/glaciers, lacs glaciaires et thermokarstiques, ...), voire changer d'échelle.

a. Risques d'origine glaciaire

Avec le réchauffement très marqué des glaciers froids de haute altitude, observé au cours des deux dernières décennies (Vincent et al., 2007), de nouvelles interrogations et inquiétudes apparaissent quand à la dynamique de certains glaciers : par exemple, si le glacier de Tacconnaz évolue vers un stade de glacier tempéré (température de 0° à sa base), il pourrait être déstabilisé sur une surface importante, une rupture en masse du glacier pourrait donc se produire, concernant alors un volume beaucoup plus important que celui des chutes de séracs constatées (et surveillées) aujourd'hui.

Dans ce cas, la caractérisation de la vulnérabilité à l'aval pourrait être fortement influencée par l'échelle de temps à laquelle elle est pensée : à court terme, prise en compte uniquement de la chute de séracs, à plus long terme (à définir par les scientifiques) prise en compte de la rupture du glacier.

Cette hypothèse reste à vérifier et une étude détaillée est encore nécessaire pour savoir si cette zone glaciaire pourrait devenir tempérée dans le futur, et si oui, quand (Vincent, 2012, in GlaRiskAlp).

Dans d'autres cas l'évolution des températures pourrait faire évoluer favorablement le niveau d'aléa (hypothèse envisageable à Tête Rousse). Mais là encore, le recul sur la problématique est encore trop faible, et des études complémentaires demeurent nécessaires.

b. Risques d'origine périglaciaire

Les réseaux de suivi du permafrost mis en place progressivement (projets PermaNET, PermaFRANCE) commencent à être opérationnels et fournissent régulièrement des résultats publiés sous forme de rapports annuels. Une dégradation du permafrost est observée et les problèmes d'instabilité tendent à se multiplier, notamment en liaison avec des épisodes caniculaires.

Pour les instabilités de paroi rocheuse en altitude, des corrélations claires ont été établies entre l'augmentation des températures et l'activité d'éboulements/écroulements



(augmentation très nette de la fréquence, moins de l'intensité). On peut donc raisonnablement s'attendre dans le futur à des risques accrus liés à ces processus.

Pour les glaciers rocheux, un lien entre les vitesses de déplacement et la température du sol a pu être établi. Dans certains cas, des accélérations importantes ont été constatées, et ont mené dans un cas à une rupture brutale. Le lien avec des épisodes caniculaires a pu être démontré. On peut donc s'attendre à une augmentation du nombre de cas de déstabilisation de glaciers rocheux, mais les conditions d'occurrence sont encore insuffisamment connues. Les conséquences potentielles en termes de phénomènes générateurs de risques dépendront en particulier du contexte local (topographique, géomorphologique, météorologique).

Des phénomènes thermokarstiques (apparition de lacs, ou de dépressions mettant à nu de la glace enfouie) sont régulièrement signalés et ont révélé la présence de glace enfouie en des lieux où elle était inconnue. Dans une perspective de réchauffement et donc de fonte accrue de la glace du sol, ce type de phénomènes et les débâcles associées pourraient par exemple constituer une préoccupation émergente, notamment dans les zones de permafrost riche en glace et dans les marges proglaciaires déglacées depuis le Petit Age Glaciaire.

B. Pistes d'action

En tenant compte des constats posés par les scientifiques dans le contexte du changement climatique, la politique de prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire doit impérativement prendre en compte les possibles évolutions dans un futur proche.

L'ensemble des propositions présentées dans ce document constituent un effort dans ce sens, tant en matière de soutien à la recherche que de développements méthodologiques opérationnels.

Une piste de réflexion déjà évoquée (pilier 4) s'inscrit peut-être encore plus particulièrement dans cette notion d'adaptation au changement climatique : celle de faire évoluer davantage les pratiques d'expertise vers des **approches par « scénarii générationnels »** qui figureraient les évolutions possibles à 30, 50, 100 et 300 ans. Ce type d'approche pourrait être une manière d'appréhender le fait que, pour de nombreux phénomènes détectés, les conséquences à l'aval peuvent varier énormément en fonction de l'évolution à court, moyen ou long terme du phénomène.

Pour anticiper les conséquences du changement climatique, une réflexion sur l'intégration de ces scénarii dans les documents réglementaires de zonage paraîtrait souhaitable.

Proposition transversale 1

Plateforme d'expertise scientifique et technique

De par toutes leurs spécificités et les contraintes de gestion qui en découlent, évoquées dans les chapitres précédents, les risques d'origine glaciaire et périglaciaire incitent plus que jamais à appréhender les problèmes de manière globale, en intégrant et en associant d'une part l'ensemble des connaissances sectorielles et d'autre part l'ensemble des éléments du cycle de gestion des risques.

Problématique transversale de l'expertise :

L'analyse des différents piliers de la prévention a fait apparaître à plusieurs reprises qu'il n'existe pas de modalité standard d'expertise pour les risques d'origine glaciaire et périglaciaire. Celle-ci est définie ponctuellement au cas par cas, le plus souvent une fois la crise déclarée et parfois après une identification fortuite du problème.

Même si certains scientifiques sont intervenus sur plusieurs cas et sont reconnus comme personnes de références en matière de connaissance et d'aide à la décision, il n'existe pas en France d'experts à proprement parler de ce type de risques comme cela peut être le cas par exemple pour les avalanches, ou les inondations. Hors du territoire français, dans d'autres schémas d'organisation de la gestion des risques, citons l'exemple suisse de M. Funk et son équipe du VAW (laboratoire de recherche, ETH Zurich), qui sont sollicités très systématiquement sur cette problématique et travaillent en relation étroite avec les services opérationnels.

Les cas récents traités en matière de ROGP ont mis en évidence certains éléments forts autour de la problématique de l'expertise scientifique (une expertise collective dans laquelle la composante de recherche scientifique est cruciale) :

- l'intérêt d'une coordination scientifique entre plusieurs laboratoires de recherche sur un sujet de cette nature, permettant de croiser les approches et d'expérimenter de nouvelles méthodes ;
- l'intérêt d'assurer, déjà en amont des phénomènes puis pendant la gestion de crise, une vraie continuité entre la connaissance scientifique, son transfert aux autorités et sa traduction en mesures opérationnelles adéquates ;
- la difficulté de mobiliser de façon quasi-instantanée des compétences très variées (forte composante multidisciplinaire) ;
- les possibilités de REX limitées, du fait de la faible fréquence des phénomènes ou de la singularité des cas ;
- le travail dans l'incertitude à tous les niveaux (scientifique, technique), qui incite au principe de précaution et mène souvent à retenir le « scénario du pire » ;
- la question de la responsabilité juridique des scientifiques dans la prise de décision finale (les scientifiques, comme certains opérationnels techniques, en restituant leurs connaissances ont le sentiment de déterminer la décision, plus que de l'éclairer). Les chercheurs ne sont pas tous des experts. Dans les cas où ils ont été amenés à agir en tant qu'expert, leur positionnement individuel n'a pas toujours été facile.
- Les études de cas ont toutes montré le besoin essentiel d'une expertise mixte, associant l'expertise dite « scientifique » caractérisée par une forte interdisciplinarité



(connaissance des milieux et des phénomènes potentiels) et une ingénierie opérationnelle (action préventive, gestion des effets).

D'autre part, le schéma de gestion des risques montre de façon générale la complexité du jeu d'acteurs dans le contexte français (contrairement au contexte suisse, où un intervenant unique gère l'ensemble du cycle de gestion des risques pour un type de risque donné (avalanches, risques géologiques, risques hydrauliques). Si le paysage de nos voisins suisses semble plus unifié, le paysage de gestion des risques français apparaît sectorisé et diversifié, avec des échelles d'intervention plus nombreuses et un système d'acteurs et de gouvernance plus atomisé.

Sur la base de ces différents constats, la notion de réseau d'acteurs scientifiques / gestionnaires / décideurs paraît s'imposer pour garantir une vision intégrée du problème, nécessaire à une action préventive cohérente et adaptée.

La mise en place d'une plateforme pluridisciplinaire d'expertise scientifique ET technique, affectée aux risques émergents tels que les ROGP pourrait répondre à cette logique. L'objectif dépasserait ici largement celui de répondre à une situation de crise sur un événement donné pour se porter vers une capacité de réponse, dans le temps, sur un ensemble de situations susceptibles de survenir.

Toutefois, dans ce contexte, la question de l'animation et de la pérennité de cette plateforme se pose d'emblée. C'est pourquoi il semblerait plus adéquat de rassembler pour la constitution de cette entité non pas des experts mais des structures hébergeant des compétences identifiées (laboratoires scientifiques, services techniques, services de l'Etat, collectivités, commissariat de massif ...), afin d'assurer efficacité, réactivité, lisibilité et pérennité.

Chaque structure identifierait alors des personnes ressources compétentes pour participer à cette expertise collégiale qui devra trouver une forme d'institutionnalisation (mission, ressource, gouvernance,...).

Afin de couvrir tous les champs de la prévention des risques, cette plateforme devrait intégrer non seulement toute la gamme des disciplines scientifiques impliquées dans la connaissance des aléas et des vulnérabilités (glaciologie, géologie, géomorphologie, géographie humaine, sciences humaines et sociales...) mais aussi les gestionnaires techniques (RTM, services techniques déconcentrés et décentralisés) et la Protection Civile. Un lien étroit devra être fondamentalement envisagé avec les décideurs politiques locaux. Ces derniers, bien que non partie prenante de la plateforme d'expertise scientifique et technique proprement dite, sont légitimement dépositaires de ses travaux.

A ce titre, et dans une perspective d'interaction Science – Décision - Action au sein de la plateforme, comme vis-à-vis de son articulation avec la sphère des décideurs, la définition du rôle, des compétences et des responsabilités de chacun devrait être précisée/ clarifiée. Un travail avec des juristes pourrait être envisagé, avec pour objectif d'« assainir le processus de décision » (accompagner l'expertise des chercheurs).



Quelques intérêts possibles de la plateforme scientifique et technique :

Au-delà de la problématique de « lanceurs d'alerte » (peu stabilisée ou définie), le passage du suivi au déclenchement de l'alerte, qui engendre des conséquences très lourdes, reste en particulier un point délicat de l'expertise, autant pour les scientifiques que les techniciens et les décideurs. Un des intérêts d'institutionnaliser une plateforme d'expertise scientifique et technique serait par exemple de permettre une prise de recul suffisante « à froid », avec des acteurs extérieurs au site et à la pression engendrée par la situation locale.

La connaissance des différents acteurs impliqués est un atout important pour améliorer la réactivité lors de l'émergence d'une situation à risque. Un travail en commun régulier, en amont des situations d'urgence, est le meilleur garant d'une action concertée et programmée.

La mise en fonctionnement de la plateforme pourrait ainsi par exemple mener à un travail collégial de structuration de la démarche de prévention des ROGP (vers la rédaction de plusieurs guides méthodologiques, selon les pistes évoquées dans les chapitres précédents).

A court terme, un premier objectif d'une telle plateforme pourrait être de travailler à établir les différentes typologies évoquées dans les chapitres précédents (typologie des « situations à problème » croisant les types de phénomènes, de couplages, de cinétiques, d'enjeux...).

La constitution d'une telle plateforme devrait ainsi favoriser l'émergence de nouvelles marges de progrès dans la prévention de ces risques d'origine glaciaire et périglaciaire, en mettant en adéquation et en perspective la capacité d'aide à la décision de nature scientifique avec les préoccupations actuelles et à venir des opérationnels et des décideurs des territoires de montagne.

Remarque

A bien des égards de forme comme de contenu, cette proposition de plateforme de type scientifique et technique rejoint de manière cohérente la proposition technique d'interface¹⁰ du PARN, faisant état :

- d'un réseau Science – Décision - Action pour la prévention des risques naturels en montagne. Dont l'objectif est justement d'instaurer un dialogue pluridisciplinaire et intégré des problématiques risques naturels en montagne, par l'apport de compétences d'excellence vis-à-vis de préoccupations préventives d'importances pour le massif alpin ;
- d'un outil de développement de connaissances finalisées dans le champ des risques naturels en montagne. Dont l'objectif serait d'encourager la dimension collaborative et appliquée des travaux scientifiques et techniques vis-à-vis des mêmes préoccupations préventives alpines.

¹⁰ Projet d'interface « Science-Décision-Action pour la prévention des risques naturels dans les Alpes » du PARN, 2013 en partenariat avec les régions RA et PACA, la DGPR, les DREAL RA et PACA et la DATAR.



Cette proposition dite « Plateforme d'expertise scientifique et technique » est cohérente avec le schéma d'interface Sciences-Décision-Action pour la prévention des risques dans les Alpes du PARN. En effet, les modalités proposées (réseau scientifique et technique et dynamique de projets finalisés associée) permettent de faire émerger des dynamiques collaboratives sur la base des préoccupations des gestionnaires ou de collectivités d'une part et des compétences scientifiques d'autre part.

Proposition transversale 2

« Site test »

Sur un plan pratique, comme collaboratif, compte tenu du caractère émergent de ces risques d'origine glaciaire et périglaciaire, il semble nécessaire de développer des modalités de travail inédites s'inscrivant dans une double perspective : pluridisciplinaire et intégrée.

C'est dans cette perspective et au regard des enjeux et défis relevés dans ce plan qu'une approche de type « sites test »¹¹ nous semble pertinente et particulièrement adaptée pour mieux appréhender la problématique de ces risques, tout en dégagant des marges d'action préventive substantielles. Cette proposition est donc à concevoir de manière articulée avec la proposition précédente relative à l'émergence d'une modalité d'expertise scientifique et technique institutionnalisée¹².

L'objectif de ce qui apparaît comme une modalité spécifique de travail sur site test repose sur l'idée de bénéficier de modalités d'échange et de travail collaboratives propices à l'émergence de connaissances spécifiques, articulées et adaptées aux préoccupations scientifiques, opérationnelles et décisionnelles.

L'intérêt d'une approche par « sites tests » :

Une démarche de type « site test » propose de travailler sur des cas concrets et réels. Le particularisme de chaque cas doit être étudié, puis capitalisé, afin de dégager transversalement des résultats plus globaux et généraux sur les risques glaciaires et périglaciaires et faire avancer les méthodologies, les outils qui alimenteront l'action préventive future. Pour des raisons différentes mais liées, cette démarche dite des « sites test » présente un intérêt pour les communautés scientifiques, opérationnelles et décisionnelles :

- Bénéficier de cas d'étude concrets, vis-à-vis desquels est d'ores et déjà identifiée une préoccupation opérationnelle pouvant aller de la simple observation-vigilance sur l'évolution particulière d'un site glaciaire, jusqu'à des situations de risques avérés posant clairement un problème de sécurité publique.
- Bénéficier de cas d'étude présentant à la fois un intérêt scientifique (mesure et suivi possible, questionnements et hypothèses de recherche fertiles, développement de méthodes ou d'outils spécifiques,...), mais aussi opérationnel et décisionnel (présence de verrous techniques, méthodologiques ou réglementaires, correspondant à une préoccupation techniques et ou territoriale, permettant d'expérimenter de nouvelles approches démarches ou procédures,...).

¹¹ Inspiré de l'opération « sites pilotes de gestion intégrée des risques naturels dans les Alpes (CIMA-POIA) coordonnées par le PARN et d'une proposition de travail à caractère collectif de P. Bouvet (RTM 05).

¹² Cf. proposition transversale : plateforme d'expertise scientifique et technique.



- Bénéficiaire d'un collectif pluridisciplinaire scientifique et technique (à même de couvrir la problématique et d'échanger sur une vision partagée du cas d'étude en question). En cela l'articulation avec la proposition de plateforme d'expertise scientifique et technique institutionnalisée semble pertinente.
- Favoriser l'approche intégrée des risques sur le cas d'étude : de la connaissance des processus et phénomènes, à la préparation à la crise (alerte, sauvegarde ...), en passant par l'intégration spécifique du risque étudié dans l'action préventive locale (éducation, information, réduction de la vulnérabilité,..).
- Bénéficiaire d'un pool ou réseau de « sites test » à même de permettre une approche comparative et de capitalisation, en encourageant le partage d'expériences, en testant des approches nouvelles d'un site à l'autre et en mutualisant les résultats lors de REX formalisés, à l'échelle de la plateforme d'expertise scientifique et technique.

Cette démarche de type « site test » peut s'appliquer sur le cas des glaciers blancs, notamment au niveau de certains sites instrumentés et surveillés (LGGE-LTHE, GIPSA-lab) et ce afin de poursuivre l'état des connaissances, tout en ouvrant le questionnement plus directement sur une problématique de risque et le cas échéant préventive.

Mais cette démarche peut aussi être déclinée pleinement sur le cas des glaciers rocheux, moins connus et moins observés, de même que sur le cas des instabilités de parois rocheuses.

Nous proposons d'illustrer ici cette démarche « site test » avec le cas des glaciers rocheux.

De l'inventaire au site test :

En matière de sites test et d'identification de ces sites, nous pouvons dès aujourd'hui nous appuyer sur le travail important d'inventaire « glaciers rocheux » réalisé entre 2011 et 2012 par les services RTM et le laboratoire PACTE.

Rappelons que ce travail a permis de préciser, pour tous les glaciers rocheux des départements sud-alpins, leurs risques associés. Ainsi ont été identifiés les différents scénarios potentiellement générateurs de risques (mouvements lents, affaissements, mouvements rapides, ruptures brutales, débâcles, ...), puis ont été notés tous les descripteurs utiles (sur le corps, sur le front, sur les lacs ou sur les dépressions). Ce travail a donc permis de distinguer pour chaque glacier les scénarios réalistes et les scénarios irréalistes.

A ce jour, il a été mis en évidence dans les Alpes de Haute Provence deux sites à risques particuliers en lien avec des glaciers rocheux. Ces deux sites du torrent de l'Abéous et du Hameau de Saint Ours ont connu plusieurs épisodes de laves torrentielles qui ont, pour l'un détruit un pont et bloqué la vallée de l'Ubaye, pour l'autre inondé une partie du Hameau et causé des dégâts matériels.

Il n'a pas été mis en évidence de risques en lien avec les glaciers rocheux dans les Hautes-Alpes.



Sur 51 sites¹³ (avec 95 glaciers rocheux), il est apparu utile soit de mener des réflexions ou des investigations complémentaires, soit de mettre en place des suivis plus réguliers. En cela ce travail d'inventaire dépasse le stade d'un simple répertoire des milieux glaciaires, car il précise le cas échéant des phénomènes engendrés par l'évolution des glaciers rocheux.

Site test : Proposition de protocole :

L'analyse plus détaillée de ces 51 sites mériterait d'être conduite en 2 étapes principales. La première étape devra confirmer et affiner les premières observations et les scénarios de risques prévisibles. Elle devrait être réalisée par une équipe scientifique pluridisciplinaire (gestionnaires de risques, géomorphologues, géotechniciens, ...), et ce afin de :

- Compléter les observations géomorphologiques ;
- Affiner les scénarios de risques réalistes sur chaque site.

Ensuite, et pour chaque site, cette équipe pluridisciplinaire pourra préciser :

- Si aucune mesure complémentaire n'est nécessaire ;
- S'il faut compléter les observations, notamment par quelques suivis ou observations périodiques (exemple des lacs, sur ou proches des glaciers rocheux, pour lesquels il pourrait être utile de connaître des fluctuations de niveau éventuelles) ;
- S'il faut réaliser des investigations supplémentaires (programme d'investigations géotechniques notamment).

Cette première étape confirmera (et permettra de prioriser) les sites potentiellement générateurs de risques et les principaux scénarios associés. Il est probable qu'une sélection d'un nombre moins important de sites pourra être faite pour poursuivre la démarche.

Enfin, sur les sites qui le justifieront, la deuxième étape consistera à élargir les échanges

- aux autres acteurs à impliquer : décideurs, autres gestionnaires, voire population,
- et aux autres composantes de la prévention ou de la gestion des risques : financements, suivis et surveillance, alerte, information préventive, etc.

Comme pour la proposition précédente, cette proposition dite « site test » est cohérente avec le schéma d'interface Sciences-Décision-Action pour la prévention des risques dans les Alpes du PARN. En effet, les modalités proposées (réseau scientifique et technique et dynamique de projets finalisés associée) permettent de faire émerger des dynamiques collaboratives sur la base des préoccupations des gestionnaires ou de collectivités d'une part et des compétences scientifiques d'autre part.

¹³ Une liste exhaustive disponible a été établit dans le cadre de ce travail d'inventaire.

Références

- Bommer, C.; Phillips, M.; Keusen, H.-R.; Teyssiere, P. (2010) : *Construire sur le pergélisol: Guide pratique*. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, WSL. 126 pages
- 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.
- Cap-Haz-Net (2012): *Développer les capacités sociales face aux aléas naturels - vers des sociétés plus résilientes, projet du 7^e PCRD - WP 8 Aléas régionaux 2: aléas alpins (rapport "Regional Hazard Workshop 2. Social capacity building for Alpine hazards")*
http://caphaz-net.org/outcomes-results/CapHaz-Net_WP8_RHW-Alpine-Hazards.pdf
- Dupont C. et Pigeon P. (2007) *Le Haut Rhône et son bassin versant montagneux : pour une gestion intégrée de territoires transfrontaliers*. Rapport de synthèse, projet Interreg IIIA France-Suisse. Institut de la Montagne, Le Bourget du Lac (Savoie, France), 120p.
- Faillietaz, J., D. Sornette and M. Funk. (2011) *Icequakes coupled with surface displacements for predicting glacier break-off*. J. Glaciol., 57(203), 453–460.
- Glaciorisk (2004) - *Survey and prevention of extreme glaciological hazards in European mountainous regions*, projet du 5e PCRD, <http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr>
- Glariskalp (2013) : *Risques glaciaires dans les Alpes Occidentales*, projet Alcotra, <http://www.fondms.org/glariskalp>
- Lailly B., (2005), *Le lac épiglaciale de Rochemelon Savoie - Commune de Bessans. De la crise 2004 à la vidange contrôlée 2005. Note de synthèse*. ONF — Service départemental RTM Savoie.
- 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
- Mortara G., Tamburini A., eds, (2004) *Il Ghiacciaio del Belvedere e l'emergenza del Lago Effimero*. Regione Piemonte et SMS, 190 p
- Naaim, M., Faug, T. Naaim-Bouvet F. et N. Eckert (2010) *La modélisation au service de la conception des ouvrages de protection : étude du site avalancheux de Tacconnaz*. Sciences Eaux et Territoires, la revue de l'Irstea, n°2 sept.2010.
- PARN (2012) *Document préparatoire au séminaire technique sur les risques glaciaires et périglaciaires*, http://www.risknat.org/risques-glaciaires-et-periglaciaires/document_preparatoire_seminaire_ROGP.pdf
- PARN : coordination de l'opération interrégionale CIMA-POIA Sites Pilotes de gestion intégrée des risques naturels dans les Alpes, UE, Région RA et PACA, DATAR.
- Patriarca, E., P. Tournaire (2010) *Menace sur St Gervais*. Ed. Catapac, 105p.
- PermaNET (2012) : *Longterm Permafrost Monitoring Network*, projet Espace Alpin, www.permanet-alpinspace.eu/
- Ravanel L. (2009) *Evolution géomorphologique de la haute montagne alpine dans le contexte actuel de réchauffement climatique*. Collection Edytem n°8.
- Ravanel, L., Deline, P., Lambiel, C., Vincent, C. (2013) *Instability of a highly vulnerable high alpine rock ridge, the Arête inférieure des Cosmiques (Mont Blanc massif, France)*. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. doi:10.1111/geoa.12000

- Richard, D., (2006) *Caractérisation des risques d'origine glaciaire : Etat des lieux, point de blocage, projets à promouvoir, CEMAGREF UR ETNA, convention MEDDE-DPPR, 31p.*
- Sanseverino-Godfrin V. (2009) Risques naturels, vulnérabilité, résilience et droit dans un contexte de développement durable. 20èmes JSE - Environnement entre passé et futur : les risques à l'épreuve des savoirs, Créteil.
- Schoeneich P., Bodin X., Krysiecki J., Deline P., and Raveland, L. (2010) : Permafrost in France. PermaFRANCE Network, Report No. 1, Institute of Alpine Geography, University of Grenoble.
- 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.SI
- SIDPC74 (2011) *Retour d'expérience - glacier de Tête-Rousse - Poche d'eau sous-glaciaire*.
- Strappazzon G. (2011) : *La communication autour des risques majeurs : nouveaux acteurs, nouveaux enjeux, nouveaux discours*. Thèse de doctorat Sciences de l'information et de la communication, Université Stendhal, Grenoble
- Vincent, C., E. Le Meur, D. Six, P. Possenti, E. Lefebvre and M. Funk. (2007). *Climate warming revealed by englacial temperatures at Col du Dome (4250 m, Mont Blanc area)*. *Geophys. Res. Lett.*, **34** (16), 5 pp.
- Vincent, C. ; Descloitres, M. ; Garambois, S. ; Legchenko, S. ; 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*, *Houille Blanche-Revue Internationale De L'Eau*,(2), p. 34–41.

Liste des sigles des laboratoires et universités ou organismes cités :

- EDYTEM : laboratoire Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne, Université de Savoie
- GIPSA-lab : laboratoire Grenoble Images Parole Signal Automatique, Université de Grenoble
- IRMA : Institut des Risques Majeurs
- IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
- ISTERRE : Institut des Sciences de la Terre, Université de Grenoble
- LGGE : Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Université de Grenoble
- LTHE : Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement, Université de Grenoble
- OSUG : Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble, Université de Grenoble
- PACTE : laboratoire Politiques, Action Collective et Territoires, Université de Grenoble
- PARN : Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels
- RTM : service de Restauration des Terrains en Montagne (Office National des Forêts)



ANNEXE : Tableau synthétique des piliers 1 à 6

	Etat des connaissances, préoccupations et investissements scientifiques	Etat des pratiques, préoccupations et capacités de réponse opérationnelles	Propositions Pistes à explorer et conditions à remplir
1. Connaissance des risques	<p>Une connaissance des processus, en amélioration mais encore insuffisante ;</p> <p>Problématique des risques étudiée uniquement en marge des activités de recherche ;</p> <p>Un inventaire des milieux glaciaires et périglaciaires presque exhaustif et actualisé mais pas encore d'inventaire de sites sensibles ou à risque ;</p> <p>Une connaissance toujours accompagnée de beaucoup d'incertitudes qui obligent souvent à prendre en compte le « scénario du pire » ;</p> <p>Peu d'approches relatives à l'analyse des vulnérabilités des territoires face à ces types d'aléas.</p>	<p>Trop peu de connaissance des ROGP dans les services opérationnels, sauf exception de services ayant déjà été confrontés à un cas.</p>	<p>Soutenir l'activité de recherche sur la compréhension des processus, afin de développer une capacité d'expertise et d'appui scientifique de qualité.</p> <p>Mobiliser des moyens pour la recherche en période de crise (phénomène actif).</p> <p>Permettre une mise à jour régulière des inventaires. Créer un réseau scientifique interdisciplinaire afin de pérenniser une veille et des capacités de travail scientifiques et techniques sur ces risques émergents.</p> <p>Mettre en place des outils de transmission de la connaissance entre recherche, opérationnels et autorités pour porter à connaissance les phénomènes à risque</p> <p>Définir une typologie des situations à problème. Intégrer l'incertitude dans l'analyse du risque.</p>



	Etat des connaissances, préoccupations et investissements scientifiques	Etat des pratiques, préoccupations et capacités de réponse opérationnelles	Propositions Pistes à explorer et conditions à remplir
2. Surveillance, prévision, vigilance et alerte	<p>Méthodes de suivi existantes pour certains cas identifiés, mais qui nécessitent encore des adaptations, améliorations (ex : méthode de la Résonance Magnétique des Protons pour la détection de poches d'eau intraglacière).</p> <p>Méthodes de prévision de rupture, encore en cours de développement, applicables dans certains cas de chutes de séracs/rupture de glacier.</p> <p>Méthodes de détection à distance (imagerie satel-litaire), qui permettent de détecter les mouvements de surface mais pas les poches d'eau ; méthodes en cours de développement.</p>	<p>Pas de procédures et de dispositifs standardisés.</p> <p>Sphère scientifique (recherche) sollicitée ponctuellement dans une posture d'appui et d'expertise peu ou pas reconnue et valorisée dans le domaine académique, ce qui limite les disponibilités.</p>	<p>Soutenir au niveau scientifique le suivi (monitoring) et la surveillance à long terme, autant sur des sites dangereux que sur des sites pilotes dont l'évolution est considérée comme représentative de l'ensemble de la cryosphère (au moins à une échelle régionale).</p> <p>Dans ce cadre, développer et systématiser des doubles fonctions sur site : observation (suivi scientifique) et surveillance (opérationnelle -alerte) <i>[se rapporter aux propositions des axes 4 et 9]</i></p> <p>Mettre en place un réseau d'observateurs en montagne. Organiser la collecte d'observation de phénomènes inhabituels par les usagers de la montagne.</p> <p>Améliorer les connaissances des services opérationnels sur la reconnaissance des signes annonciateurs de phénomènes dangereux, pour les types de phénomènes qui le permettent (ex. crevassement des glaciers rocheux, augmentation de l'activité de chute de séracs des glaciers, etc.)</p> <p>Développer un protocole de suivi « type » et organiser la chaîne d'alerte et de surveillance</p>



	Etat des connaissances, préoccupations et investissements scientifiques	Etat des pratiques, préoccupations et capacités de réponse opérationnelles	Propositions Pistes à explorer et conditions à remplir
3. Education et Information préventive	Culture du risque des populations constatées (entre autres par les SHS) comme encore plus faible dans le domaine des ROGP que dans les autres domaines de risque, alors que le besoin semble important dans un contexte de changement climatique.	Actuellement pas d'information réglementaire spécifique à ces types de risques, sauf très ponctuellement et localement sur cas particulier (Tête Rousse). Projet de note DDRM pour les départements soumis à ce type de risque.	Faire un effort important d'information, de sensibilisation et de pédagogie auprès des collectivités locales, des populations, mais aussi des services de l'Etat, pour permettre à l'action préventive de se décliner à toutes les échelles d'actions et de responsabilisation. Cette action pourrait aussi se décliner auprès des publics scolaires. Poursuivre par exemple le renforcement récent des moyens d'information et d'implication sur les risques technologiques (ex : information préventive associée au PPI Barrage). Développer une culture du risque ROGP dans les services techniques et opérationnels, par le biais notamment de la formation initiale et continue des professionnels Développer l'information préventive : DDRM, DICRIM, prim.net, notamment au travers d'une démarche communicationnelle multirisque
	Etat des connaissances, préoccupations et investissements scientifiques	Etat des pratiques, préoccupations et capacités de réponse opérationnelles	Propositions Pistes à explorer et conditions à remplir



4. Prise en compte du risque dans l'aménagement	Risques peu répétitifs, évolutifs et difficilement prévisibles, ne permettant pas la caractérisation aisée de phénomènes de référence (sauf exception), donc difficilement intégrables dans les zonages risques et les outils de planification de l'urbanisme. La détermination des emprises spatiales des aléas, comme la caractérisation de leurs intensités nécessitent le plus souvent une approche couplée des phénomènes glaciaires, neigeux, torrentiel, mouvements de terrain, ... La notion de fréquence de retour n'est le plus souvent pas pertinente, car la fréquence et l'intensité potentielle peuvent changer.	Les inventaires des milieux glaciaires disponibles à l'échelle de l'arc alpin français ne permettent pas d'identifier et de caractériser des emprises d'aléas potentiels, mais ils constituent une base importante et consolidée pour initier le travail d'identification de phénomènes potentiellement dangereux. En l'absence de connaissances suffisantes sur des zones d'aléas glaciaires et périglaciaires (enveloppe spatiale, fréquence), les PPR et zonages risque n'intègrent pas ce type de risques. Pas de traduction réglementaire pour ce type de risques. Pas de guide PPR risque glaciaire.	Approche scientifique de type « site test » ¹⁴ (sites à déterminer présentant une préoccupation du fait de la proximité d'enjeux, ou par le caractère particulièrement actif d'un phénomène donné), axé sur la caractérisation des aléas (spatialisation et intensité). Prendre en compte dans le zonage des événements de fréquence de retour plus que centennale. Tester des méthodes de zonage par « scénarii générationnels ». Envisager d'appuyer ces tests de scénarii par des modélisations adaptées des dynamiques (efforts de recherche à développer).
	Etat des connaissances, préoccupations et investissements scientifiques	Etat des pratiques, préoccupations et capacités de réponse opérationnelles	Propositions Pistes à explorer et conditions à remplir

¹⁴ Cf. proposition spécifique transversale sur les « site tests »



<p>5. Réduction de la vulnérabilité</p>	<p>Sur ce type de risque, les marges de manœuvre en matière de réduction de la vulnérabilité des enjeux existants sont peu importantes, compte tenu de la difficulté de caractérisation des aléas ou de leur importance.</p> <p>Les approches scientifiques et techniques sont encore trop peu avancées dans ce domaine.</p>	<p>A défaut de réduction de la vulnérabilité, la réduction du risque se traduit actuellement majoritairement par des pratiques de réduction de l'aléa (protection active possible dans le cas où l'aléa est identifié (vidange de lac, forage et pompage de poche). Les techniques restent cependant très spécifiques et peu d'entreprises ou d'opérateurs possèdent les compétences requises, surtout en situation de crise.</p>	<p>Améliorer la connaissance théorique sur la vulnérabilité des zones de montagne face aux ROGP (« études de vulnérabilité »)</p> <p>Développer des approches inspirées des zones d'AMV, dites zones jaunes ; Ce type d'approche pourrait être expérimenté dans le cadre de sites tests identifiés (cf. pilier4).</p> <p>Disposer d'une liste d'entreprises avec l'expérience et la compétence des travaux dans les conditions de haute montagne. Favoriser le recours à des procédures de marchés adaptées (bon de commande) doit être intensifié.</p>
	<p>Etat des connaissances, préoccupations et investissements scientifiques</p>	<p>Etat des pratiques, préoccupations et capacités de réponse opérationnelles</p>	<p>Propositions Pistes à explorer et conditions à remplir</p>
<p>6. Résilience et mise en sûreté</p>	<p>La mobilisation potentiellement récurrente des experts scientifiques en cas de crise peut s'avérer problématique (système d'expertise scientifique non stabilisé, peu de moyens consacrés, disponibilité limitée).</p>	<p>Sur un plan opérationnel, les outils locaux actuels (PCS) ne prennent pas en compte ce type de risques (excepté zonage spécifique d'évacuation pour le cas de Tête Rousse). Selon la cinétique des phénomènes, les possibilités d'anticipation peuvent être plus ou moins limitées.</p>	<p>Intégrer les ROGP dans les PCS. S'inspirer des PPI barrage.</p> <p>Coordonner et organiser une plateforme d'expertise scientifique et technique institutionnalisée¹⁵.</p> <p>Aboutir sur un schéma anticipé de réaction, par typologie de phénomènes</p>

¹⁵ Cf. proposition transversale : plateforme d'expertise scientifique et technique.



Complément 1. Retour d'expérience	Sans objet (les aspects scientifiques sont intégrés par les opérationnels dans les REX).	Les REX sont bien réalisés sur les derniers cas traités (Rochemelon, Tête Rousse), surtout sur la partie gestion. Les techniciens ont peu l'habitude de capitaliser leurs expériences.	Mutualiser les REX à l'échelle au moins des voisins européens (Suisse, Italie, Espagne) sur les aspects préparation/gestion de crise, expertise et ingénierie. Développer un réseau d'ingénierie spécifique Systématiser les études accidentologies notamment à l'échelle transfrontalière Favoriser la veille scientifique et technique sur les évènements
	Etat des connaissances, préoccupations et investissements scientifiques	Etat des pratiques, préoccupations et capacités de réponse opérationnelles	Propositions Pistes à explorer et conditions à remplir
Complément 2. Adaptation aux impacts du changement climatique	L'évolution climatique en cours a certainement des effets sur l'évolution de ce type de risque. Toutefois et en l'état actuel des connaissances, il semble délicat de prédire quelle sera cette évolution.	L'évolution des régimes thermiques des glaciers et environnements périglaciaires (glaciers rocheux, parois rocheuses..) a une influence importante et directe sur l'émergence d'aléas glaciaires et périglaciaires. A ce titre l'activité d'observation scientifique apporte un double avantage : amélioration de la connaissance dans un contexte de changement des forçages climatiques et jalons technique en vue de la surveillance des milieux.	Sur des sites tests pré-identifiés, la généralisation de système hybride observation/surveillance doit être envisagée pour les glaciers blancs comme rocheux, voire des parois rocheuses. Ces sites et réseaux d'observation/surveillance pourraient constituer des supports scientifiques (développement des connaissances) et opérationnels (aide à la décision/expertise) tangibles pour la plateforme d'expertise scientifique et technique ¹⁶ .

¹⁶ Idem