



Coordonné par **Florence Naaim-Bouvet** et **Didier Richard**

LES RISQUES NATURELS EN MONTAGNE

éditions
Quæ

Les risques naturels en montagne

Photos de 1^{re} de couverture :

- en haut à gauche : © D. Hantz / ISTerre Polytech Grenoble
- en haut à droite : © M. Bonnefoy-Demongeot / Irstea
- en bas : © M. Bonnefoy-Demongeot / Irstea

Photos de 4^e de couverture :

- en haut à gauche : © E. Thibert / Irstea
- en haut à droite : © D. Hantz / ISTerre Polytech Grenoble
- BD : © Cled'12
- schéma : © Graphies
- en bas de colonne : © D. Hantz / ISTerre Polytech Grenoble
- en bas à gauche : © M. Frayssines
- en bas au centre : © Météo-France / D. Goetz
- en bas à droite : © P. Belleudy / Université Grenoble Alpes

Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex
www.quae.com

ISBN : 978-2-7592-2387-9
© Éditions Quæ, 2015

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Les risques naturels en montagne

Florence Naaim-Bouvet et Didier Richard, coordinateurs

Éditions Quæ

Remerciements

Cet ouvrage est le fruit de la collaboration de 52 spécialistes des risques naturels en montagne, de la neige et des avalanches, des risques d'origines glaciaires, des crues et laves torrentielles, des mouvements de pente et des chutes de blocs. Ils ont mis en commun leur connaissance et se sont prêtés au difficile jeu de la transmission du savoir au plus grand nombre.

Nous remercions chaleureusement les responsables des chapitres, Didier Richard, Florence Naaim-Bouvet, Emmanuel Thibert, Dominique Laigle, Didier Hantz, Stéphane Lambert pour leur travail de coordination de longue haleine, et tous les auteurs cités dans la table des matières de l'ouvrage, pour avoir consacré du temps à cette aventure, qui a donné lieu depuis à une formation tous publics proposée par l'Osug (Observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble).

Mais la prose de nos spécialistes aurait peut-être été un peu austère sans le talent de Cled'12, Nicole Sardat, Christian Couvert (Graphies), Anne-Claire Lecomte et la collaboration des (très) nombreux photographes amateurs ou professionnels. Un grand merci à tous pour leur aide précieuse.

Enfin, la réalisation de cet ouvrage a été possible grâce au soutien d'Irstea, mais également de l'Europe et du conseil départemental de la Haute-Savoie (projet Interreg Alcotra MAP³)¹.



1. Interreg : programme financé par le Fond européen de développement régional (Feder), ayant pour vocation d'encourager et stimuler la coopération transfrontalière entre les États européens. MAP³ : *Monitoring for the Avalanche, Prevision, Prediction and Protection*.

Sommaire

Avant-propos	11
---------------------	-----------

CHAPITRE 1	LA MONTAGNE ET LE RISQUE	13
-------------------	---------------------------------	-----------

Coordination : D. Richard et E. George-Marcelpoil

C'est quoi, le risque ?	13
-------------------------	----

D. Richard

La montagne, terre de grands espaces ou de grands aménagements ?	18
--	----

E. George-Marcelpoil

Montagne récréative et/ou dangereuse ?	22
--	----

E. George-Marcelpoil

Qu'est-ce qui est différent en montagne ?	26
---	----

D. Richard

Qu'est-ce qu'on risque ?	28
--------------------------	----

D. Richard

Qui s'occupe des risques ?	31
----------------------------	----

D. Richard

Depuis quand s'occupe-t-on du risque naturel en montagne ?	36
--	----

D. Richar, O. Marco, R. Nepote-Vesino

Comment savoir ce que je risque ?	40
-----------------------------------	----

D. Richard

CHAPITRE 2	NEIGE ET AVALANCHE	45
-------------------	---------------------------	-----------

Coordination : F. Naaim-Bouvet

Avalanches de neige en quelques chiffres	45
--	----

F. Naaim-Bouvet, M. Deschâtres, F. Jarry

La neige en voit de toutes les couleurs	53
---	----

F. Naaim-Bouvet, S. Morin

Y a-t-il une mémoire des avalanches ?	61
---------------------------------------	----

F. Naaim-Bouvet, M. Bonnefoy-Demongeot, M. Deschâtres, J. Lopez-Saez

Où sont les neiges et les avalanches d'antan ? <i>N. Eckert, E. Thibert, G. Giraud</i>	68
Le manteau neigeux : un mille-feuille glacé <i>G. Chambon, S. Morin, D. Goetz</i>	72
Le déclenchement des avalanches : une histoire de forces <i>G. Chambon, S. Morin, D. Goetz</i>	76
Comment déclencher préventivement une avalanche ? <i>M. Bonnefoy-Demongeot, F. Naaim-Bouvet, J-F. Meffre</i>	85
Peut-on prévoir les avalanches ? <i>D. Goetz</i>	92
Pourquoi les montagnes fument-elles ? Et en quoi est-ce dangereux ? <i>F. Naaim-Bouvet, H. Bellot, V. Vionnet, A. Trouvilliez</i>	96
Des modélisations dans le vent <i>F. Naaim-Bouvet, V. Vionnet, H. Bellot, A. Trouvilliez</i>	105
Une avalanche de neige peut en cacher une autre <i>F. Naaim-Bouvet, M. Naaim, T. Faug</i>	111
Quelle puissance une avalanche de neige peut-elle développer ? <i>T. Faug, F. Naaim-Bouvet, M. Naaim</i>	119
Les avalanches en équations <i>M. Naaim, F. Naaim-Bouvet</i>	126
Chercheur d'avalanches : un métier à risque ? <i>F. Naaim-Bouvet, E. Thibert, H. Bellot, X. Ravanat</i>	137
De l'eau, du sel et des grains pour modéliser les avalanches <i>F. Naaim-Bouvet, T. Faug, M. Naaim</i>	143
Sait-on construire des bâtiments qui résistent aux avalanches ? <i>M. Givry, D. Bertrand</i>	151
Forêts de protection : mythe ou réalité ? <i>F. Naaim-Bouvet, F. Berger, S. Roudnitska</i>	157
Les ouvrages paravalanches dans la zone de déclenchement <i>F. Naaim-Bouvet, F. Rapin, B. Boutillier</i>	162
Les ouvrages paravalanches dans la zone d'arrêt <i>T. Faug, F. Naaim-Bouvet, M. Naaim</i>	169
Y a-t-il des tsunamis en montagne ? <i>M. Naaim, F. Naaim-Bouvet</i>	178
Le couloir d'avalanche de Tacconnaz et son paravalanche emblématique <i>M. Naaim, T. Faug, F. Naaim-Bouvet, H. Bellot, N. Eckert, F. Ousset</i>	183

Coordination : E. Thibert

Les risques d'origine glaciaire <i>E. Thibert, C. Vincent, D. Six</i>	193
Crevasse et séracs : comment se forment-ils ? <i>E. Thibert, C. Vincent, O. Gagliardini</i>	201
Changement climatique : vers une mort annoncée des glaciers ? <i>E. Thibert, C. Vincent, D. Six, A. Gilbert</i>	205
La glace comme origine des risques glaciaires : quelques événements historiques <i>E. Thibert, C. Vincent, D. Six</i>	211
Le rôle de l'eau dans des risques glaciaires : quelques événements historiques <i>E. Thibert, C. Vincent, D. Six</i>	216
Est-il possible de mener des actions préventives pour limiter les risques glaciaires ? Quelques exemples d'actualité <i>E. Thibert, C. Vincent, O. Gagliardini, S. Garambois, A. Legchenko, A. Gilbert, M. Harter, D. Six</i>	227
Risques glaciaires et changement climatique ? Y a-t-il un lien ? <i>E. Thibert, C. Vincent, O. Gagliardini, A. Gilbert, M. Harter, A. Soruco, D. Six</i>	234

Coordination : D. Laigle

Les torrents, quelques généralités <i>D. Laigle</i>	237
Charriage ou suspension ? <i>P. Frey</i>	243
Quand les torrents font des laves <i>D. Laigle</i>	246
Au fil de l'eau, de la montagne à la plaine : quand les torrents dessinent le paysage <i>A. Recking, F. Liebault</i>	251
Quand les rivières perdent l'équilibre ! <i>F. Liebault, A. Recking</i>	256
Comment mesurer les crues en montagne pour mieux les prévoir <i>F. Liebault, O. Navratil</i>	260
Quand les scientifiques jouent aux billes pour modéliser les torrents <i>P. Frey</i>	266
Laves torrentielles et cosmétiques : un air de famille ? <i>G. Chambon</i>	270

Pour maîtriser l'érosion, il suffit parfois d'un trait de génie... végétal ! <i>F. Rey, A. Erktan, S. Labonne</i>	275
Les activités humaines modifient-elles le fonctionnement des torrents ? <i>F. Liebault</i>	279
Torrents et changements climatiques <i>D. Richard</i>	283
Quels impacts sur les enjeux humains ? <i>D. Laigle</i>	285
Des barrages de correction torrentielle qui ne retiennent pas que de l'eau <i>J-M. Tacnet</i>	289
Les crues torrentielles du massif de Belledonne en 2005 <i>D. Richard</i>	296
La lave torrentielle du 22 août 2005 sur le Nant d'Armancette <i>D. Laigle</i>	300

CHAPITRE 5 **MOUVEMENTS DE PENTE**

303

<i>Coordination : D. Hantz</i>	
Qu'est-ce qu'un mouvement de pente ?	303
Quelques chiffres	306
Pourquoi les montagnes sont-elles érodées ?	307
Quels sont les mécanismes des mouvements de versant ?	309
La décompression et le fluage	312
Le glissement	314
Comment étudier la stabilité d'une pente susceptible de glisser ?	319
Pourquoi une pente glisse-t-elle et comment l'en empêcher ?	321
Peut-on prévoir les glissements ?	325
Le basculement	327
Chute, éboulement et écroulement	332
L'écoulement	334

Coordination : S. Lambert

Chutes de blocs et éboulements : définitions et évènements marquants <i>D. Hantz</i>	337
Fréquence des chutes de roche <i>D. Hantz</i>	341
Pourquoi les rochers tombent-ils ? <i>D. Hantz</i>	346
Tout en haut des montagnes, des risques accrus par le réchauffement climatique <i>L. Ravanel, P. Deline</i>	350
Ils chutent, rebondissent, roulent ou glissent <i>F. Bourrier, F. Berger, L. Dorren</i>	356
Mais où s'arrêtera-t-il ? <i>F. Bourrier, L. Dorren</i>	359
La mémoire des évènements pour l'évaluation des risques <i>F. Berger</i>	363
100 % des pierres arrivées en bas viennent d'en haut ! <i>F. Bourrier, F. Berger</i>	367
Des arbres contre les chutes de blocs <i>F. Berger, F. Bourrier</i>	370
Comment s'en protéger ? <i>S. Lambert</i>	374
Pas vraiment des filets à papillon ! <i>B. Boutillier, S. Lambert</i>	377
Oh le gros merlon ! <i>S. Lambert</i>	380
Les gorges de la Bourne : des surplombs rocheux sous contrôle <i>A. Mathy</i>	382
Bibliographie	387
Glossaire des sigles et acronymes	390
Liste des auteurs	391

Avant-propos

Plus que jamais, et les médias s'en font l'écho, les catastrophes naturelles font l'actualité. Des catastrophes majeures comme le tsunami de 2011 au Japon, d'autant plus majeur qu'il a ajouté un désastre industriel à la catastrophe naturelle, restent dans toutes les mémoires.

Notre territoire national, au moins métropolitain, n'est par chance pas soumis couramment à des catastrophes d'une telle ampleur. Mais chacun a-t-il bien conscience que là où il habite, ou dans les lieux qu'il parcourt, il peut être lui-même exposé à un certain nombre de dangers naturels ? Il est permis d'en douter.

La sensibilisation de tout un chacun à la nature et l'ampleur des dangers naturels susceptibles de l'affecter est donc un enjeu majeur pour la prévention des risques naturels. Une bonne information sur la réalité de ces phénomènes et des risques qu'ils induisent est nécessaire pour permettre à chacun d'être acteur de sa propre sécurité, d'améliorer, comme on le dit maintenant, son niveau de résilience.

Voilà les termes du pari relevé par le collectif d'auteurs réunis pour produire cet ouvrage : croire qu'une meilleure connaissance, par le plus grand nombre, des phénomènes sources de dangers, de leurs caractéristiques physiques, des techniques de protection et des moyens de prévention, de l'état des connaissances scientifiques et de leurs limites, participera à une meilleure prise de conscience et au final à une meilleure prévention des risques naturels en montagne.

Pourquoi la montagne ? Parce qu'aussi fascinante qu'elle puisse être, elle n'en est pas moins intrinsèquement dangereuse. La pente et l'altitude ont une influence déterminante sur la nature des phénomènes. Avalanches, risques glaciaires, crues et laves torrentielles, mouvements de pente et chute de blocs, phénomènes rapides et violents, sont spécifiques à ces territoires. En toile de fond se profile également le problème du changement climatique et le défi qu'il constitue pour les territoires de montagne plus sensibles aux variations de température que le reste du territoire national métropolitain.

Les auteurs se sont donc attachés à expliquer, aussi finement que possible pour que cela reste compréhensible, mais sans faire de concession à la rigueur scientifique, la physique des phénomènes générateurs de risques naturels en montagne, les techniques de protection et des moyens de prévention. L'approche est volontairement multirisque, dans la mesure où les régions de montagne présentent aussi cette particularité de très souvent cumuler plusieurs natures de risques sur le même territoire. Schémas, photos, exemples, anecdotes, viennent soutenir le propos d'un ouvrage pédagogique où les pages peuvent être lues au gré de la curiosité du lecteur.

Bonne plongée dans le secret des risques naturels en montagne !

1

LA MONTAGNE ET LE RISQUE



© H. Bellot / Irstea

C'est quoi, le risque ?

Selon les domaines, le mot **risque** peut se définir de diverses façons. Le joueur de poker, le *trader*, l'assureur, le pilote de Formule 1, l'artiste, le militaire, pour ne prendre que ces quelques exemples, ne décriront certainement pas de la même manière ce que représente le risque pour chacun d'eux.

Nous nous en tiendrons dans cet ouvrage à la définition couramment retenue dans le domaine des risques naturels. Pour autant, il existe au moins un point commun à l'idée de risque dans quelque domaine que ce soit, à savoir l'existence d'un danger auquel on peut être exposé.

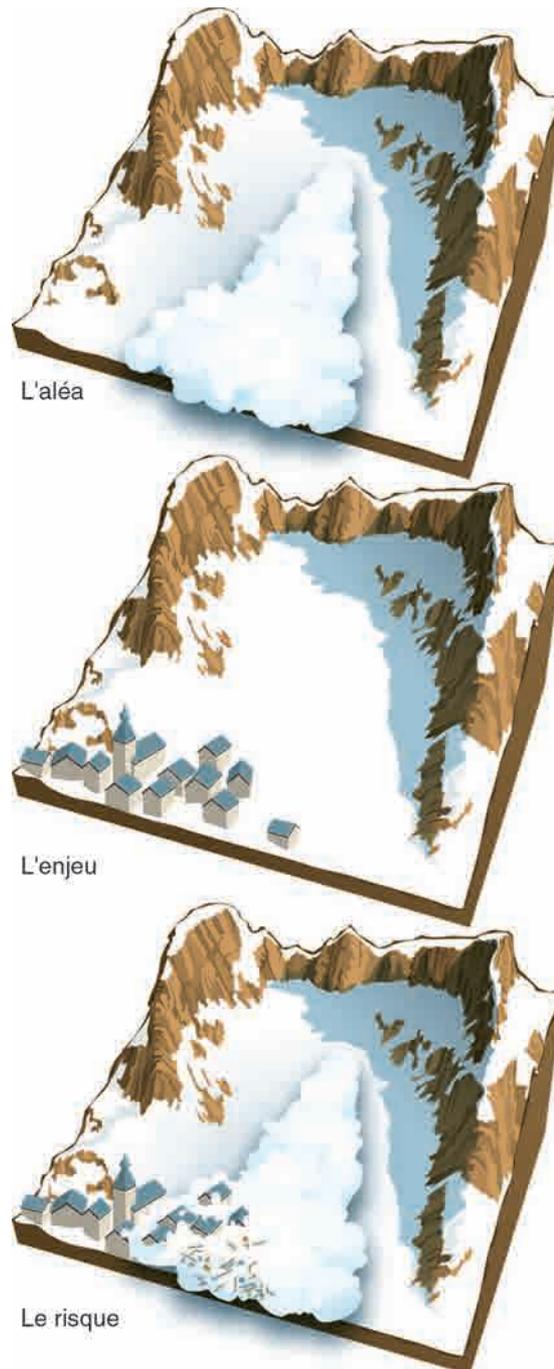
En matière de risques naturels, le danger potentiel est porté par un phénomène dit naturel : inondations, tempêtes, séismes, etc. Ces phénomènes naturels potentiellement dangereux ne constituent cependant pas un « risque » en tant que tel à eux seuls. Une avalanche dans une zone de haute montagne qui ne serait absolument jamais fréquentée (il en existe heureusement encore en période hivernale) ne représente un risque pour personne. On ne peut parler de risque que si ces phénomènes naturels menacent des « choses » auxquelles les sociétés humaines sont attachées. On désigne en général ces « choses » par le terme d'**enjeux**. Il peut s'agir d'activités (touristiques, agricoles, industrielles, etc.), de biens (infrastructures, bâtiments, réseaux urbains, sites industriels, biens individuels, etc.), et évidemment – hélas – dans les cas extrêmes, de vies humaines. On utilise également souvent le terme de **vulnérabilité** pour désigner ces enjeux au travers de la valeur qui leur est accordée, et qui se trouve potentiellement menacée par un caprice de la nature. Une difficulté pour caractériser la vulnérabilité provient du fait qu'il n'est pas toujours possible d'exprimer en unités monétaires les valeurs accordées à certains enjeux.



Pour revenir au phénomène naturel potentiellement source de danger, il se manifeste quant à lui de façon plus ou moins aléatoire, et ne cause heureusement pas à chaque fois des dommages aux enjeux menacés. Une rivière ne déborde pas à chaque fois qu'il pleut ; on n'a pas une avalanche dans un couloir donné à chaque fois qu'il neige ; des villes entières ne sont pas dévastées à chaque séisme. Un phénomène naturel source de danger potentiel devient destructeur lorsque sa force ou sa puissance dépasse une certaine valeur. On parle d'**intensité** pour désigner cette « puissance » développée par le phénomène en question. Et cette intensité se caractérise au travers des différentes variables qui peuvent être mises en correspondance avec la gravité des dommages qui en résultent : vitesse, débit, hauteur, énergie, pression...

On parle donc d'**aléa** pour désigner le phénomène naturel source de danger, caractérisé par une intensité « de référence » associée à la probabilité que cette intensité soit dépassée. On raisonne très souvent en probabilité annuelle, c'est-à-dire la probabilité pour que l'intensité choisie comme référence soit dépassée au moins une fois une année donnée. Cette probabilité annuelle est souvent transformée en *période de retour*. Par exemple, un phénomène qui a une probabilité d'un sur dix d'être dépassé chaque année, aura lieu en moyenne tous les dix ans. On le qualifiera d'évènement « décennal ». Il est important de comprendre que cette période de retour représente une fréquence moyenne. On peut très bien avoir plusieurs évènements décennaux sur une période de dix ans (et même deux années consécutives, voire la même année, pourquoi pas), et aucun évènement décennal durant les dix (ou quinze, ou vingt, etc.) années suivantes. Ce n'est que sur une période de plusieurs fois dix ans que cette fréquence moyenne pourra être effectivement constatée.

Finalement, il est relativement admis dans le domaine des risques naturels, de définir le **risque** comme la combinaison de l'**aléa** (phénomène source de danger caractérisé par son intensité et la probabilité que celle-ci soit dépassée) et de la **vulnérabilité** des enjeux exposés (traduisant la « valeur » des pertes qui résulteraient de l'occurrence de l'aléa considéré) (fig. 1.1).



1.1 ■ Aléas - enjeux - risque : du phénomène naturel au risque. © Graphies.

Il est en général très difficile de caractériser les aléas exceptionnels avec une grande certitude, puisque cela demanderait de disposer d'observations sur des temps très longs (plusieurs siècles pour l'évènement centennal par exemple, ou plusieurs millénaires pour l'évènement millénaire). L'aléa peut d'autre part évoluer au cours du temps, *a fortiori* sur des périodes aussi longues. C'est d'ailleurs une question qui se pose avec une grande actualité maintenant que la réalité des changements climatiques est avérée. L'ampleur de ces changements reste toutefois imprécise, et leurs conséquences sur certains phénomènes naturels, notamment en zone de montagne, entachées d'une très grande incertitude.

Quoi qu'il en soit, et indépendamment des scénarios d'évolution de l'aléa résultant des changements climatiques à venir, c'est très souvent et dans la plupart des régions du monde par une augmentation continue de la vulnérabilité des sociétés humaines que le risque naturel augmente. À ce titre, les origines des risques « naturels » sont d'une certaine façon de moins en moins « naturelles ».

Dans bien des endroits, supprimer ou même éviter le risque n'est pas possible. On doit garder bien en tête, selon la formule consacrée, que « le risque zéro n'existe pas ». Il est alors nécessaire de vivre avec le risque et pour cela de le gérer. La gestion des risques naturels recouvre un certain nombre d'étapes, qui s'opèrent de façon plus ou moins chronologique, ce qui a conduit à en donner couramment une représentation sous la forme d'un cycle.

Dans ce cycle de gestion du risque, un évènement est précisément daté, qui est celui de l'occurrence de la catastrophe (ou de la réalisation de l'aléa). Ce moment précis est souvent utilisé comme point de départ de la description des phases qui s'enchaînent ensuite. Mais comme une bonne gestion du risque vise avant tout à réduire autant que possible les conséquences néfastes d'un évènement naturel dommageable, il semble plus cohérent de commencer par les actions justement destinées à réduire la vulnérabilité des personnes et des biens face aux dangers naturels. On distingue dans cette phase deux types de mesures : les mesures de prévention et les mesures de préparation.

L'objectif de la prévention est d'éviter les dommages par un aménagement du territoire approprié pour réguler l'urbanisation et l'implantation des activités, ou de réduire ces dommages par des mesures de protection. La préparation a quant à elle l'objectif d'aider à surmonter une prochaine catastrophe par des actions d'organisation, de planification et de préparation des secours, la mise en place et la formation d'équipes d'intervention, la mise en place d'assurances. . .

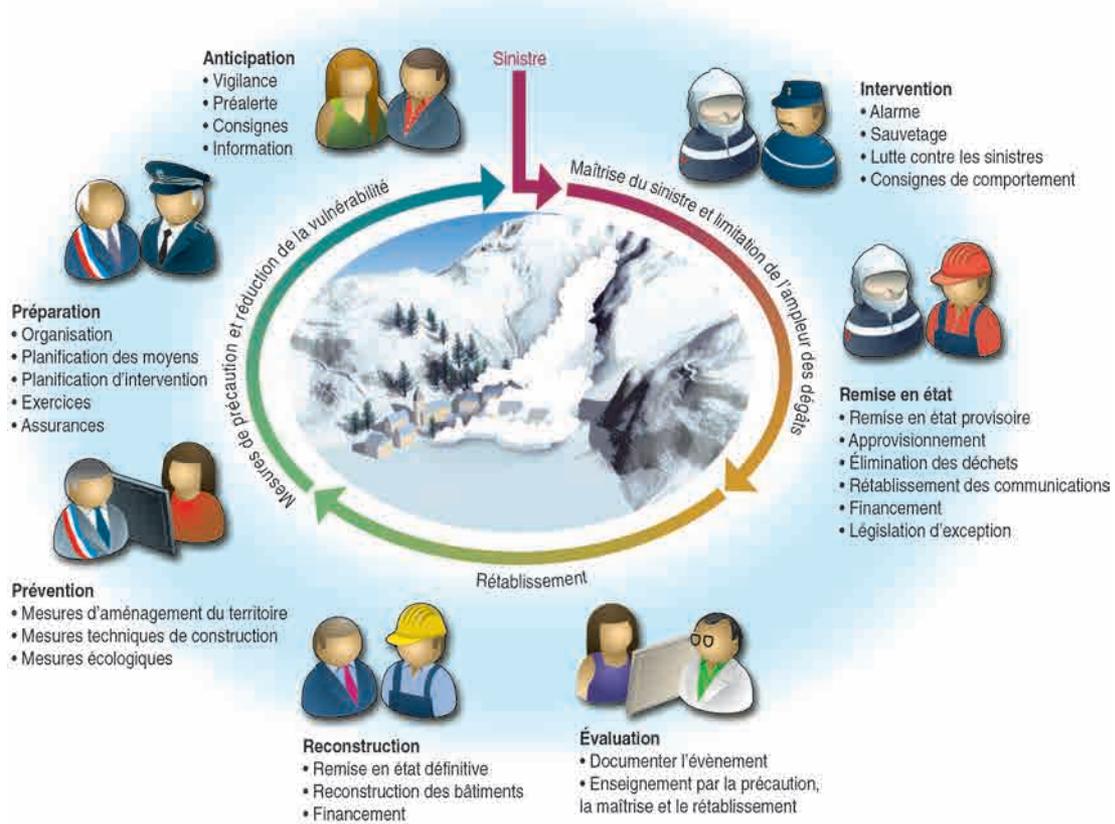
En amont même de ces actions qui visent à réduire l'impact possible d'un phénomène naturel dangereux, il est nécessaire d'identifier le phénomène (l'aléa) et ses caractéristiques, de connaître nos vulnérabilités vis-à-vis de ce phénomène, afin d'évaluer le risque et d'améliorer les outils techniques de réduction du risque (aléa et/ou vulnérabilité).

Cette démarche de connaissance représente un investissement de long terme, régulièrement alimenté par les retours d'expériences des évènements (catastrophiques ou non). Les résultats de ces actions scientifiques et techniques doivent être portés à la connaissance des acteurs et citoyens des territoires concernés pour leur permettre de se préparer au mieux aux conduites à tenir en cas d'accident. Cette information préventive peut prendre différentes formes, comme l'affichage du risque, l'information, la sensibilisation ou l'éducation.

Lorsque l'évènement survient, l'objectif est avant tout de préserver les vies humaines et de limiter les conséquences économiques. C'est le moment de la gestion de crise. Cette dernière peut être facilitée lorsque des signes précurseurs (météorologiques notamment) permettent d'anticiper la survenue de l'évènement et de déclencher des alertes, voire de mettre en œuvre des mesures d'évacuation, sur la base de cette prévision. Une fois le phénomène déclenché, il s'agit de gérer l'engagement et le déploiement des moyens de secours, de sauvetage et de soins aux victimes, ou des mesures immédiates pour éviter d'autres dommages.

La crise passée, des mesures doivent être engagées avec une certaine urgence, pour remettre en état de fonctionnement, même dégradé et même à titre provisoire, les installations critiques (réseaux de communication / hôpitaux / électricité et eau potable...) et l'approvisionnement en denrées de première nécessité.

La phase suivante de reconstruction, consistant à transformer ces mesures de remise en état provisoires en solutions définitives durables, peut s'étaler sur plusieurs années. Ces opérations nécessitent d'avoir conduit une analyse et un retour d'expérience approfondis de l'évènement et de la crise, permettant d'en tirer les enseignements en termes de renforcement ou d'évolution des mesures de prévention et de préparation, ce qui boucle ainsi ce cycle de gestion des risques (fig. 1.2).



1.2 ■ Le cycle de gestion des risques. © Graphies, d'après www.planat.ch.

La montagne, terre de grands espaces ou de grands aménagements ?

La montagne est un lieu de paradoxe, tantôt synonyme de grands espaces, de qualité environnementale, d'abondance de la ressource en eau, tantôt stigmatisé pour la progression de l'urbanisation (fig. 1.3), l'érosion de la biodiversité ou bien encore l'expansion des équipements touristiques. Au-delà de ces images, de ces perceptions, nous allons chercher ici à apporter des éléments de réponse aux questionnements suivants : que peut-on réellement dire de cette montagne ? Quelles représentations s'en sont succédé ? Comment l'a-t-on définie ? Quelles activités économiques ont permis son développement le siècle dernier ? Et quelles vulnérabilités en résultent¹ ?

Sur un peu plus d'un siècle, la représentation de la montagne française a fortement évolué, tant sur le plan économique que dans les critères utilisés. Ainsi, cette montagne, terre perçue comme enclavée, dangereuse, de moindre développement économique, avec une économie structurée par l'activité agricole, pastorale et forestière, se trouve fortement peuplée durant la première partie du XIX^e siècle. C'est d'ailleurs consécutivement à des crues torrentielles d'ampleur à cette époque, que les premières lois d'aménagement y voient le jour. Ces lois concernent respectivement son reboisement et la régulation du régime des eaux, ainsi que son ré-engazonnement. Elles cherchent à protéger les terrains, et ce faisant, les biens et les personnes présents sur ces territoires.

Dans ce contexte, les handicaps naturels autour de la pente et de l'altitude sont importants avec des conséquences en termes de risques naturels (avalanches, crues torrentielles...). Ainsi, dans la définition de la montagne et dans la manière dont historiquement elle a été aménagée, cette pente et cette altitude ont tout d'abord été considérées comme des handicaps pour l'activité économique agricole, car synonymes de moindre période de végétation et donc de productivité, de difficultés de mécanisation. Aux côtés de l'activité agricole et forestière, deux nouveaux secteurs d'activité se développent.

Le premier concerne l'utilisation de la ressource en eau, au travers des grands chantiers hydro-électriques, avec la construction des principaux barrages durant la période 1920-1930 puis une seconde phase dans les années 1950-1960. Outre la production d'électricité, ces chantiers permettent l'emploi d'actifs, en provenance du secteur agricole local touché par le déclin mais aussi de l'étranger avec notamment la migration d'actifs italiens comme espagnols. Le second concerne l'aménagement touristique de la montagne, pour lequel ces mêmes critères, pente et altitude, vont devenir des atouts pour les premières initiatives touristiques hivernales au début du XX^e siècle. Au sortir de la seconde guerre mondiale, ces caractéristiques ont guidé les promoteurs du plan Neige² dans le choix des sites les plus favorables à l'implantation de stations de ski de renommée internationale. L'expérience de Courchevel, portée dès 1946 par le conseil général de la Savoie, puis celle des stations intégrées³ avec le plan Neige des années 1960 ont toutes reposé sur la valorisation des caractéristiques physiques et

1. Cette thématique des vulnérabilités est notamment définie et détaillée plus haut dans « C'est quoi, le risque ? ».

2. Le plan Neige désigne les principes qui vont dicter l'implantation des stations intégrées sur la période 1965-1975.

3. Les stations intégrées ou encore *ex-nihilo* sont des stations implantées en site vierge de toute urbanisation et gérées de manière intégrée par un promoteur unique qui se charge de l'aménagement du domaine skiable comme de la construction et de la promotion de l'immobilier de loisir.