

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU
DEVELOPPEMENT DURABLE

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT,
DES TRANSPORTS, DU LOGEMENT,
DU TOURISME ET DE LA MER



éléments

Construire en montagne



la prise en compte
du risque d'**avalanche**

risques naturels majeurs

MINISTERE DE L'ECOLOGIE
ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT
DES TRANSPORTS, DU LOGEMENT,
DU TOURISME ET DE LA MER

**CONSTRUIRE EN MONTAGNE
LA PRISE EN COMPTE
DU RISQUE D'AVALANCHE**

Cet ouvrage a été élaboré et réalisé par Marc Givry, architecte, et Pascal Perfettini, ingénieur au Cemagref.

Ils ont réalisé ce travail avec l'assistance d'un groupe de pilotage qui comprenait :

- *Loïc Bérout, MEDD*
- *Jean-Marc Bonino, Commune de Chamonix*
- *Alain Delalune, RTM 73*
- *Olivier Henno, CSTB*
- *Christophe Hugot, Bureau Véritas*
- *Jérôme Liévois, Délégation Nationale RTM*
- *François Rapin, Cemagref*
- *Bruno Senecat, METLTM*
- *Jean-Michel Taillandier, Cemagref*
- *Pierre-Yves Vecchio, CEBTP*

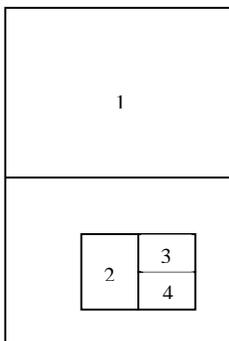
Ils ont aussi bénéficié de la collaboration et des conseils de :

- *Robert Bolognesi, Météorisk*
- *Philippe Bouvet et toute l'équipe RTM 65*
- *Marc Leobet, MEDD*
- *Jean François Meffre, Avalanches Service International*
- *Paola Pellandini et Antonello Scala, Studio Mario Botta*
- *Jean Pierre Requillard, RTM 38*
- *Charly Wuilloud, Service des Forêts et du Paysage du Valais*

Les auteurs remercient les personnalités qui ont bien voulu relire ce document et faire part de leurs observations, tout particulièrement :

- *Christophe Ancey, Cemagref*
- *Gérard Brugnot, Cemagref*
- *Philippe Berthet-Rambaud, ingénieur TPE*
- *Claire Boulet-Desbareau, MEDD/DPPR*
- *Patrick Simon, MEDD/DPPR*

Ils tiennent aussi à remercier les services RTM, le bureau Toraval, les PGHM de Chamonix et de Bourg St Maurice ... et tous les organismes qui ont apporté leur assistance à cet ouvrage.



Photos de couverture :

- 1 Avalanche des Lanches à Peisey-Nancroix – Photo PGHM
- 2 Eglise de Mogno en Suisse- Architecte Mario Botta – Photo Enrico Cano
- 3 Eglise de Vallorcine – Architecte inconnu - Photo Marc Givry
- 4 Porte du Parc de la Vanoise à Rosuel – Architecte Christian Durupt – Photo Marc Givry

En application de la loi du 11 mars 1957 (article 41) et du Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992, toute reproduction partielle ou totale à usage collectif de la présente publication est strictement interdite sans l'autorisation expresse de l'éditeur. Il est rappelé à cet égard que l'usage abusif et collectif de la photocopie met en danger l'équilibre économique des circuits du livre.

©.....ISBN.....

PREFACE

Sites exceptionnels, environnements magnifiques, nos montagnes fascinent et attirent de plus en plus. Entre 1990 et 1999, la population montagnarde s'est ainsi accrue de 110 000 habitants. Et même si une commune sur deux, singulièrement les petites, continue de se dépeupler, de nouvelles zones de dynamisme se créent, particulièrement en haute montagne.

Dans ces régions, les avalanches constituent le principal aléa naturel contre lequel les hommes ont dû apprendre à se prémunir. L'engouement actuel conduit à construire sur des terrains autrefois délaissés compte tenu des risques encourus.

Les démarches de prévention et de protection initiées dès le XIX^{ème} siècle ont vu la création du service de restauration des terrains de montagne, l'organisation d'une enquête permanente sur les avalanches puis d'une cartographie de leur localisation probable, de leur déclenchement préventif si nécessaire.

Et pourtant, le 9 février 1999, à Montroc, sur la commune de Chamonix, l'avalanche de Pécleray touche 20 chalets, détruisant entièrement quatorze d'entre eux. Douze morts sont à déplorer. Au delà de l'émotion provoquée, cette catastrophe fut à l'origine d'une prise de conscience pour nombre de communes de montagne. Elle a permis un regain de la politique de prévention de ce risque.

Les populations en cause sont d'ailleurs d'autant plus vulnérables qu'elles n'ont pas toujours conscience de ce danger, surtout pour la partie d'entre elles qui ne résident dans ces vallées que temporairement pour les sports d'hiver.

Il apparaît donc nécessaire d'apprendre à vivre avec le phénomène et de le prendre en compte de façon raisonnable et sûre, et notamment par des techniques de constructions appropriées.

La rédaction d'un guide méthodologique, synthétisant les pratiques actuelles de construction, et l'élaboration de dispositions constructives était proposée dans la réflexion de retour d'expérience de la «crue avalancheuse» de février 1999.

Nous souhaitons que ce guide permette aux particuliers comme aux professionnels du bâtiment d'apporter une attention particulière à la conception et à la construction en zone de montagne soumise aux avalanches.

Le Directeur Général de
l'Urbanisme, de l'Habitat et
de la Construction



Le Directeur de la Prévention
des Pollutions et des Risques,
Délégué aux risques majeurs



SOMMAIRE

APERÇU HISTORIQUE	15
LE RISQUE AVALANCHEUX	25
Types d'avalanches et effets potentiels	
Définition de l'aléa	
Protections collectives	
Risque résiduel	
INFORMATION DISPONIBLE	33
Carte de localisation probable des avalanches	
Plan de prévention des risques naturels prévisibles	
IMPACT SUR LES CONSTRUCTIONS	35
Avalanche coulante	
Avalanche en aérosol	
EFFORTS SUR LES CONSTRUCTIONS	41
Pression de référence	
Hauteur d'application	
Direction d'application	
Effets à prendre en compte	
Impact ponctuel	
Combinaisons d'actions	
REPONSES CONSTRUCTIVES	51
Constructions en maçonnerie traditionnelle	
Constructions en béton armé	
Constructions en bois	
Constructions en acier	
Problématique des ouvertures	
Éléments secondaires	
Récapitulation des résistances	
Bâtiments existants	
REFLEXIONS D'URBANISME	67
Dispositions d'ensemble	
Dispositions particulières	
ADRESSES UTILES	75
BIBLIOGRAPHIE	77
INDEX DES ILLUSTRATIONS	79
TABLE DES MATIERES	81

INTRODUCTION

Depuis que les montagnes existent, quelques dizaines de millions d'années sans doute, il y a de la neige et il y a des avalanches.

Depuis qu'il y a des hommes dans les montagnes, quelques dizaines de milliers d'années sans doute, ils subissent les avalanches.¹

Photo 1-01. [E.Guérard L'avalanche vallée de Chamouny Lithographie 1852](#)



Source : 60.2.4 Collection Musée Dauphinois

Le vocabulaire l'atteste. Si on se réfère au Robert, le Dictionnaire Historique de la Langue Française, le mot français "avalanche" est emprunté au franco-provençal *avalanche*, attesté en 1487, et lui-même croisement de *avalier* (descendre, dégringoler) et du terme alpin *lavanche* qui correspond à l'ancien provençal *lavanca*, lié au latin *labina* (éboulement) de *labi* (glisser). On peut aussi noter que le mot "avalanche" est le même en français et en anglais.

¹ Pour satisfaire les gens soucieux de précision, en fait les montagnes existent depuis le refroidissement de la croûte terrestre il y a 4.6 milliards d'années mais vu la température et la composition de l'atmosphère de l'époque il n'y avait probablement pas de neige du moins au sens habituel. Les hominidés sont apparus il y a près de 3 millions d'années et l'homo sapiens sapiens, c'est-à-dire nous, il y a 80 000 ans lors de la dernière période interglaciaire Riss-Würm.

La toponymie l'atteste aussi. Par exemple, en consultant "Les noms du paysage alpin", l'atlas toponymique d'Hubert Bessat et Claudette Germi, on se rend compte que l'avalanche a sans doute suffisamment préoccupé les hommes pour que les lieux le disent.

Document 1-01.

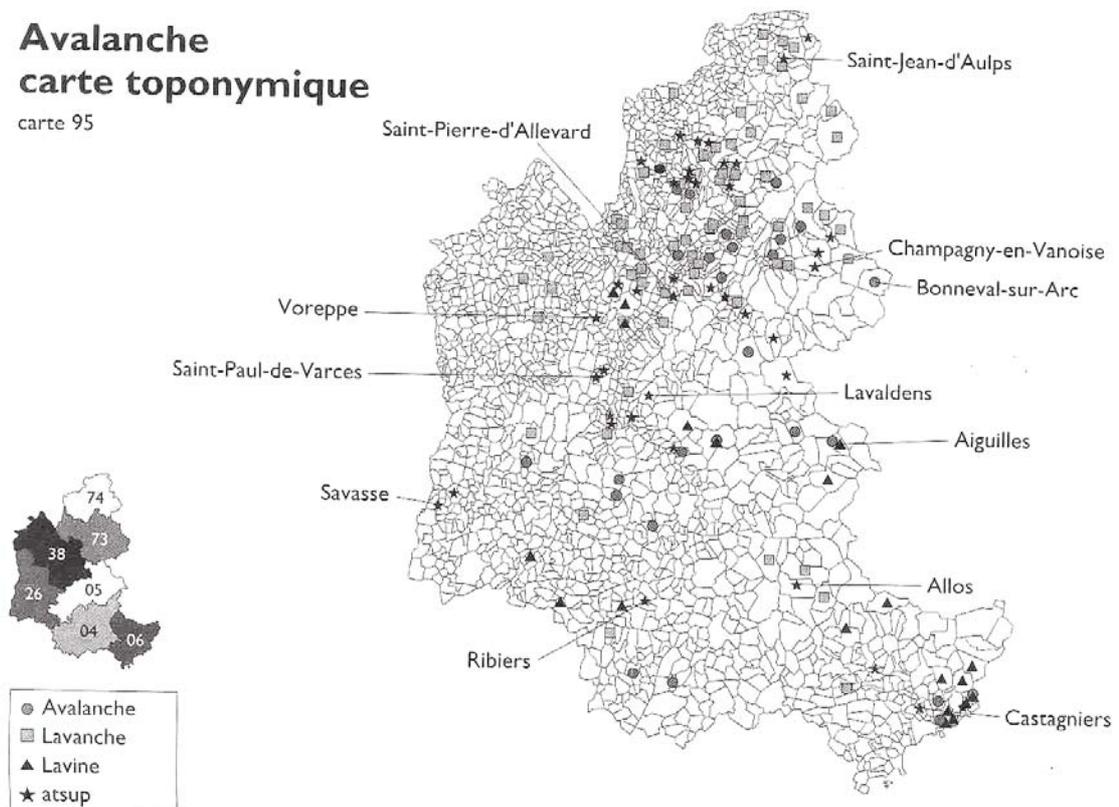
Extrait de "Les noms du paysage alpin", Atlas toponymique, Hubert Bessat et Claudette Germi

«Avalanche n'est pas la forme dialectale ou toponymique la plus courante en domaine francoprovençal ou occitan alpin, mais elle se rencontre néanmoins par suite de croisements avec les types lexicaux lavine, lavanche, lavange, lavanche, lavintse, valanche, élavanche. Le toponyme a hérité de ces mêmes formes outre celle du dérivé suffixé lavancher/lavinsti "lieu de passage de l'avalanche". Parmi les termes désignant les avalanches ou plutôt les couloirs d'avalanche dans nos dialectes alpins, seuls lavanche et lavancher appartiennent spécifiquement au champ sémantique de la neige. Les autres (couloir, drayère, chalanche, lanchier, chenal) relèvent du domaine du relief, avec les sens dominant "ravin en forte pente qui canalise aussi bien les coulées de neige que celles de boue ou que les éboulements rocheux".

Un phénomène atmosphérique comme la neige, même sous sa forme catastrophique qu'est l'avalanche, n'a pas un impact aussi fort sur le paysage que la morphologie du terrain et que l'érosion torrentielle : on ne s'étonnera donc pas qu'un terme polysémique comme couloir soit plus fréquent en toponymie qu'un mot qui évoque presque exclusivement la neige comme lavancher. La diffusion des toponymes Lavine, Lavanche, Lavancher, dans tout l'arc alpin n'en demeure pas moins remarquable, alors que les autres toponymes directement liés à des désignations dialectales de l'avalanche sont limités à des espaces restreints comme Drayères en Oisans, Arin (Combarin) dans les Alpes vaudoises, Comba (au sens d'avalanche) à l'est de la Vallée d'Aoste.»

Avalanche carte toponymique

carte 95





Pour se défendre des avalanches, les hommes ont invoqué les Saints : bien souvent Saint Sébastien ou Saint Roch, mais aussi Sainte Anne et quelques autres. En effet, il n'existe pas un Saint spécifique de l'avalanche, et dans l'ensemble on invoquait plutôt les Saints de la "mort subite", c'est à dire la mort sans avoir reçu l'extrême onction, des Saints qui servaient aussi pour toutes les autres catastrophes.

Mais aussi, depuis qu'au XIX^e siècle, il avait neigé un 15 août à Rome, dans les montagnes on a beaucoup utilisé "Notre Dame des Neiges" qui protège "les affligés de la montagne" : par exemple à Val d'Isère, la très belle chapelle qui surplombe (et protège) le hameau du Joseray.

Photos 1-03 1-04. [Notre Dame des Neiges, hameau du Joseray, Val d'Isère](#)



Source : Photos Marc Givry

Pour se défendre des avalanches, les hommes ont aussi élaboré d'autres stratégies, des stratégies défensives de type quasi militaire, mais cela n'étonnera personne, dans l'histoire de l'humanité l'art religieux et l'art de la guerre ont bien souvent marché de pair.

Photo 1-05. [Réalp, Suisse, "l'église et le bouclier"](#)



Source : Fond Cemagref

Si on poursuit notre comparaison entre la défense contre les avalanches et l'art des fortifications, on trouvera sans doute des correspondances fécondes.

Une des premières réponses dans l'art de la fortification à l'invention de l'artillerie, a été de chercher à détourner les coups. On pourrait la qualifier d'un mot : "**dévier**". Cela a donné les premiers tracés bastionnés des ingénieurs italiens, tracés perfectionnés par la suite par un certain Sébastien Le Prestre, plus connu sous le nom de Marquis de Vauban.

Pour illustrer cette stratégie dans le domaine de l'avalanche on peut citer l'église de Vallorcine abritée derrière sa "*tourne*" et dont l'histoire mérite d'être connue.

Document 1-02.

Extrait de l'Histoire de Vallorcine.....

Isolés dans l'immense zone d'avalanches au sud de La Villaz et du Mollard, se dressent l'église et le presbytère, protégés par la "tourne". Cette situation est historiquement récente. Jadis, près de l'église, vers le midi se regroupait un village qui jouait le rôle de chef-lieu. Ce village a été détruit par l'avalanche du 5 mars 1674 et abandonnée. Pour en rappeler le souvenir, on planta une croix, là où se trouve encore le bassin aux hôtes (en dialecte le "bouillézante"). Mais le haut et le bas de la vallée ne purent s'entendre pour trouver un emplacement moins dangereux pour reconstruire

le presbytère et l'église, entourée alors par le cimetière. Ils furent maintenus sur place. On les protégea en édifiant la "tourne", étrave de pierres, énorme rempart qui porte à l'amont la date de 1721. Protection efficace, car, dans l'hiver 1802-1803, l'église n'est pas touchée par une "avalanche qui tient toute la plaine de Vallorcine". Mais le 15 janvier 1843, une avalanche encore plus violente détruisit le clocher, décoiffa l'église et endommagea le presbytère. Il fallut renforcer la "tourne" l'été suivant, puis à nouveau en 1861 et même en 1953.

Photos 1-06 1-07. "**dévier**" : Vallorcine, l'église et sa tourne



Source : Photos Marc Givry

L'évolution suivante de l'art de la fortification peut être illustrée par le Marquis de Montalembert, qui dans les onze volumes de *La Fortification Perpendiculaire* parus de 1776 à 1796, illustrera plutôt un autre principe : **"faire face"**.

Photo 1-08. **"faire face"** : le Fort de l'Enlon



Source : Photo Marc Givry

Fort Boyard, les forts de l'Eseillon en Haute Maurienne ou le fort de l'Enlon dans le Briançonnais, peuvent illustrer cette stratégie, que Mario Botta semble avoir reprise lorsqu'il reconstruisit en 1998 l'église de Mogno, à la place d'une église du XVII^e qui avait été détruite le 25 avril 1986 par une double avalanche.

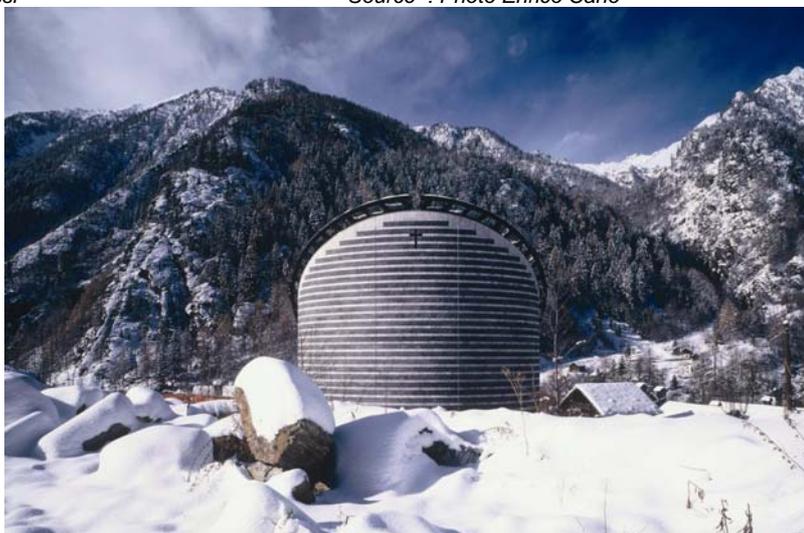
Photos 1-09 1-10 1-11. **"faire face"** : Mario Botta, l'église de Mogno reconstruite après l'avalanche



Source : Photo Fausto Sassi



Source : Photo Enrico Cano



Source : Photo Enrico Cano

Mais quand l'artillerie progresse, que les canons sont rayés et que les boulets deviennent des obus, il n'est bientôt plus possible d'essayer de dévier ou de faire face, et il ne reste plus qu'une solution : "**se défil**er".

Photo 1-12. "**se défil**er" : le fort de Mallemort – Système Séré de Rivières

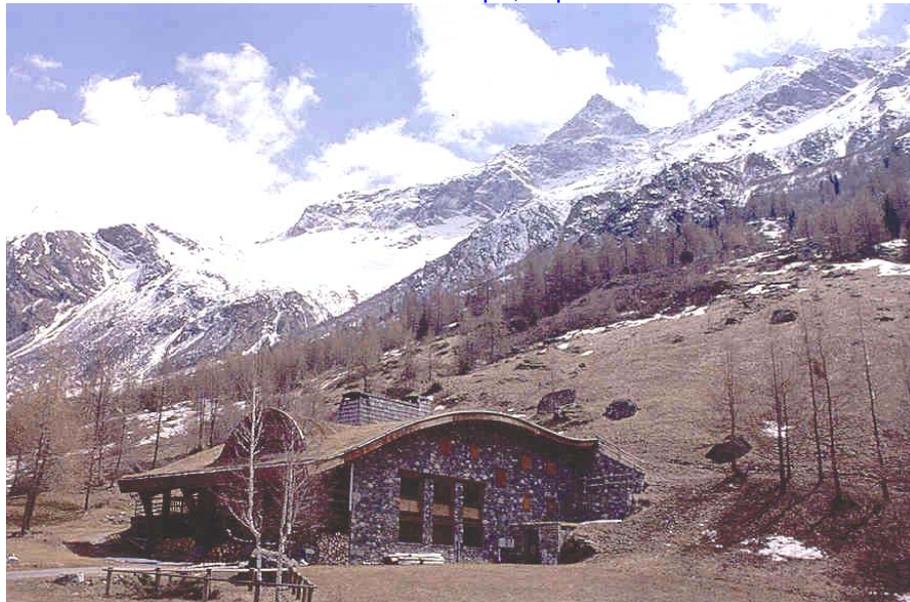


Source : Photo Marc Givry

En France à la fin du XIX^e siècle, le système Séré de Rivières, semi enterré, illustrera le propos.

Tout comme Christian Durupt qui en 1971 construisit à Rosuel, sur la commune de Peisey Nancroix, une des portes du Parc de la Vanoise.

Photo 1-13. "**se défil**er" : Christian Durupt , la porte de la Vanoise à Rosuel



Source : Photo Marc Givry

Dévier, faire face, se défilier, trois stratégies qui ont été employés dans l'art du retranchement.

Peut-on dévier ? Doit-on faire face ? Faut-il se défilier ?

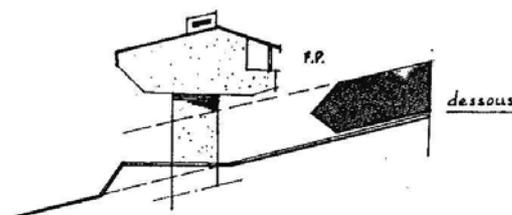
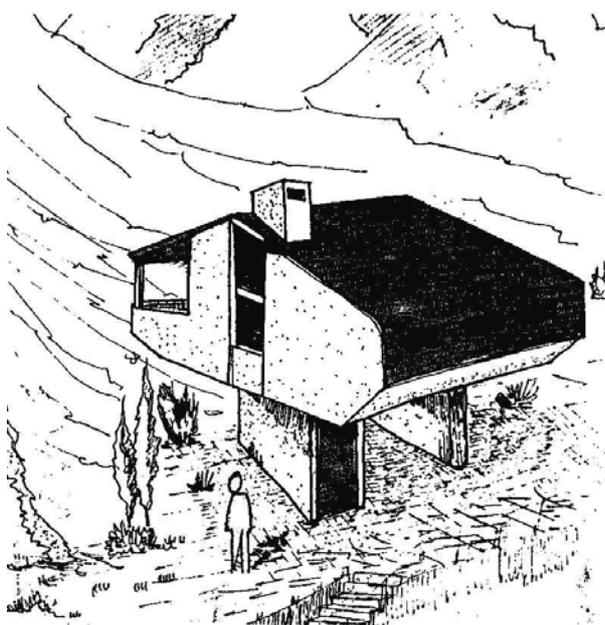
Trois questions que l'on se pose lorsqu'on se préoccupe d'avalanches. Trois approches que l'on peut développer.

Il en est une autre qui a été proposée dans le guide "CONSTRUIRE EN ZONE BLEUE éléments et architectures pare-avalanche" rédigé à la fin des années 1970 par le CTGREF et le Groupe Espace : "*l'avalanche passe dessous*" avec ce commentaire "*très conseillée, c'est la solution semble-t-il idéale*".

Idéale sans doute, mais somme toute peu réalisée.

Document 1-03.

Extrait de **CONSTRUIRE EN ZONE BLEUE** (Document historique fin du XX^e siècle)



"l'avalanche passe dessous"
très conseillée, c'est la solution semble-t-il idéale

Source : CTGREF Division Nivologie, Groupe ESPACE

En plus de cette "solution idéale", dans ce qui suit, on trouvera après un bref aperçu historique, des éléments sur le risque avalancheux et sur l'information disponible, puis une approche de l'impact des avalanches sur les constructions, des efforts qui en découlent et des réponses constructives qui peuvent être apportées. Enfin, une dernière partie présentera quelques réflexions d'urbanisme sur la question.

Tous les éléments présentés dans le présent guide ne sont pas à prendre comme un corps de connaissances définitif, comme une collection de recettes non plus, et encore moins comme un dogme intangible. Ces éléments ne sont en fait que le reflet d'une expérience accumulée.

APERÇU HISTORIQUE

La première indication d'avalanche remonte à la traversée des Alpes par l'armée d'Hannibal : le témoignage de Tite-Live situe la première catastrophe en 211 avant Jésus-Christ, elle aurait fait 18 000 victimes.

Par la suite, la chronique des avalanches sera plutôt tenue par l'Eglise. A partir du XII^e siècle, plusieurs documents relatent des catastrophes d'avalanche, spécialement celles qui décimèrent les pèlerins en marche pour Rome. Et depuis cette époque, tout ouvrage qui parle d'avalanche ou de génie paravalanche commence par une longue litanie des catastrophes passées.

Document 2-01

Extrait de : *Guide Neige et Avalanches*, Christophe Ancey coordonnateur, Edisud 1998 (2^e édition)

- 1601 : les villages de Chèze et Saint-Martin (Hautes-Pyrénées, commune de Saint-Martin) sont détruits : 107 morts
- 1634 : le village du Tour dans la vallée de Chamonix (Haute-Savoie) est touché par une avalanche (11 morts)
- 1681 : Abriès, Molines et l'Echalp dans le Queyras (Hautes-Alpes) sont fortement touchés par des avalanches (15 morts)
- 1706 : l'actuel département des Hautes-Alpes est sinistré ; le village de la Chenal est détruit (43 maisons et 21 morts), Serres est partiellement enseveli (14 morts, 7 maisons) ainsi que Fouillouse (18 morts) et Costeroux (11 maisons)
- 1749 : le village d'Huez-en-Oisans (Isère) passe sous une avalanche (38 morts)
- 1757 : Villard-de-Vallouise (Hautes-Alpes) est rasé par un gros aérosol (54 maisons, 27 morts)
- 1788 : le hameau de Costeroux est encore la proie des avalanches (21 morts, 43 maisons) ; à Ceillac dans le Queyras (Hautes-Alpes), 30 maisons sont détruites
- 1793 : une avalanche touche Celliers (Savoie) et cause la mort de 7 personnes, puis encore en 1810, 1825, 1870, 1881, 1907, 1908, 1945, 1952, 1978, 1981, 1988
- 1792 : une avalanche part de la dent de Crolles dans le massif de la Chartreuse (Isère) et touche le village de Saint-Bernard-du-Touvet (6 maisons détruites, 2 morts)
- 1803 : le village de Barèges (Hautes-Pyrénées) est touché (11 morts), puis en 1811, 1842, 1855 (12 morts), 1856, 1860, 1879 : 1882, 1886, 1889, 1895, 1897, 1902, 1907, 1939
- 1806 : le village de Talau (Pyrénées-Orientales, commune d'Ayguatèbia) subit une avalanche meurtrière (64 morts) ; il sera de nouveau touché en 1906 (22 maisons détruites, 1 mort)
- 1810 : le village de Fontpédrouse (Pyrénées-Orientales) est sévèrement atteint (27 morts), puis en 1822 (8 morts)
- 1843 : on compte 8 morts à la Giétaz, 5 morts aux Houches (Haute-Savoie), 10 morts à Valsevestre dans l'Oisans (Hautes-Alpes)
- 1847 : on dénombre 7 morts dans la vallée de Chamonix (les Pèlerins et la Flégère)
- 1881 : le hameau des Brévières (Savoie), au bas de l'actuel lac de retenue de Tignes, est touché une première fois par l'avalanche (14 morts), puis en 1950 (6 morts)
- 1895 : dans les Pyrénées, on compte 20 morts à Orlu et -Ax-les-thermes (Ariège)
- 1923 : le hameau des Lanches dans le Beaufortain (Savoie) est touché (10 morts)
- 1943 : Saint-Colomban-les-Villards (Savoie) est atteint une première fois (7 morts), puis en 1981 (2 morts)
- 1950 : à la mine d'Huez (Isère), c'est le drame pour les mineurs (10 morts)
- 1970 : le chalet de l'UCPA à Val-d'Isère (Savoie) est touché ; c'est la plus grosse catastrophe en France (39 morts). De nombreuses autres avalanches meurtrières (Tignes, Lanslevillard)
- 1978 : plusieurs avalanches dans la vallée de Chamonix touchent des routes et des habitations (10 morts)
- 1981 : plusieurs villages de Savoie et du Dauphiné sévèrement touchés Saint-Collomban-des-Villards, Saint-Étienne-de-Cuines, Valloire (Savoie), Clavans, La Morte, etc. (Isère), en tout on dénombre 4 morts
- 1986 : une avalanche touche un chalet à Porte-Puymorens (Pyrénées-Orientales) : 2 morts
- 1990 : avalanche de Taconnaz (Hautes-Savoie). Plusieurs maisons détruites (pas de victimes). En février, tempête d'une semaine. La station de Tignes (Savoie) bloquée est touchée par des avalanches
- 1993 : avalanche du Bourgeat (Savoie, vallée de Chamonix) : dégâts matériels
- 1995 : avalanche de Peisey-Nancroix (Savoie) : plusieurs chalets détruits (pas de victime)
- 1996 : avalanche exceptionnelle d'Arinsal (Andorre). Dégâts matériels

Cette liste malheureusement est sans doute loin d'être achevée. Il faudrait déjà lui rajouter 1999 Montroc. Dans cette longue histoire, il est intéressant de mettre en relief quelques éléments qui sont particulièrement révélateurs des rapports que les hommes et les avalanches ont pu entretenir. Dans ce qui suit, on trouvera sous la forme de quelques "flashes historiques", une brève approche de la question.

1634 Désastres causés par la Chute des Grandes Neiges ou Avalanches

Pendant longtemps, la chronique des avalanches a été tenue par des hommes d'église. Par exemple on trouve dans les archives ecclésiastiques, sous la rubrique "Désastres causés par la Chute des Grandes Neiges ou Avalanches", une attestation faite sur les ravages d'une avalanche le 20 janvier 1634, signée de Monsieur Louis Chône, chanoine de Sallanches, administrateur du Prieuré de Chamonix.

Document 2-02

"Désastres causés par la Chute des Grandes Neiges ou Avalanches" Attestation faite sur les ravages d'une avalanche le 20 janvier 1634

Monsieur Louis Chône, chanoine de Sallanches, administrateur du Prieuré de Chamonix, certifions et attestons à qui appartiendra, en ce jour-d'hui ont comparu par devant nous honnêtes Mouet Désaillood, Philibert Messat et Guillaume Bossonay, syndic de Chamonix, lesquels nous ont requis au nom de la Communauté, de faire attestation des dégâts, accidents et ruines causés par la grande abondance de neige et impétuosité d'orage au village du Tour, le dit Chamonix le 30 janvier 1634 environ 1'heure de midi, une avalanche a gâté entièrement neuf -maisons, cinq greniers et tout ce qui était dedans les dites maisons qui sont tous ci-après nommés, savoir : Aimé Simond., syndic, François son fils, Jacques et Claude Simond frères, André Ravier, Jean Simond, Jean Mugnier, Claude Mugnier, Jean Tissay, Jacques Noubessieux et Vernet Frasserands sa mère, desquels il y en a qui sont restés trente jours sous les dites neiges et avalanches malgré la vigilance de cinquante personnes qui étaient continuellement occupées à chercher, de façon qu'il ne resta plus que deux enfants mâles au village des Frasserands, âgés de 7 ans; les dites avalanches ont couvert tout le plan de manière que plusieurs personnes qui venaient au secours furent victimes de leur dévouement et restèrent sous les avalanches au lieu appelé les Gros Perris.

Treize personnes furent retirées vivantes de dessous les neiges, parmi lesquelles il y en a qui sont restées englouties pendant cinq jours et furent retirées en vie et desquelles nous avons entendu l'attestation sus-écrite véritable. A leurs réquisitions nous avons fait

appeler Claude-Balthasar Métral, du dit lieu, par devant lequel ont été ajournés à comparaître par devant nous les sieurs François Devouassoud, François Mugnier, Pierre Belin, Claude Croz, Pierre Simond, François Simond, Michel Simond, du village d'Argentière, Pierre Mugnier, François fils de Claude, du dit; Pierre Tournier, André Ducroz, Michel Ducroz, Jacquemond Mugnier, Jean-Pierre Pot et Pierre Lechat, du dit Chamonix, lesquels ont prêté le serment entre nos mains, commence en tous cas et requit de dire et disposer le contence de la proposition sus-écrite, leur ayant fait faire lecture par maître Michel Coutet, notaire curial de cette juridiction, ils ouï et entendu le contenu d'icelle, lesquels ont tous dit et déclaré et attesté par leur dit serment que tout le contenu de la dite proposition est véritable; tant pour avoir vu les dites maisons et greniers avec tout ce qui était dedans encombrés de neige et avalanches et pour être restées mortes onze personnes et treize qu'on a retirées vivantes; desquelles choses sus-écrites les dits syndics nous ont requis leur faire la présente attestation pour leur servir en ce qu'ils auront à faire.

Fait au banc des droits à Chamonix le dix-nieuvème jour du mois de mars 1634. Présents: Pierre et Raymond Désaillood, Jean, des Plans du dit Chamonix, Guillaume, Claude et Pierre Payot, des Plans, témoins requis, qui ont signé, fait mettre le sceau et fait signer par M. Michel Coutet, notaire curial du dit lieu, les ans et jours susdits.

Signé : Louis CHONE, administrateur.

1860 à Barèges le Capitaine du Génie de Verdal

Après la Révolution, l'armée va prendre le relais, et tout particulièrement le Génie et le corps des "Ingénieurs". Et dans cette histoire, Barèges deviendra un peu le berceau de la protection paravalanche en France.

En 1794, l'ingénieur Lomet notait que c'est le déboisement qui est à l'origine des catastrophes récentes: "*Autrefois, toutes les montagnes qui dominent Barèges étaient revêtues de bois de chêne. Des hommes actuellement vivants en ont vu les restes et les ont achevés...Les habitants des plateaux ont tout ravagé eux-mêmes, parce que ces pentes étant les premières découvertes par leur exposition et par la chute des avalanches, ils y ont de bonne heure un pâturage pour leurs moutons, et que, le jour où ils les y conduisent, ils oublient que pendant l'hiver ils ont frêmi dans leurs habitations de la peur d'être emportés avec elle par ces neiges, dont ils provoquent obstinément la chute*".

La présence d'un hôpital militaire dans une zone exposée allait entraîner les premières études sur la protection contre les avalanches. Le Capitaine du Génie de Verdal soumit à l'état-major ses premières propositions en 1839, puis en 1843. Mais elles restèrent lettre morte jusqu'à l'avalanche catastrophique de 1860 qui détruisit l'hôpital militaire.

On expérimenta alors pour la première fois "la protection active" en réalisant des ouvrages dans les zones de départ des avalanches du couloir du Theil, réputé le plus dangereux : 5000 pieux en fonte reproduisant une forêt artificielle et de nombreux barrages en pierre.

La stratégie adoptée était d'empêcher le déclenchement de l'avalanche en altitude, et non pas d'essayer de la freiner ou de l'arrêter après.

A l'usage, la forêt artificielle ne fut pas très efficace et elle se révéla fragile (elle fut arrachée en moins de dix ans), mais les barrages, les banquettes et les plates-formes eurent les effets escomptés, et depuis cette époque, les travaux n'ont plus cessé.

En 1892, l'administration des Eaux et Forêts prendra le relais pour poursuivre une tâche qui est devenue une activité permanente sur le site du Capet. En 1951, sera même construit un téléphérique domanial de 2 km de long, qui ne sert depuis que pour l'entretien des ouvrages paravalanches du site.

De la sorte, Barèges et la forêt domaniale du Capet sont devenus quasiment un musée de la protection paravalanche : un musée certes, mais un musée encore vivant et toujours actif.

On doit sans doute cette notoriété à la ténacité d'un Capitaine du Génie, mais il ne faut pas oublier non plus que la petite ville de Barèges devait sa réputation à la qualité de ses thermes où l'impératrice Eugénie et quelques personnes illustres, telles que Victor Hugo, Gustave Flaubert ou Rossini, n'oubliaient pas chaque année de venir prendre les eaux.

Et si Napoléon III décida de faire protéger la ville contre "les effets de coulées de neige", peut-être qu'une impératrice et quelques représentants des arts et des lettres y ont aussi contribué.

Photo 2-01. [Avalanches de Barèges du 2 février 1907 – Avalanche du Theil](#)
[Devant l'Hôpital Militaire et l'Etablissement thermal – 19 février 1907](#)



Source : RTM 65

Photo 2-02. **Avalanche du Midaou du 31 janvier 1897**
Vue panoramique prise du ravin du Midaou – 15 février 1897



Photo 2-03. **Maison enfouie sous la neige**
à l'entrée de barèges
le 4 février 1897



Photo 2-04. **Même maison quinze**
jours après l'accident
le 19 février 1897



1860 – 1882 la Restauration des Terrains en Montagne

Si l'armée est à l'origine des premiers ouvrages de défense paravalanche au XIX^e siècle, par la suite ce sera l'Administration des Forêts qui prendra le relais.

A la fin du XIX^e, deux grandes lois donneront les fondements de cette intervention :

- la loi sur le reboisement des montagnes du 28 juillet 1860, qui impose le reboisement obligatoire par l'État de tout terrain dont l'état du sol détermine des dangers pour les terrains inférieurs
- la loi du 4 avril 1882 relative à la restauration et à la conservation des terrains en montagne

C'est à cette époque que sera créé au sein de la Direction des Forêts le service du Reboisement qui deviendra en 1980 le service RTM de l'ONF.

Un des premiers responsables sera un forestier remarquable, Prosper Demontzey. En plus des travaux engagés, il veillera à faire constituer des archives sur les phénomènes dont son service avait la charge. Et pour cela, l'outil photographique, naissant à la fin du XIX^e siècle, sera très utilisé : en 1886, les services du Reboisement seront tous dotés d'appareils photographiques et d'instructions précises pour leur utilisation.

Document 2-03

Extrait de : Instruction n°12 du 1^{er} avril 1886, signée Prosper Demontzey
Inspection Générale au Reboisement, Ministère de l'Agriculture, Direction des Forêts

Objet : Application de la photographie aux travaux de reboisement

Monsieur le Conservateur et cher Camarade

M. le Ministre de l'Agriculture a bien voulu doter récemment le service du reboisement d'appareils photographiques avec lesquels les Agents pourront produire une série de documents des plus utiles soit pour la présentation des projets, soit pour l'exécution des travaux. Les renseignements photographiques dont la production sera désormais indispensable devront être présentés dans la même forme par toutes les circonscriptions de reboisement et satisfaire aux prescriptions suivantes :

Autant que possible chaque projet comprendra :

1° une vue d'ensemble par série, sur laquelle le périmètre des terrains à restaurer sera finement tracé à l'encre rouge;

2° une ou plusieurs vues destinées à établir d'une manière satisfaisante l'utilité publique des travaux projetés (Habitations disloquées par les glissements, hameaux, villages menacés par les torrents, routes nationales emportées, voies ferrées ensevelies sous les déjections, ponts, tunnels obstrués, berges en éboulement, etc. ...).

Ces photographies devront toujours être accompagnées de légendes détaillées, claires et précises, entendu qu'elles sont destinées à des personnes étrangères à la montagne, qu'il importe de convaincre.

Le fonds photographique ainsi constitué représente un patrimoine remarquable très utile pour délimiter les zones à risque, mais aussi pour apprécier l'ampleur de l'impact d'une avalanche sur un bâtiment.

1914 – 1919 clichés Tairraz

Bien que les services se préoccupent en priorité de foresterie et de reboisement, on trouve dans les archives des documents remarquables qui concernent les bâtiments. En particulier, on trouve dans le fonds photographique du service RTM de la Haute Savoie, des clichés d'une célèbre dynastie de photographes de Chamonix, les Tairraz.

Les premiers, avec des légendes calligraphiées très révélatrices du style de l'époque, concernent l'avalanche des Nantillons, n°18, le 2 avril 1914, une année qui sera terrible non seulement à cause de la guerre, mais aussi sur le plan des avalanches dans la vallée de Chamonix.

Photo 2-05. [Avalanche des Nantillons](#)
Cliché Tairraz 2 avril 1914

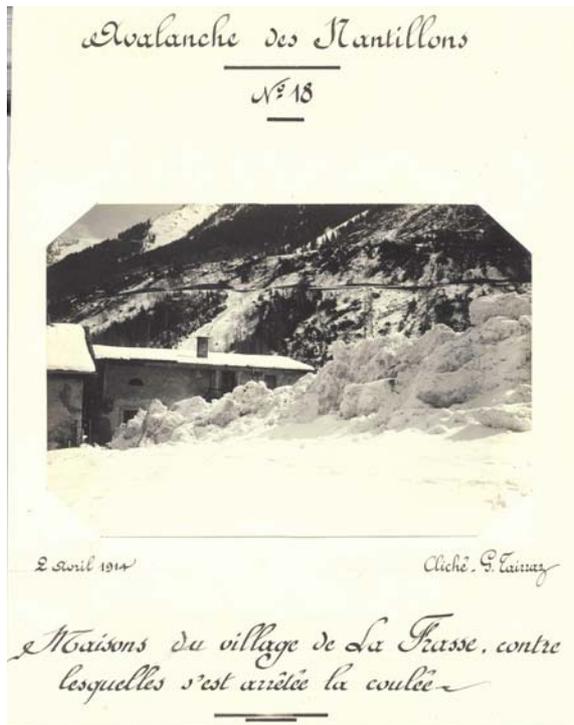


Photo 2-06. [Avalanche du Planet](#)
Cliché Tairraz décembre 1919



Source : RTM 74

Les seconds, pris en 1919 et légendés à la machine à écrire (progrès oblige), se rapportent à l'avalanche du Planet. Ces clichés, qui présentent un hôtel construit bien en face d'un couloir d'avalanche, sont peut être assez révélateurs d'une époque qui s'appellera "la belle époque". Toutefois, à la fin du XX^e siècle, le bâtiment existe toujours, mais il s'abrite derrière un ensemble d'ouvrages de défense, qui se sont rajoutées petit à petit au fil des ans.

Photo 2-07. [L'immeuble du Planet en mars 2002](#)



Source : Photo Marc Givry

1942 le Sanatorium Guébriant à Passy

Photo 2-08. [Le Sanatorium Guébriant à Passy après l'avalanche du 31 janvier 1942](#)
Cliché Cl. Giguet (gestionnaire du sanatorium) 2 février 1942



Source : RTM 74

Toujours dans les archives du service RTM de la Haute Savoie, une photographie prise par le gestionnaire du Sanatorium² Guébriant à Passy montre les opérations de déblaiement du bâtiment atteint par l'avalanche du 31 janvier 1942. Après la guerre, dans un rapport technique à l'occasion d'une cession immobilière, un ingénieur écrira que le problème de l'avalanche n'était pas très grave car il suffisait, en cas d'avalanche, que les trois premiers niveaux ne soient pas occupés. Par la suite, le Sanatorium de Passy deviendra tristement célèbre en 1970. En fait, il s'agira alors d'une coulée de boue et de neige qui se produira à la fonte des neiges, la même année où le chalet de l'UCPA à Val d'Isère sera touché par une avalanche qui fera 39 morts. En 1971, l'immeuble de Guébriant existait toujours, mais un ouvrage important le protégeait contre les avalanches.

Photo 2-09. [Ouvrage de protection de l'immeuble de Guébriant contre l'avalanche de neige de Plate](#)



Source : RTM 74

² Sanatorium : maison de santé recevant des malades atteints de tuberculose

1978 l'avalanche des Posettes au Tour

Photo 2-10. Chamonix Le Tour
Front de l'avalanche des
Posettes 2 février 1978

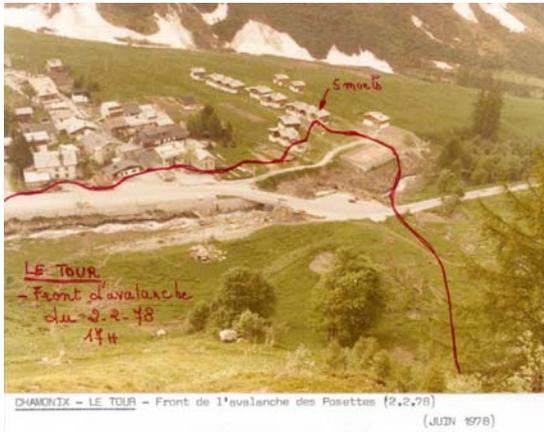


Photo 2-11. Chalets endommagés
(5 morts)



Source : RTM 74

Sur une photographie de paysage, un contour et une flèche avec ces mots : "5 morts". Sur une autre photographie, un détail des chalets endommagés par l'avalanche des Posettes du 2 février 1978. En 2002, une photo prise du même point de vue montre le chalet reconstruit.

Photo 2-12. Chamonix Le Tour au même endroit en mars 2002



Source : Photo Marc Givry

1999 début février : des conditions exceptionnelles

Photo 2-13. [Montroc l'avalanche du Péclerey du 9 février 1999](#)



Source : Mairie de Chamonix – Photo ER

"Début février : des conditions exceptionnelles ... et des avalanches d'occurrence centennale", c'est en ces termes que CHAMONICIPAL le bulletin de la commune de Chamonix Mont-Blanc parle du mois de février 1999. On y trouve des photographies de l'avalanche du Péclerey du 9 février qui a gravement endommagé le hameau de Montroc, détruisant 17 chalets et tuant 12 personnes.

Photo 2-14. [l'avalanche du Péclerey du 9 février 1999](#)



Photo 2-15. [l'avalanche de Taconnaz du 11 février 1999](#)



Source : Mairie de Chamonix – Photos ER

On y trouve aussi des photographies de l'avalanche de Taconnaz du 11 février, qui a débordé les digues de l'ouvrage paravalanche et causé des dégâts matériels, heureusement sans victime. L'ouvrage paravalanche de Taconnaz était pourtant le plus important jamais réalisé en France : 11 dents déflectrices en béton de 7 m de haut par 15 m de long, 14 tas freineurs en 4 rangées successives, de vastes plages de dépôt, une digue frontale de 14 m de haut et des digues latérales.

Ces photographies édifiantes donnent une idée de la force et des dégâts que peuvent occasionner des avalanches importantes. Elles donnent aussi une idée de la modestie et de l'humilité, dont il faut savoir faire preuve lorsqu'on cherche à rédiger un guide de la construction en zone d'avalanche : l'homme a appris sans doute bien des choses, il ne maîtrise pas toute la complexité des phénomènes.

LE RISQUE AVALANCHEUX

Types d'avalanches et effets potentiels

Avalanche

Masse de neige dévalant une pente de montagne, telle est l'acception communément admise de ce mot. Plus scientifiquement, on pourra parler de mouvement gravitaire complexe et rapide, avec une vitesse variant de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres par seconde, d'une masse de neige parcourant une dénivelée significative, au moins quelques dizaines de mètres, le volume de cette masse pouvant aller de quelques dizaines à plusieurs centaines de milliers de m³.

Une classification des avalanches

Il existe dans la littérature un très grand nombre de locutions pour désigner et classer les avalanches : on les classe selon le type de neige, la forme de la cassure, la saison, etc. La plupart des termes usités en France proviennent des pratiquants de la montagne, skieurs et alpinistes : avalanche de poudreuse, de plaque, etc. Cette terminologie est peu pratique et souvent confuse pour un usage en ingénierie paravalanche et, de fait, elle reste peu employée par les scientifiques et les forestiers. Le point de vue adopté par l'ingénieur est celui d'un homme qui voit arriver une avalanche depuis le fond de la vallée : s'il lui importe assez peu de savoir la forme de la cassure ou la consistance de la neige mobilisée par l'avalanche, il est en revanche intéressé par connaître la nature de la trajectoire et les caractéristiques dynamiques de l'avalanche.

La difficulté essentielle dans toute tentative de classification des avalanches est qu'une multitude de facteurs nivo-météorologiques et topographiques influent sur le déclenchement et la propagation d'une avalanche et, comme pour beaucoup de phénomènes naturels, toutes les combinaisons ou presque sont possibles. En ingénierie paravalanche, on a fait le pari³ qu'il est suffisant de distinguer deux cas limites d'écoulement : l'avalanche en aérosol et l'avalanche coulante. Dans la pratique, on est souvent amené à tempérer ou à préciser le choix de tel ou tel terme utilisé pour se référer un événement donné (en bref, on se donne un peu de souplesse après une réduction dichotomique de la richesse des écoulements avalancheux). Parmi les éléments pris en considération, il faut garder à l'esprit ceux-ci :

- la trajectoire d'une avalanche dépend naturellement de la topographie mais également de la vitesse et de la position du centre de gravité de l'écoulement : plus une avalanche va vite et plus son centre de gravité est haut par rapport à la surface du sol, moins elle est influencée par le relief. On parle alors de trajectoire inertielle.
- la force et la dynamique d'une avalanche sont liées à son volume, non seulement celui mis en mouvement dès les premiers instants, mais également du volume de neige repris durant la phase d'écoulement.

L'avalanche en aérosol

Mélange très turbulent d'air et de neige sèche, elle peut atteindre des vitesses dépassant les 100 m/s (360 km/h) et développer des pics de pressions supérieurs à 1000 kPa (100 t/m²) sur des temps courts (quelques millisecondes) alors que sa masse volumique moyenne ne dépasse guère les 20 kg/m³ (localement, bien plus près de la surface du manteau neigeux). La puissance de l'aérosol dépend principalement de la possibilité de reprise (incorporation de la neige le long du trajet). Sa hauteur peut atteindre et dépasser la centaine de mètres.⁴ Sa trajectoire est assez peu influencée par la topographie.

³ Il s'agit bien d'un pari dans le sens pascalien du terme dans la mesure où, dans la plupart des cas – et cela est particulièrement vrai pour les phénomènes extrêmes – la seule connaissance qu'on a de l'avalanche est son dépôt. Il reste assez difficile de reconstituer complètement à partir d'indices épars la dynamique du phénomène.

⁴ Ces valeurs "typiques" possibles n'ont pour ambition que de donner un ordre de grandeur, une unité pertinente de mesure du paramètre concerné.

Photo 3-01. **Avalanche aérosol – Pralognan (Savoie)**
 Noter la hauteur du nuage par rapport aux arbres



Source : Photo C. Vion

L'effet de souffle d'un tel écoulement peut être ressenti jusque sur le versant opposé et provoquer encore des dégâts par les pressions générées naturellement et, dans une moindre mesure, également par les dépressions au sein de l'aérosol (la pression fluctue rapidement). Ainsi des arrachements de fenêtres, portes ou autres ouvrants peuvent se produire sur la façade aval d'une construction touchée par un aérosol.

L'avalanche coulante

Lorsque l'avalanche a un centre de gravité assez proche du sol et une vitesse pas trop élevée, on parle d'avalanche coulante, car elle a tendance à suivre la topographie. Sa vitesse dépasse rarement les 30 m/s (108 km/h) mais du fait de sa masse volumique (jusqu'à 500 kg/m³), les pressions développées dépassent généralement celles d'un aérosol. La présence de boules dans une avalanche traduit une teneur en eau liquide (TEL)⁵ forte.

Photo 3-02. **Avalanche coulante – Oz-en-Oisans**



Source : Photo F. Valla

L'avalanche coulante mobilisant de la neige humide est un phénomène très fréquent sous nos latitudes notamment au printemps, lorsque les couloirs se purgent par suite de la fonte de la neige. Ses effets peuvent être comparés à ceux d'un bulldozer raclant le sol et poussant tout sur son passage. Seule la diminution de la pente l'arrête⁶.

⁵ La TEL est le rapport entre le volume d'eau liquide et le volume total de l'échantillon analysé exprimé en pourcentage.

⁶ On considère qu'au-dessous de 20°, l'écoulement ralentit fortement pour les avalanches peu importantes ; pour les phénomènes exceptionnels, des écoulements peuvent se produire sur des pentes inférieures à 10°.

Définition de l'aléa

On a pris l'usage de décrire un aléa à travers la relation entre intensité et fréquence qui est supposée exister entre les phénomènes du site. Grossièrement : plus une avalanche est rare, plus elle est intense. Pour qualifier une fréquence, on utilise la notion de période de retour (voir encadré page 28). Pour l'intensité, les choses s'avèrent délicates car en général on souhaite disposer d'une seule grandeur d'intensité alors qu'en pratique on observe que différents paramètres indépendants (distance d'arrêt, pression, etc.) sont nécessaires pour spécifier l'intensité du phénomène. Le parti-pris en construction immobilière, qui est assez consensuel sur le plan international, est d'utiliser la pression d'impact. Naturellement, pour d'autres types d'aménagement (comme les remontées mécaniques), ce n'est pas nécessairement le critère le plus pertinent.

Quelle que soit la nature de l'avalanche, on peut, en utilisant notamment les données nivo-météorologiques et historiques disponibles, essayer de quantifier statistiquement la période de retour d'un événement donné (le seul problème non réglé actuellement est que, selon le paramètre considéré, la période de retour d'un événement peut varier de manière substantielle. La pratique internationale (France, Suisse, Autriche, Norvège, Islande, Italie ...) utilise le critère de pression et plus précisément le seuil de 30 kPa pour définir l'aléa contre lequel on veut se protéger en fonction de la fréquence d'apparition de cette valeur. Cette fréquence varie selon les pays et peut aller de 10 à 2000 ans comme en Islande. En France, l'usage veut que ce soit la fréquence centennale qui serve le plus souvent de référence.

Pour simplifier encore les choses et présenter devant des élus et citoyens sans connaissance particulière des phénomènes, le praticien est amené à définir des classes d'aléas, souvent au nombre de quatre: fort, moyen, faible et négligeable (ou présumé nul).

L'aléa fort

Cet aléa exprime une intensité égale ou supérieure à la valeur de 30 kPa pour une probabilité d'occurrence centennale mais qui peut être plus fréquente pour un lieu donné.

L'aléa moyen

Il exprime une intensité inférieure à 30 kPa pour les événements de probabilité d'occurrence centennale même s'il est plus fréquent.

Il représente un phénomène qui ne surprendrait pas totalement compte tenu de sa proximité avec l'aléa fort. En fonction des conditions topographiques et des données à disposition, il peut également servir de marge d'incertitude vis-à-vis de l'aléa fort.

L'aléa faible

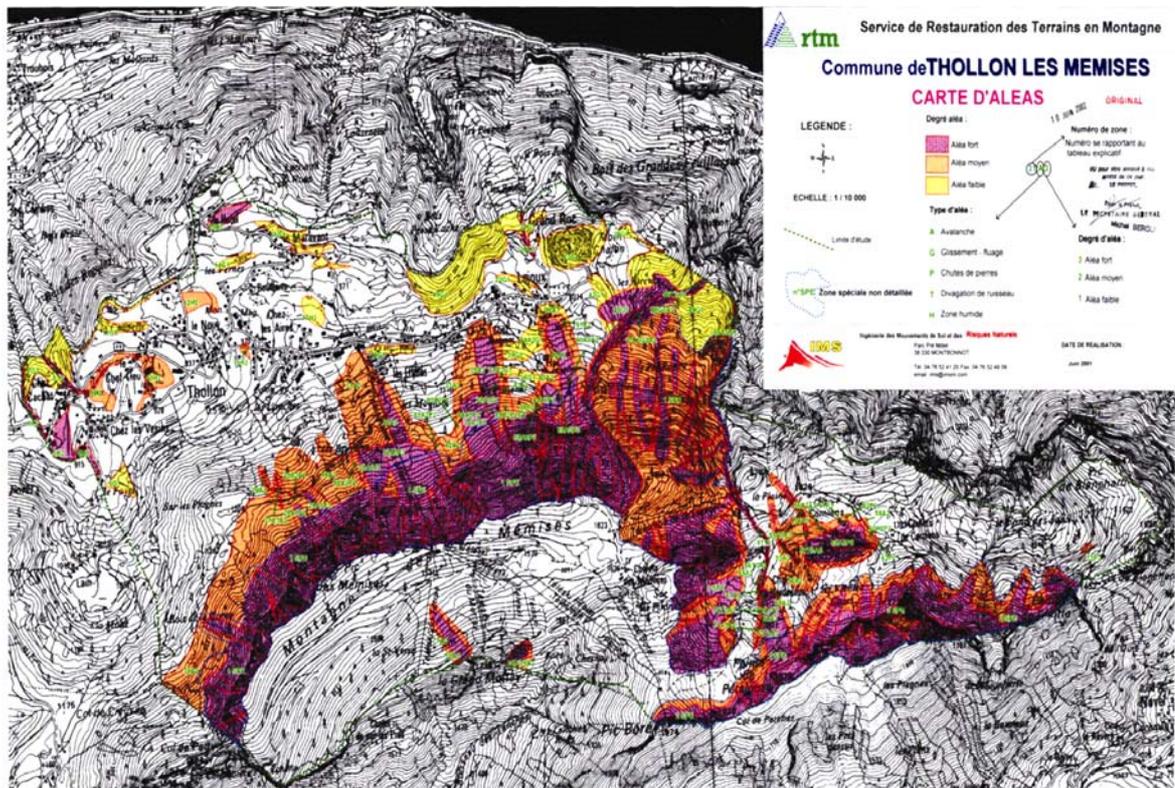
Il exprime une intensité non qualifiée mais qui ne sera jamais de nature à endommager une construction normale et donc sans prescription particulière ; il ne génère qu'une attention spécifique pour des individus non protégés.

Document 3-01

« La période de retour » - Extrait d'un rapport du Cemagref

La période de retour est une traduction en langage courant d'une grandeur mathématique très largement utilisée en statistique qui est la probabilité de non-dépassement (F), c'est-à-dire la probabilité pour qu'une valeur donnée ne soit pas dépassée. Par exemple, une probabilité de non-dépassement 0,99 signifie qu'il y a 99 % de chances pour que cette valeur ne soit pas dépassée ou réciproquement 1 % de chances qu'on trouve une valeur qui lui soit supérieure sur un laps de temps donné. En pratique, on définit la période de retour comme : $T=1/(1-F)$. T est exprimée en années. A la probabilité de non-dépassement de 0,99 est donc associée la période de retour $T=100$ ans ; c'est le phénomène qui a 1% de chance d'être dépassé en moyenne sur une période quelconque d'un an. Il faut bien retenir que le phénomène centennal n'est pas le plus gros phénomène qui intervient une fois tous les cent ans, mais celui qui a 1 % de chance de se produire ou d'être dépassé chaque année, c'est-à-dire celui qu'on verrait en moyenne une fois par siècle si l'on disposait d'une très longue période d'observations. Ainsi, il peut y avoir plusieurs événements centennaux par siècle. La probabilité P pour qu'il y ait n phénomènes de période de retour T (ou de fréquence $p=1-F=1/T$) pendant un laps de temps de N années peut être représentée à l'aide d'une loi dite de Poisson : $e^{-Np} (Np)^n / n!$. La probabilité qu'il y ait au moins un phénomène de période de retour T pendant N années est : $P=1-e^{-N/T}$. La probabilité d'avoir une avalanche centennale est donc de 18 % dans les vingt ans à venir, de 63% dans le prochain siècle, et de 95 % dans les trois siècles à venir.

Carte 3-04. Carte des aléas – Commune de Thollon les Memises (Haute-Savoie)

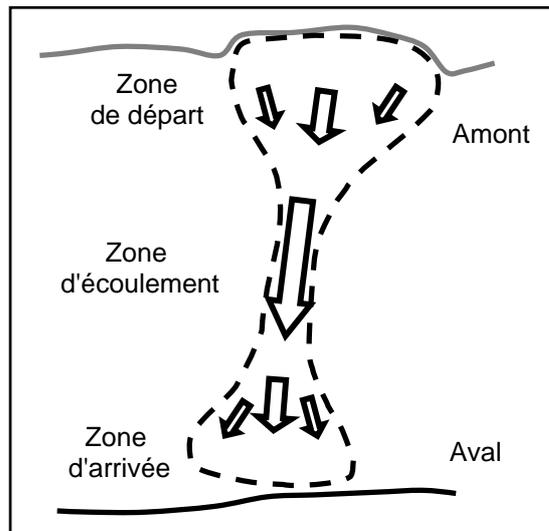


Protections collectives

A la deuxième moitié du XIX siècle en France, une loi donne naissance aux services de la Restauration des Terrains en Montagne (RTM), dépendant de l'administration des Eaux et Forêts. Ces services, créés à l'origine pour le reboisement de versants dégradés et la correction torrentielle, vont progressivement prendre en charge les travaux de protection collective contre les avalanches.

Un site avalancheux peut être décomposé en trois zones distinctes :

- 1 - la zone de départ ou zone d'accumulation
- 2 - la zone d'écoulement ou de transit
- 3 - la zone de d'arrêt ou dépôt



Les travaux de protection sont classés en deux grandes catégories, selon qu'ils se situent en zone de départ ou en zones d'écoulement et/ou de dépôt : on parle respectivement de protection active ou de protection passive. Dans les deux cas, ces mesures peuvent être mises en œuvre de façon permanente (sans intervention humaine) ou temporaire (avec prise de décision).

Les protections actives permanentes

Leur objet est de limiter autant que faire se peut tout départ d'avalanche dans la zone de départ que ce soit en modifiant la rugosité du sol (plantations, banquettes, fauchage), en agissant sur la répartition de la neige grâce à l'action du vent (barrières à neige, toits-buses, vires-vent) ou le plus souvent, en fixant le manteau neigeux (râteliers, claies, filets).

Photos 3-05 3-06 3-07.

Reboisement sur banquettes



Barrière à vent



Râteliers



Source : Photos F. Valla

Les protections actives temporaires

L'objectif est de déclencher de petites avalanches dès lors qu'une quantité donnée de neige est tombée. On procède alors aux purges artificielles des zones de départ. Ces techniques sont utilisées principalement pour sécuriser des routes et des domaines skiables, où l'on pratique également le damage. En France, elles ne doivent pas à priori être mises en œuvre au-dessus de zones habitées.

Les protections passives permanentes

Il peut s'agir soit d'ouvrages de déviation tels que : galerie, tunnel, tourne⁷ ou étrave⁸, soit encore d'ouvrages de freinage et d'arrêt : tas freineur, dent freineuse ou digue d'arrêt.

Photos 3-08 3-09 3-10 3-11.

Galerie



Etrave



Défecteurs



Digue d'arrêt



Source : Photos F. Valla et F. Rapin

On y classe également le Détecteur Routier d'Avalanche (DRA) : c'est un dispositif constitué de feux tricolores situés de part et d'autre du couloir sur la route à protéger et reliés par radio à un émetteur positionné dans la zone de transit. Lorsque l'avalanche passe devant l'émetteur, celui-ci déclenche le signal et les feux passent au rouge.

Photo 3-12.

Détecteur Routier d'Avalanche



Source : Photo F. Rapin

⁷Une tourne est une levée de terre ou un mur maçonné qui détourne l'écoulement.

⁸Une étrave divise l'écoulement en deux parties à l'amont de l'ouvrage à protéger.

Les protections passives temporaires

Il s'agit de mesures principalement réglementaires et destinées à interdire la circulation, à évacuer les populations ou au contraire, à les confiner dans des endroits sûrs en attendant la fin d'une période critique.

Risque résiduel

Le risque résiduel représente le risque d'avalanche persistant après la mise en œuvre des mesures de protections. Les raisons pour lesquelles ce risque peut subsister sont de différentes natures.

Ce peut être un événement météorologique exceptionnel : les ouvrages de protection active (râteliers, claies et/ou filets) peuvent alors être complètement ensevelis par la chute de neige et ne plus pouvoir retenir le manteau neigeux.

Dans le cas de protection passive (digue d'arrêt, par exemple), on peut imaginer qu'une première avalanche s'arrête sur la digue remplissant ainsi l'espace de dépôt. Survient alors une seconde avalanche qui déborde le dispositif en place.

Il reste très difficile à l'heure actuelle, même pour des sites bien documentés, de quantifier précisément le risque résiduel faute d'outils adéquats. Cette notion doit cependant être intégrée dès lors que l'on envisage d'implanter une quelconque infrastructure (voirie, local technique, chalet, etc.) destinée à recevoir du public. Il est ainsi primordial de prévoir, dès l'origine du projet, les plans d'évacuation et de secours, ou les accès protégés.

INFORMATION DISPONIBLE

Les documents permettant de trouver des informations sur les couloirs d'avalanche sont de deux ordres : techniques et réglementaires.

Carte de localisation des phénomènes avalancheux

A la suite de la catastrophe de Val d'Isère en 1970, l'Etat a demandé « l'établissement, sous la responsabilité du Ministère de l'Agriculture, d'une carte inventaire des avalanches, officielle, dressée selon une méthode scientifique, ayant un caractère indicatif pour les particuliers mais dont l'observation s'imposera à tous les services publics »⁹.

Il s'agit donc d'un document technique sur lequel figurent deux limites : Celle tracée par étude stéréoscopique de couples de photographies aériennes estivales d'une part et celle résultant d'une enquête menée sur le terrain d'autre part. Cette dernière représente donc l'enveloppe de l'emprise maximale connue des avalanches dans le site.

Ces cartes, couvrant aujourd'hui environ 600 000 Ha, sont consultables sur internet à l'adresse suivante : <http://clpa.grenoble.cemagref.fr/> ou dans les services départementaux de la RTM.

Important : les cartes de localisation des phénomènes avalancheux ne donnent aucune indication de fréquence, de type ou de date. Elles ne sont pas prospectives, il s'agit bien de cartes de phénomènes connus et non de cartes d'aléas.

Carte 4-01. [Extrait de la carte de localisation des phénomènes avalancheux CLPA feuille de Chatel-Morzine](#)



⁹ Extrait du rapport de la Mission Interministérielle d'Etude sur la Sécurité des Stations de Montagne présidée par le Préfet Saunier (juillet 1970).

Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles

Instauré en 1995, le PPR remplace les Plans d'Exposition aux Risques (PER) et les Plans des Zones Exposées aux Avalanches. C'est un document prescrit par arrêté préfectoral ayant valeur de servitude d'utilité publique et opposable aux tiers. Son but est de définir les zones soumises à risque(s) naturel(s) ainsi que les travaux susceptibles de le(s) diminuer. Il prévoit également l'entretien des mesures de protection qu'il préconise.

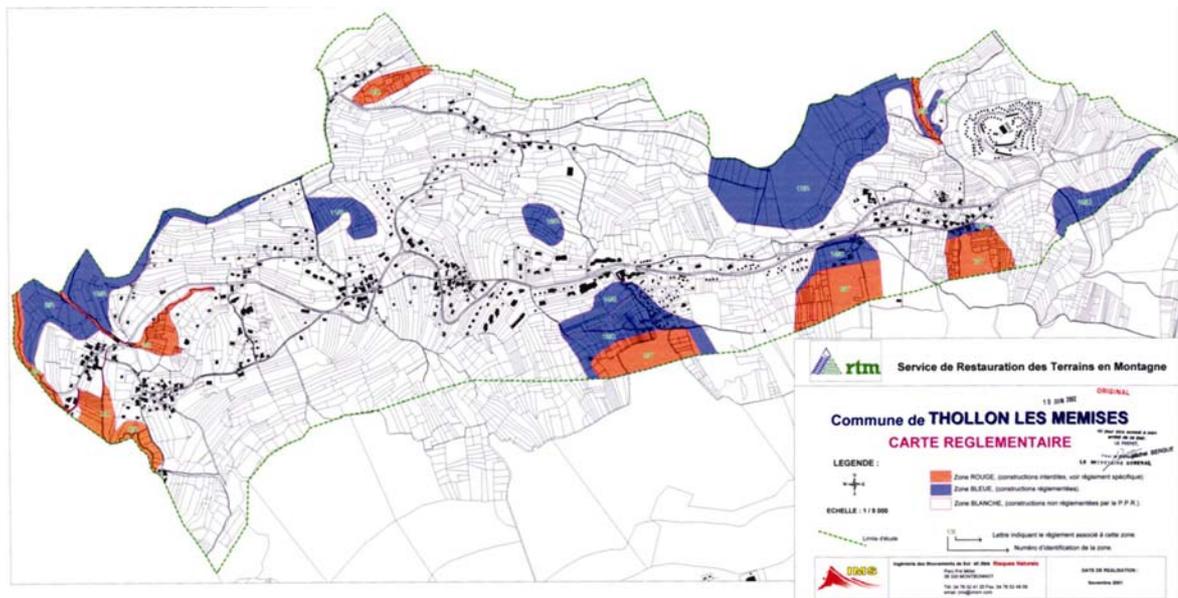
En pratique, il est constitué d'une note de présentation, de documents graphiques et d'un règlement. La note doit expliquer les raisons de la prescription du PPR, les phénomènes naturels connus et les aléas, les objectifs recherchés pour la prévention des risques ainsi que les choix du zonage et les mesures réglementaires répondant à ces objectifs. Les cartes peuvent présenter les phénomènes naturels, les aléas et une évaluation des enjeux. Seul le plan de zonage doit impérativement être annexé au document approuvé.

Trois zones y sont délimitées :

- la zone rouge : toute construction nouvelle est interdite,
- la zone bleue : construction réglementée, soumise à prescriptions et recommandations,
- la zone blanche : pas de restriction.

Le règlement doit préciser les mesures d'interdiction et les prescriptions applicables dans chacune de ces zones, les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde, ainsi que les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, ouvrages, cultures ou plantations.

Carte 4-02. Exemple de plan de zonage d'un PPR



IMPACT SUR LES CONSTRUCTIONS

Avant de donner des valeurs chiffrées et un peu abstraites des efforts à prendre en compte, il semble important d'avoir d'abord une approche sensible, on pourrait presque dire naturaliste, de l'impact d'une avalanche sur une construction.

Avalanche coulante

Les exemples suivants donnent une bonne idée de l'échelle du phénomène, des masses en jeu et des pressions qu'un bâtiment peut subir lors d'une avalanche coulante.

16 avril 1984 Taconnaz, vallée de Chamonix

Photos 5-01 5-02. [Avalanche de Taconnaz du 16 avril 1984](#)



Source : Photos RTM 74

20 et 21 février 1999 Lourtier, Canton du Valais en Suisse

Photos 5-03 5-04 5-05 5-06. [Avalanches de Lourtier des 20 et 21 février 1999](#)



Source : Photos privées

Document 5-01.

Avalanches de Lourtier des 20 et 21 février 1999
Témoignage de Gérald Maret, guide habitant du village

«Je n'avais pas vu ces conditions depuis que j'étais enfant, où on skiait jusqu'au village. Là, on a pu descendre à skis jusqu'au fond des vallées, en ayant tous les jours 20 à 30 cm de plus de poudreuse. On pouvait même skier dans des forêts très serrées. La neige montait gentiment. Une première avalanche est descendue jusqu'au-dessus du village. Celle-là, on ne l'avait jamais vue. En tout cas, nous, les jeunes. En discutant, les vieux nous ont dit qu'ils se rappelaient l'avoir vue. Mais leurs souvenirs étaient confus.

Il a continué à neiger. C'était vraiment de grosses chutes de neige. Le vendredi 19, on avait encore skié, avec une équipe de copains. Depuis Verbier, on skiait jusqu'au Châble; après, on montait à Brusson et on skiait jusqu'à Sembrancher. C'était vraiment super. Et puis, en fin de journée, il a commencé à pleuvoir. À la dernière descente sur Sembrancher, on était trempé. La neige devenait lourde. Il s'est mis à pleuvoir, pleuvoir, pleuvoir! Quand je me suis levé, le samedi matin, c'était le déluge. Il pleuvait très haut, jusqu'à la limite de la forêt. On a annulé la sortie de ski prévue et on est rentré à la maison. Et là, on a commencé à se poser des questions.

Je me disais, quand même, avec toute la neige qu'on a, la neige qui continue de tomber en haut, et la pluie qui vient là-dessus, ça commence à devenir dangereux. Et puis déjà, dans le village, il y avait deux ou trois personnes qui commençaient à partir, pour aller habiter ailleurs, ou à aller dormir ailleurs. Ils revenaient la journée, mais ils dormaient autre part, la nuit. Tout le monde sentait que quelque chose allait arriver.

Ce jour-là, deux avalanches sont revenues, de nouveau à la hauteur du pont du village. Elles se sont arrêtées de 10 à 15 m du pont, mais leur masse était plus haute que le pont. Tous les gens de la vallée venaient pour voir ça. Les gens qui habitaient là

autour avaient peur. Personne ne savait ce qu'il fallait faire.

Il a plu tout le samedi et toute la nuit jusqu'au dimanche. Et le dimanche, ça a continué. Les autorités communales se demandaient s'il fallait évacuer ou ne pas évacuer. Les gens avaient de plus en plus peur. Vers les 2 ou 3 heures de l'après-midi, il y a eu une nouvelle avalanche. Puis il y a eu l'avalanche à 5 heures, qui était vraiment grande et qui est passée par-dessus le pont, qui a détruit un garage et une maison, et qui est arrivée jusqu'à la laiterie et à la chapelle. Elle a coupé le village en deux. Alors là, c'était la panique. Et puis, il faisait toujours mauvais. Moi, j'étais chez moi; j'avais juste entendu qu'il y avait l'avalanche parce que tout le monde hurlait quand ça descendait. Je suis allé voir. Une maison était engloutie dessous. Les gens couraient dans tous les sens. La décision a été prise d'évacuer le village. La population, disséminée dans tout le village, passait sur l'avalanche qui était descendue pour évacuer les lieux. Et, soudain, on a eu une nouvelle alarme avalanche!

On était dans le bistrot, en train d'organiser l'évacuation. On a entendu: «Avalanche! Avalanche!» On est sortis. On entendait des cris, on percevait toute la forêt qui cassait. Un fracas métallique retentit. C'était les pylônes électriques qui s'effondraient. Il y a eu une grosse pluie, comme une mousson. Et on a vu arriver le front de l'avalanche. Il faisait 5 à 6 m de haut, suivait la route et avançait lentement. Il était à 20 m de nous. On courait devant, on s'arrêtait, on courait de nouveau. Des voitures ont été écrasées de tous les côtés. L'avalanche a suivi la route sur encore 200 à 300 m puis s'est arrêtée. On ne savait pas si les maisons du village étaient encore là, Il était 7 heures du soir, il faisait nuit.. »

Source: Robert Bolognesi "Attention avalanche !" Editions Nathan

En mars 2002, une visite du site permet de constater que l'école et la fruitière s'abritent dorénavant derrière la salle polyvalente, sans doute pour reprendre la devise du Marquis de Montalembert : faire face !

Photo 5-01. Lourtier mars 2002 la fruitière et la salle polyvalente



Source : Photo Marc Givry

Avalanche en aérosol

Si les avalanches coulantes, qui mobilisent de la neige humide, déplacent des masses de neige énormes, leurs mouvements sont "relativement" lents. En revanche, les avalanches coulantes de neige sèche sont des phénomènes rapides, qui peuvent être dévastateurs compte tenu de leur vitesse. De même, les aérosols apportent peu de matière mais les vitesses sont très rapides et les impacts très brisants. Par ailleurs, les hauteurs d'application sont beaucoup plus élevées que pour les avalanches coulantes.

31 janvier 1986, immeuble Le Schuss à Barèges

Le 31 janvier 1986, une avalanche en aérosol frappe l'immeuble Le Schuss à Barèges. La toiture et les balcons sont endommagés, les portes et les ouvertures à l'amont enfoncées, les cloisons fracassées, mais on retrouve relativement peu de neige à l'intérieur. Fort heureusement, les logements étaient inoccupés. A Barèges, on appelle "La Volante" ce type d'avalanche.

Photos 5-08 5-09 5-10 5-11. [Le Schuss à Barèges, avalanche en aérosol du 31 janvier 1986](#)



Source : Photos RTM 65

26 décembre 1993, le Bourgeat, les Houches

Le 26 décembre 1993, une avalanche en aérosol frappe le hameau du Bourgeat aux Houches. La forêt est endommagée, environ 300 m³ de bois sont emportés, mais les troncs sont cassés surtout en partie haute. Deux pylônes EDF sont pliés par le souffle, mais là aussi dans la partie supérieure par un effet coup de fouet. Dans la colonie de vacances qui est sur la trajectoire de l'aérosol, les vitres sont cassées, mais parfois les châssis sont emportés, arrachés de leurs gonds, le vitrage restant intact : la vulnérabilité d'une ouverture tient non seulement à la qualité des vitrages, mais aussi beaucoup à la résistance des châssis à l'arrachement.

Photos 5-12 5-13. **Avalanche du Bourgeat du 26 décembre 1993**

pylônes EDF plié par le souffle



forêt endommagée



Photos 5-14 5-15 5-16. **Avalanche du Bourgeat du 26 décembre 1993**

dans le réfectoire de la colonie de vacances, des châssis emportés, le vitrage restant intact



Source : Photos RTM 74

8 février 1996, Arinsal en Andorre

Le 8 février 1996, une avalanche d'une ampleur exceptionnelle frappe Arinsal dans les Pyrénées andorranes. Le témoignage de Jean François Meffre, responsable du service de surveillance des avalanches en Andorre, est sans doute la description la plus édifiante dont on puisse disposer sur l'effet du souffle d'une avalanche.

Document 5-02.

Avalanche d'Arinsal en Andorre du 8 février 1996

Témoignage de Jean François Meffre, responsable du service de surveillance des avalanches

« Fin janvier 1996, l'Andorre était déjà drapée dans un épais manteau blanc (1,50 m à 2 m à 2 000 m d'altitude). La couche de 60 cm de fraîche tombée le 21 janvier avait été suivie d'une série de précipitations faibles mais suffisantes pour retarder la consolidation du manteau neigeux. Début février, un flux de nord-ouest apporte une série de perturbations. Le 5 février, il tombe 20 cm de neige à Arinsal, puis 50 cm le 6. Après une brève accalmie, le matin du 7 la tempête reprend. Le vent souffle à plus de 100 km/h à 3000 m. Les bourrasques de neige interdisent toute circulation automobile dans les hautes vallées d'Andorre. Les chasse-neige ne peuvent plus circuler. La population n'avait pas vu une telle quantité de neige dans les villages depuis très longtemps. Le col d'Envalira (2400 m) est évidemment impraticable. Les villages du Serrat et de Canillo sont isolés. On commence à évacuer quelques petites habitations récentes. Les routes d'accès aux stations de ski de Soldeu et d'Arcalis sont fermées. Dans la nuit du 7 au 8, la tempête fait rage, de grosses avalanches se déclenchent, surtout dans le versant sud et sud-est. Vers 5 heures du matin, une grosse poudreuse partie de 2 700 m dans le versant sud des Planes balaie le parking désert de la station d'Arcalis, interdite au public.

L'ampleur du phénomène décide le service de surveillance des avalanches à conseiller l'évacuation d'un ensemble d'immeubles au fond de la vallée d'Arinsal, qui est dominé par un vaste cirque de même orientation et altitude que le précédent. L'opération concerne plus de trois cents personnes. Les responsables sont difficiles à joindre avant 9 heures; la décision n'est prise que vers 10 heures. Plusieurs immeubles construits dans les années 1980 sont directement exposés à l'avalanche des Fonts, et leur accès est menacé sur plusieurs centaines de mètres par trois avalanches.

Le premier couloir (Percanela) confirme nos craintes vers 10h30 une avalanche coupe l'unique route sur 100 m; par chance, personne n'est enseveli; la chaussée, recouverte de 4 m de neige et d'arbres entremêlés, ne peut être ni dégagée ni surmontée. L'évacuation est fortement ralentie : il faut faire un détour avec les chenillettes de la station, puis descendre à pied dans une pente raide à travers un chantier avant d'atteindre les autocars, qui attendent de l'autre côté de l'avalanche. Les pompiers et les policiers accompagnent les habitants et les touristes réunis par petits groupes. Il n'y a pas de panique, mais des discussions s'engagent car de nombreuses personnes voudraient emporter un maximum d'affai-

res. À 17h30, l'évacuation est terminée; deux policiers restent en faction à 500 m du couloir d'avalanche pour interdire l'accès de la zone menacée. À 19 heures, ils entendent un bruit d'ouragan et le fracas d'arbres brisés, puis le souffle fait déraiper sur plus de 10 m leur gros 4 X 4 arrêté en travers de la chaussée. Le souffle survole le vieux village d'Arinsal, il est encore perçu à plus de 1 km du pied du couloir. La montagne a été clémente une fois de plus : elle a attendu que tout le monde soit à l'abri!

Au lever du jour, les dégâts apparaissent dans toute leur ampleur : ils sont considérables! On croirait arriver après un bombardement ou une monstrueuse tornade. Huit des onze immeubles évacués ont été endommagés par l'avalanche. Les centaines d'arbres emportés par l'avalanche ont agi comme autant de « béliers ». Les murs en brique ont éclaté, seuls ceux en béton et quelques-uns en pierre ont résisté. La neige a traversé certains immeubles de part en part, projetant meubles et gravats au pied des façades, arrachant même les interrupteurs électriques.

Le toit d'un immeuble de six étages situé sur la rive opposée au couloir a été emporté, et la moitié de ses baies vitrées et de ses cloisons ont volé en éclats. Le dépôt de neige permet d'entrer de plain-pied au deuxième étage. Plusieurs semaines après, on découvrirait qu'au centre du bâtiment la dalle du premier étage a été soulevée jusqu'au plafond du deuxième (elle descendra doucement avec la fonte de la neige ...).

Sous l'action du souffle, des voitures laissées sur le parking se sont télescopées; d'autres se sont enroulées autour des premiers pylônes du télésiège. Les pare-brise ont volé en éclats, les véhicules sont pleins de neige. Seuls deux petits immeubles avec un toit paravalanche, adossés contre le talus dans le prolongement de la pente, n'ont subi aucun dégât.

Cette avalanche n'était pas inconnue (c'est pourquoi la zone fut évacuée), mais aucun vivant ne lui avait jamais vu une telle ampleur. Les anciens du village se souvenaient de trois phénomènes. Après la dernière guerre, une avalanche de neige humide avait divagué à travers champs jusqu'au pied du torrent. Une autrefois, elle s'était arrêtée juste au pied de la cascade. La dernière avalanche en date, au début des années 1960, fut la plus importante : elle était partie sur toute la largeur du cirque et s'était étalée sur les prés de l'autre rive. Son dépôt avait complètement rempli le torrent, mais sa largeur faisait moins de 70 m d'après les photos aériennes. En 1996, son emprise dans la forêt a doublé! »

Photo 5-17. [Avalanche d'Arinsal en Andorre du 8 février 1996](#)
[Le toit d'un immeuble de 6 étages](#)



Photo 5-18. [Avalanche d'Arinsal en Andorre du 8 février 1996](#)
[Les effets d'un "souffle"](#)



Source : Photos Jean François Meffre

EFFORTS SUR LES CONSTRUCTIONS

Les efforts sur les constructions dus aux avalanches ne font pas encore pour l'instant l'objet d'une règle de calcul, d'un Document Technique Unifié, ou d'une norme européenne de type Eurocode. Il n'y a donc à l'heure actuelle pas de document de référence qui reflèterait le consensus de l'administration, des milieux du bâtiment et du génie civil sur le problème et sur les valeurs à prendre en compte.

Dans ce qui suit, nous nous efforcerons pourtant de donner des éléments d'appréciation et de quantification, utiles pour pouvoir étudier et dimensionner une construction dans une zone soumise au risque d'avalanche, tels qu'on peut les trouver dans les différents règlements et directives en usage en France et en Suisse. Pour chaque élément, nous donnerons une valeur, lorsque cette valeur est couramment admise, ou une plage de variation, lorsqu'il y a un manifestement des approches ou des pratiques différentes sur la question. De la sorte, ce document est plus à prendre comme un inventaire des pratiques, que comme un ensemble de prescriptions impératives à prendre absolument à la lettre.

Pour les unités, les valeurs seront données dans le système international en kN (kilo-newton) pour les charges et en kPa (kilo-pascal) pour les pressions (avec $1 \text{ kPa} = 1 \text{ kN/m}^2$), mais d'une manière systématique elles seront aussi transcrites dans des unités plus parlantes pour le langage courant, en employant le kilogramme¹⁰ et la tonne, sachant qu'un kilo newton correspond à environ 100 kg, et un kilo pascal à environ 100 kg/m².

Pression de référence

La force d'impact entre une avalanche et un bâtiment est généralement reliée à l'énergie cinétique de l'écoulement, c'est-à-dire au carré de la vitesse. Dans ce qui suit, on parlera de *pression de référence*, pression cinétique générée par l'écoulement. La pression d'impact est proportionnelle à cette pression de référence avec un coefficient qui dépend de la position relative du bâtiment par rapport au flux, de la forme de l'obstacle et de la nature de l'écoulement. Il est donc nécessaire de distinguer les efforts générés par les avalanches coulantes de ceux induits par une avalanche en aérosol.

Avalanche coulante

30 kPa (3 t/m²) est une valeur qui fait référence dans de nombreux règlements et qui fait l'objet d'un certain consensus. En fait 30 kPa (3 t/m²) est une valeur choisie arbitrairement. A l'origine, elle provient de Suisse, qui a toujours servi de grand modèle en matière d'avalanche, en particulier depuis la création en 1931 à Davos, du premier laboratoire d'étude de la neige, l'Institut Fédéral d'Etude de la Neige et des Avalanches.

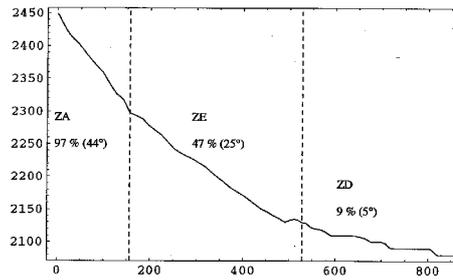
Pour comprendre cette valeur, il importe de reprendre la dynamique d'une avalanche, en restant pour le moment dans le domaine des avalanches coulantes.

Typiquement le profil en long d'un couloir d'avalanche, se décompose en :

- une zone d'accumulation, qui va servir de départ à l'avalanche. La pente de cette zone est en général comprise entre 27° et 55°, 51 à 143% (plus raide, il n'y a pas d'accumulation, la purge étant rapide, moins raide, il n'y a pas de déclenchement)
- une zone d'écoulement, dans laquelle l'avalanche acquiert sa dynamique
- une zone de dépôt ou d'arrêt, dans laquelle l'avalanche commence à réduire sa vitesse et à déposer les masses de neige mobilisées, jusqu'à l'arrêt complet. Le ralentissement ne commence en général que quand la pente devient inférieure à une valeur critique, comprise entre 10° et 20° (18 et 36%).

¹⁰ En toute rigueur, on devrait parler de kilogramme-force ou de tonne-force, mais d'une manière usuelle dans le bâtiment on parle de kilo et de tonne.

Figure 6-01. Profil en long type d'un couloir d'avalanche



En général, il est assez vain de vouloir construire un bâtiment courant dans une zone d'écoulement. Les efforts à reprendre y sont très élevés, bien au-delà des capacités de résistance habituelles des constructions. Des mesures de pression d'impact ont montré que les avalanches pouvaient avoir des pressions instantanées dépassant 1 000 kPa (100 t/m²), des valeurs qui poussent à la construction de bunkers ou d'abris anti-atomiques mais pas à la construction de bâtiments courants.

Photo 6-01. Bunker du site expérimental de la Vallée de la Sionne en Suisse



Source : Photo Service des forêts et du paysage du Canton du Valais

Donc, on admet qu'on ne puisse construire que dans les zones où on estime que le risque est tel que si une avalanche y arrivait, elle aurait suffisamment ralenti et la pression serait inférieure à 30 kPa (3 t/m²). D'un point de vue physique, en première approximation, on peut définir la pression dynamique de référence P_d de la manière suivante :

$$P_d = \frac{1}{2} \rho V^2 \text{ (en Pascal) avec } \begin{array}{l} \rho : \text{masse volumique moyenne de l'avalanche [kg/m}^3\text{]} \\ V : \text{vitesse [m/s]} \end{array}$$

Si on fait une application numérique à l'envers, 30 kPa (3 t/m²), avec une masse volumique de 400 kg/m³, cela donne une vitesse de 12 m/s (45 km/h), et avec une masse volumique de 300 kg/m³, on obtient 14 m/s (50 km/h), des valeurs déjà conséquentes mais qui peuvent facilement être atteintes.

30 kPa (3 t/m²) est donc une valeur conséquente, mais arbitraire. Elle a été fixée parce qu'on a estimé que c'était une valeur avec laquelle on savait encore construire à un coût raisonnable. Dans les faits, on retourne le problème qui devient le suivant : soit une pression de 30 kPa (3 t/m²), quelles sont les zones où cette pression a des risques d'être dépassée ?

Le tracé des limites d'une zone rouge, d'une zone bleue et d'une zone blanche est sous la responsabilité des services en charge de l'instruction des PPR.

Avalanche en aérosol

Si pour les avalanches coulantes, le chiffre de 30 kPa (3 t/m²) sert unanimement de référence, pour les avalanches en aérosol on trouve une plus grande fourchette pour les valeurs indiquées dans les documents techniques. A titre d'exemple, pour des zones considérées comme "bleues" dans différents documents on trouve ceci :

- dans le PZEA de Val d'Isère, on donne 10 kPa (1 t/m²) pour "la valeur de l'effort principal suivant le sens de l'avalanche", 5 kPa (500 kg/m²) pour "la valeur de la composante verticale tournée vers le haut", et 3 kPa (300 kg/m²) pour "la valeur des composantes latérales"
- dans le PER de Chamonix, on trouve 10 kPa (1 t/m²) "pour les façades exposées"
- dans le règlement type des PPR de la Haute Savoie, pour le type de zone "Avalanches avec aérosol – risque moyen", on indique "les façades ou pignons exposés vers l'amont devront résister à des surpressions ou dépressions de 30 kPa (3 t/m²), et les autres façades ou pignons devront résister à des surpressions ou dépressions de 10 kPa (1 t/m²)"
- dans le règlement type des PPR des Pyrénées-Atlantiques, pour le règlement A, avalanches avec aérosol, on retrouve les mêmes valeurs que pour la Haute Savoie
- dans les "Directives pour la prise en considération du danger d'avalanches lors de l'exercice d'activités touchant l'organisation du territoire" édité en 1984 par l'IFENA et qui sert de références en Suisse, on indique "les zones exposées à des avalanches poudreuses de moins de 3 kN/m² (300 kg/m²), dont la périodicité est inférieure à 30 ans, peuvent être également marquées en bleu"
- dans les "Prescriptions concernant les constructions dans les zones bleues d'avalanches" du GVA (*Gebaudeversicherung Graubunden* l'administration concernant l'assurance des immeubles dans le canton des Grisons, en Suisse), on indique une pression de l'avalanche poudreuse variant dans la zone bleue de 5 à 3 kPa (de 500 à 300 kg/m²)
- dans un document de 1998 émanant de l'Office fédéral des routes et de la Direction des travaux des Chemins de fer suisses, pour la construction des galeries paravalanche, qui sont des ouvrages très exposés, on indique pour "les avalanches poudreuses": "Leur vitesse est de l'ordre de 100 à 300 km/h et les pressions exercées sur des obstacles vont jusqu'à environ 10 kN/m²"

Actuellement en France, l'usage est relativement lâche en matière de préconisation concernant les avalanches en aérosol : l'éventail des valeurs de référence est plus ouvert, dans un rapport de plus de 1 à 10, de 3 à 30 kPa (300 kg/m² à 3 t/m²), ce qui peut ne pas être sans conséquences sur la construction, surtout au niveau de la conception des ouvertures, comme nous le verrons dans le chapitre consacré aux réponses constructives.

Si on reprend le point de vue physique exposé plus haut, avec $P_d = \frac{1}{2} \rho V^2$, en prenant $\rho = 10 \text{ kg/m}^3$ ¹¹, 3 kPa (300 kg/m²) donne une vitesse de 25 m/s (90 km/h), 10 kPa (1 t/m²) une vitesse de 45 m/s (160 km/h) et 30 kPa (3 t/m²) une vitesse de 78 m/s (280 km/h).

Pour fixer les idées concernant ces valeurs, on peut signaler que la pression dynamique de base pour le vent dans la zone la plus exposée de la France métropolitaine est de 0,56 kPa (56 kg/m²), elle correspond à un vent de 30 m/s (108 km/h). Pour un cyclone, avec un vent de 70 m/s (252 km/h), on obtient 3 kPa (300 kg/m²)¹².

Un aérosol de 3 kPa (300 kg/m²) est un ordre de grandeur comparable à 1 cyclone, ou à 5 vents "normaux".

Un aérosol de 10 kPa (1 t/m²) correspond à 3 cyclones, ou à 18 vents "normaux".

Avec une avalanche à 30 kPa (3 t/m²) on arrive à 10 cyclones ou 53 vents "normaux".

¹¹ ce qui est une valeur moyenne admise pour un aérosol, en général on donne un ordre de grandeur compris entre 5 et 20 kg/m³

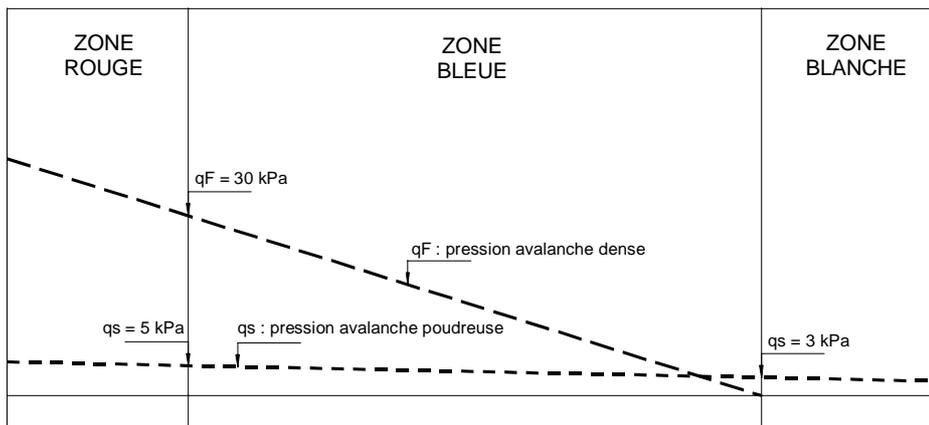
¹² pour calculer les efforts dus au vent, dans les Eurocodes on considère une masse volumique de l'air de 1,25 kg/m³

Variation des valeurs

Pour ce qui concerne la variation des valeurs des pressions de référence, il existe en pratique plusieurs approches réglementaires. Ainsi, dans le canton des Grisons, on trouve dans les prescriptions du GVA les éléments suivants :

- pour ce qui concerne les avalanches coulantes, la pression est de 30 kPa (3 t/m²) à la limite entre la zone rouge et la zone bleue, elle est nulle à la limite entre la zone bleue et la zone blanche. Dans la zone bleue, on fait donc varier linéairement la valeur de 30 kPa à 0 kPa en fonction de l'emplacement dans la zone
- pour les avalanches en aérosol, le raisonnement est le même, mais la variation est linéaire entre 5 et 3 kPa

Figure 6-02. Variation des pressions de référence à l'intérieur de la zone bleue



Source : Prescriptions du GVA Suisse

On retrouve peut être cette approche, mais sous une forme moins méthodique, dans des règlements français, qui font varier les pressions de références en fonction des localisations, par exemple :

- dans le PZEA de Val d'Isère, il y a une zone à 30 kPa (3 t/m²) et une zone à 20 kPa (2 t/m²), pour les avalanches de neige dense
- dans le PER de Chamonix, on trouve dans la zone bleue des secteurs à 30 kPa (3 t/m²), 20 kPa (2 t/m²), 15 kPa (1.5 t/m²) et 10 kPa (1 t/m²)

Toutefois, la tendance qui semble se dessiner en France est de ne plus faire de variation à l'intérieur des zones bleues.

En effet, d'une part, on sait bien que le trait qui sépare la zone rouge de la zone bleue et celui qui sépare la zone bleue de la blanche, sont des traits qui sont le fruit d'une interprétation humaine et d'une décision politique. Dans ces conditions, vouloir faire une interpolation linéaire rigoureuse entre deux limites qui peuvent fluctuer est sans doute un peu illusoire.

D'autre part, si on considère le front d'arrêt d'une avalanche importante, c'est bien souvent un mur vertical et on ne trouve généralement pas une variation linéaire des hauteurs et une fin en pente douce : l'arrêt donne l'impression d'être assez brutal.

Pour ces raisons, l'usage actuel en France veut que, dans les règlements des PPR, on s'oriente plutôt vers un système de tout ou rien, 30 kPa ou 0.

Hauteur d'application

Un autre paramètre important pour étudier un bâtiment est la hauteur d'application de la charge. Là aussi, à titre indicatif, nous donnerons une fourchette des valeurs que l'on trouve dans différents documents, suivant les deux types d'avalanche.

Avalanche coulante

Dans les documents déjà cités, les hauteurs d'application sont les suivantes :

- $H = 4$ m, dans le PZEA de Val d'Isère
- $H = 4$ m, dans le PER de Chamonix
- $H = 3$ m, dans le règlement type des PPR de la Haute Savoie
- $H = 4$ m, dans le règlement type des PPR des Pyrénées-Atlantiques
- H variant de 5 à 4 m, avec une charge triangulaire en partie haute sur 2 m, quand l'avalanche ne submerge pas le bâtiment, et H variant de 6 à 4 m quand l'avalanche submerge le bâtiment, dans les prescriptions du GVA suisse

Figure 6-03. Hauteur d'application – Bâtiment non submergé

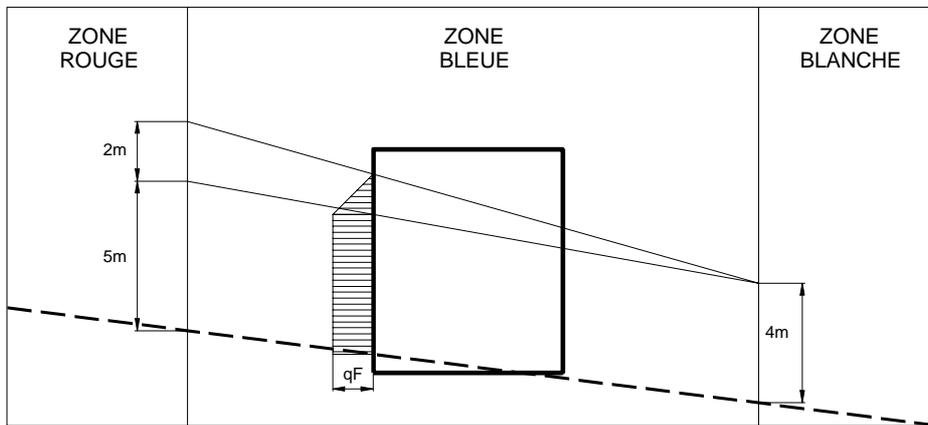
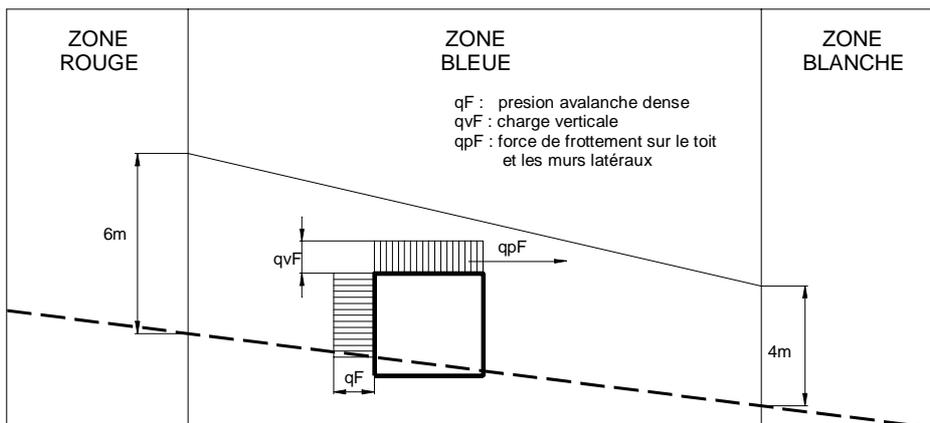


Figure 6-04. Hauteur d'application – Bâtiment submergé



Source : Prescriptions du GVA Suisse

Avalanche en aérosol

Pour l'avalanche en aérosol, tous les documents cités indiquent que la pression s'applique sur toute la hauteur des murs exposés. Cela semble normal étant donné la hauteur d'un aérosol qui peut se développer jusqu'à plus de 100 m de haut, 30 ou 40 m étant des valeurs courantes.

On doit toutefois signaler que dans des études particulières d'avalanche pour des ouvrages élevés, on trouve une variation sensible des pressions en fonction de la hauteur.

Par exemple, pour un aérosol de 40 m de haut, si on donne une valeur de 10 kPa (1 t/m^2) pour la tranche entre 0 et 4 m du sol, on donne 5,6 kPa (560 kg/m^2) entre 4 et 8 m, et 1.25 kPa (125 kg/m^2) de 8 à 40 m.

Pour des ouvrages élevés, une étude particulière prenant en compte cet aspect peut s'avérer très judicieuse.

Photo 6-02. [Aérosol site expérimental du Col d'Ornon](#)



Source : Photo Cemagref

Direction d'application

Pour ce qui concerne la direction d'application, on estime en général que la direction de propagation du phénomène est celle de la ligne de plus grande pente. Mais cette appréciation doit être nuancée avec les réflexions suivantes :

- les trajectoires des avalanches coulantes et en aérosol sont rarement identiques
- à la sortie des couloirs les trajectoires peuvent s'infléchir en s'étalant
- de même, les trajectoires d'avalanche coulante de neige humide à la sortie d'un couloir peuvent s'enrouler et donc marquer des changements de direction, parfois très surprenants
- des irrégularités de surface, l'accumulation locale d'éléments transportés ou même la présence de constructions ou d'obstacles peuvent aussi infléchir les trajectoires
- à l'examen de photos aériennes, on se rend compte qu'au sein d'une même avalanche les coulées successives ont souvent tendance à zigzaguer sensiblement

Photo 6-03. [Avalanche des Lanches à Peisey Nancroix en 1995](#)



Source : Photo PGHM

Pour toutes ces raisons, il est sans doute assez peu probable qu'une avalanche suive rigoureusement une belle flèche tracée sur un plan.

Dans les prescriptions du GVA déjà cité, on indique qu'il faut tenir compte d'une déviation de plus ou moins 20° par rapport à la direction principale de l'écoulement, avec des écarts plus importants si des obstacles sont à prendre en considération (certains experts estiment que 30 à 35° d'écart serait préférable, d'autres vont même jusqu'à indiquer 45° en cas d'obstacle).

Effets à prendre en compte

En dehors des règlements particuliers annexés au PPR et du règlement Neige et Vent, il n'existe aucun document technique normatif à l'usage des constructeurs définissant les efforts d'avalanche ou de poussée de neige à prendre en compte. Dans ce qui suit, nous donnerons simplement des indications qui ressortent des pratiques constatées.

Avalanche coulante

Par défaut, il est souvent estimé qu'une avalanche coulante rapide se traduit sur une surface plane orientée d'un angle α par rapport à la direction de l'écoulement, par un effort normal σ et un effort tangentiel τ , avec les formules suivantes:

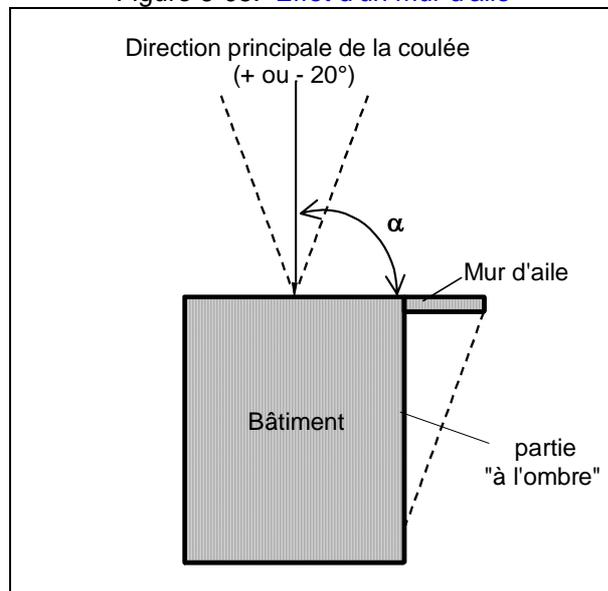
- effort normal $\sigma = c Pd$
- effort tangentiel $\tau = c \mu Pd$ avec μ coefficient de frottement statique $0,2 \leq \mu \leq 0,4$

où Pd désigne la pression de référence au sein de l'écoulement et c un coefficient de forme traduisant la manière dont l'ouvrage interagit avec l'écoulement (on prend en général $c = 2 \sin^2\alpha$ pour un mur droit).

Ces efforts s'appliquent à toutes les parois exposées, frontales ou latérales, en tenant compte de la variation en plus et en moins de la direction d'application de l'avalanche (+ ou $- 20^\circ$, ou plus si on estime que la valeur doit être supérieure).

En général, en l'absence d'études spécifiques, pour les parties de façade latérale qui sont protégées par un mur d'aile, on estime qu'il n'y a pas d'effort pour la partie "à l'ombre" du mur d'aile. Toutefois, l'angle à prendre en compte pour définir la zone "hors risque" n'est pas rigoureusement fixé : le GVA suisse indique 20° mais certains praticiens retiennent plutôt 45° , "sans grande certitude d'être dans le vrai" suivant leurs dires.

Figure 6-05. Effet d'un mur d'aile



Source : Prescriptions du GVA Suisse

Sur le plan vertical, si le bâtiment est susceptible d'être submergé, il faut tenir compte de la hauteur de neige au-dessus de la couverture. On prend en général une masse volumique pour la neige de 3 à $4,5 \text{ kN/m}^3$ (300 à 450 kg/m^3).

Toujours pour les actions verticales, si une partie d'un bâtiment peut être envahie par le dessous (par exemple porche, ou étage en saillie), on prend en compte une force verticale vers le haut égale à 0,4 fois la pression dynamique de références Pd .

Avalanche en aérosol

Si les efforts des avalanches coulantes sont de l'ordre des efforts de poussée et des forces de frottement, les avalanches en aérosol sont plus proches des effets du vent avec des phénomènes de surpression et de dépression sur les parois. Mais par rapport aux "simples" effets du vent, un aérosol se singularise par deux aspects.

D'une part, il y a transport de matière ce qui augmente notablement les pressions (la masse volumique de l'air est en général de $1,25 \text{ kg/m}^3$, celle d'un aérosol de l'ordre de $5 \text{ à } 20 \text{ kg/m}^3$ en moyenne, soit 4 à 16 fois plus, ce qui, sur la base du $\frac{1}{2} \text{ de } mV^2$, se traduit par des pressions au sein de l'aérosol 4 à 16 fois plus élevées à vitesse égale)

D'autre part, les aérosols ont des écoulements très fortement turbulents et leurs effets sur les constructions sont assez complexes à étudier.

Toutefois, dans des documents, on donne parfois des indications sur les efforts à prendre en compte. Par exemple, dans le PER de Val d'Isère, on indique qu'une avalanche en aérosol avec une pression de référence P_d de 10 kPa (1 t/m^2) donne lieu à :

- un effort principal sur les façades directement exposées de 10 kPa (1 t/m^2) soit $1 \times P_d$
- une composante verticale tournée vers le haut sur ces mêmes façades de 5 kPa (500 kg/m^2) soit $0,5 \times P_d$
- une composante pour les façades latérales de 3 kPa (300 kg/m^2) soit $0,3 \times P_d$

Dans des études particulières, on trouve parfois des répartitions un peu différentes avec :

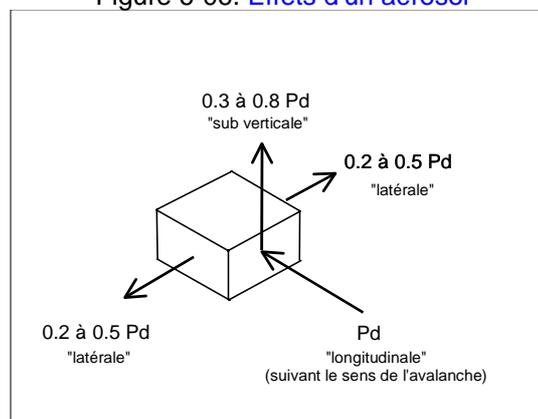
- une pression "longitudinale" qui s'exerce selon la direction de l'avalanche, dans un plan parallèle au sol
- une pression "subverticale" qui se développe suivant la direction perpendiculaire au plan d'écoulement de l'avalanche de façon ascensionnelle, et dont les valeurs se situent entre 0,3 et 0,8 fois la pression longitudinale
- une pression "latérale" horizontale, perpendiculaire à la direction de l'avalanche, que l'on indique comme valant 0,5 fois la pression longitudinale

En fait, pour comprendre cette disparité dans la répartition des efforts, on peut se rapporter à des études du Cemagref qui font intervenir la pente du sol avec les éléments suivants :

- si la pente est supérieure à $12,5^\circ$ il y a peu d'étalement et une forte turbulence, on prend alors 0,8 pour la pression "subverticale" et 0,2 pour la pression "latérale"
- si la pente est inférieure à $7,5^\circ$ il y a un fort étalement et moins de turbulence, on prend alors 0,3 pour la pression "subverticale" et 0,5 pour la pression "latérale"
- entre les deux on procède à une interpolation linéaire

D'une manière pratique, et à défaut de l'intervention d'un spécialiste pour valider ces valeurs, il semble raisonnable de prendre 0,8 pour la pression "subverticale" et 0,5 pour la pression "latérale". En tout cas, en prenant des valeurs "enveloppe" on se place du côté de la sécurité. (Nota : il existe aussi très certainement un effet de dépression pour les façades "sous le vent", mais dans la mesure où il n'y a pas d'impact de matière, on estime en général pour un bâtiment que les effets sont comparables à un vent violent)

Figure 6-06. Effets d'un aérosol



Source : Cemagref

Impact ponctuel

En dernier lieu, lorsqu'il y a des risques de descente de troncs d'arbres, de blocs de pierre ou de glace, il faut prendre en compte un effort d'impact ponctuel.

Dans les prescriptions du GVA suisse, on indique qu'il faut prendre en considération une force statique équivalente, s'appliquant sur un diamètre de 25 cm, et dont la valeur est la suivante en fonction de la pression de références de l'avalanche :

- 100 kN (10 t) pour une avalanche à 30 kPa (3 t/m²)
- 66 kN (6,6 t) pour une avalanche à 20 kPa (2 t/m²)
- 33 kN (3,3 t) pour une avalanche à 10 kPa (1 t/m²)

Il est précisé que cette charge ponctuelle fait effet en même temps que la pression de l'avalanche et qu'elle peut se situer à n'importe quel niveau à l'intérieur de la hauteur d'effet de l'avalanche.

Photo 6-04. [du 24 juillet 1924 Vue des bois transportés par l'avalanche du 29 décembre 1923 \(Ravin de Chauffriaz, près de la voie ferrée Chamonix-Argentière\)](#)



Source : Archives RTM 74 (classeur Chamonix 2)

Combinaisons d'actions

Pour les combinaisons d'actions, on admet en général les éléments suivants :

- les cas "avalanches" sont des cas "accidentels" (sauf bien sûr pour les ouvrages de protection paravalanche, pour lesquels l'avalanche est un cas de charge normal)
- sauf cas particulier expressément spécifié, on ne les vérifie qu'à l'ELU (Etat Limite Ultime) et non à l'ELS (Etat Limite de Service). Ce qui en clair veut dire qu'on ne vérifie que les résistances et pas les déformations. On admet donc qu'après une avalanche certains éléments soient très déformés, voire endommagés d'une manière irréversible, mais on n'admet pas qu'une paroi soit totalement enfoncée (par exemple, on accepte qu'un mur en béton soit très fissuré, on ne veut pas qu'il soit effondré). Bien entendu, un maître d'ouvrage peut toujours renforcer les prescriptions qu'il souhaite : par exemple pour une remontée mécanique, on peut estimer que les installations doivent pouvoir fonctionner après le passage d'une avalanche.
- on ne combine pas ensemble le cas "avalanche coulante" et le cas "avalanche en aérosol", ces deux cas ne se produisant pas simultanément
- comme on l'a vu précédemment, lorsqu'il y a des risques de descente de troncs d'arbres ou de blocs de pierre, on combine l'effort d'impact ponctuel avec le cas "avalanche coulante"
- on ne combine pas les cas "séismes" avec les cas "avalanches". Même si un séisme peut provoquer des avalanches, il est très peu probable qu'ils agissent dans le même intervalle de temps
- on ne combine pas les cas "avalanches" avec les cas "vents". Le cas avalanche étant très prépondérant, on peut admettre qu'il recouvre le cas vent
- par contre, on combine les cas "avalanches" avec les cas de "neiges". Il est en effet très fortement probable que les plus fortes avalanches se déclenchent lorsqu'il y a le plus de neige

REPONSES CONSTRUCTIVES

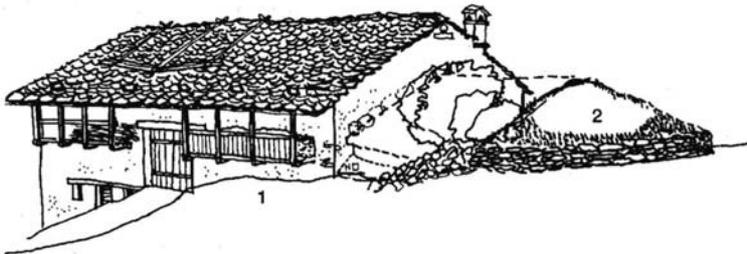
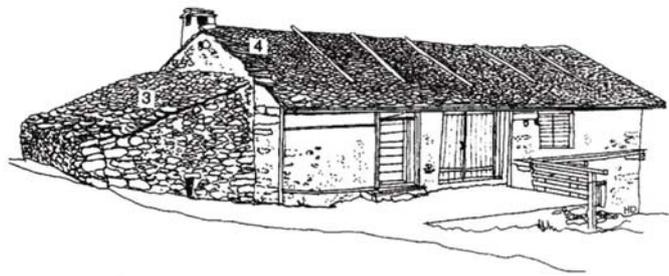
Dans ce qui précède, nous avons vu les types et les effets des avalanches, ainsi que les efforts induits. Dans ce chapitre, nous parlerons des réponses constructives qui ont pu être données et nous proposerons un ordre de grandeur des résistances qu'il est possible d'escompter.

Constructions en maçonnerie traditionnelle

D'une manière générale, les constructions en maçonnerie traditionnelle, avec des murs de 50 cm à 1 m de large, réalisés en pierre avec éventuellement un peu de mortier, n'offrent pas une très grande résistance à une poussée latérale.

Figure 7-01. La réponse traditionnelle : exemples à Peisey-Nancroix

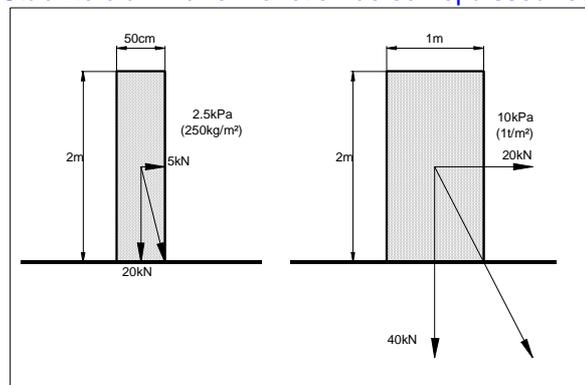
- ① Bâtiment long et bas, blotti dans le terrain pour ne donner aucune prise aux avalanches.
- ② Amas de pierres formant étrave pare-avalanches ou "tourne".
- ③ Cave couverte de lauzes, adossée à la maison, et faisant office de tremplin pour les avalanches.



Source : Habitat traditionnel des vallées de Vanoise – Parc national de la Vanoise / CAUE 73 1995 (H.Dubois et K.Schwing)

Pour s'en rendre compte, on peut considérer une portion de mur de 1m de large, de 50 cm d'épaisseur, 2 m de haut et pesant 2 tonnes au m³ : pour une raison de pure statique (la résistance au basculement), un tel mur ne pourra guère résister à une poussée horizontale supérieure à 5 kN (500 kg), soit 2.5 kPa (250 kg/m²). En augmentant l'épaisseur, jusqu'à 1 mètre, on pourrait obtenir une résistance jusqu'à 20 kN (2 t), soit 10 kPa (1 t/m²).

Figure 7-02. Stabilité d'un mur en fonction de son épaisseur et de sa hauteur



Bien sûr, le raisonnement présenté est très simple : d'un côté il ne tient pas compte de l'amélioration de la résistance que peuvent apporter des murs de refends, des éléments de planchers ou de charpente, mais de l'autre, il ne se préoccupe pas trop des problèmes de la qualité de la réalisation, de la liaison des pierres entre elles ou de la cohésion de l'ensemble.

De la sorte, ce qui semble assez évident c'est que des constructions en maçonneries traditionnelles, avec des épaisseurs courantes inférieures à un mètre, ne peuvent résister à des avalanches importantes.

Ce qui explique, que d'une manière systématique, toutes les constructions traditionnelles situées dans des zones d'avalanche soient protégées par des dispositifs architecturaux spécifiques : étrave, tourne, motte, défillement. Ces dispositifs, combinés avec beaucoup d'ingéniosité, donnent souvent une orientation très marquée et un caractère affirmé aux constructions. Ils illustrent à merveille un dicton bien montagnard : "Quand on n'est pas fort, il vaut mieux être malin."

Cette réponse traditionnelle aux avalanches se retrouve aussi bien dans les Alpes que dans les Pyrénées. Elle a souvent donné au paysage un caractère qui ne manque pas d'attrait.

Photos 7-02 7-03. ["Paysage d'avalanche" à Barèges](#)



Source : Photos Marc Givry

Cette réponse, sans doute forgée par l'expérience de quelques destructions, s'est aussi bien souvent montrée très efficace : par exemple aux Lanches, à Peisey-Nancroix, un vieux bâtiment, bien protégé derrière sa tourne, a parfaitement résisté à l'avalanche de 1995, alors que les bâtiments situés à l'aval ont été détruits. Vu la hauteur de l'avalanche qui avait totalement submergé le hameau, tout le monde était persuadé que ce bâtiment avait disparu, et ce fut une grande surprise de le voir émerger intact à l'été avec la fonte des neiges.

Photo 7-04. [Les Lanches – Peisey Nancroix](#)



Source : Photo Cemagref

Constructions en béton armé

Avec l'invention, puis la généralisation du béton armé, le paysage change. Résister à des poussées de 30 kPa (3 t/m²) sur 4 à 6 m de haut, avec un ouvrage en béton armé, est un problème assez simple :

- si l'ouvrage est simplement stabilisé en pied, 30 kPa (3 t/m²) sur 4 à 6 m de haut, cela donne un ouvrage équivalent à un mur de soutènement, des épaisseurs d'environ 50 cm à la base, 30 au sommet, et une semelle de fondation suffisante pour reprendre une poussée horizontale et un couple de renversement
- si l'ouvrage se comporte comme un voile entre 2 planchers ou deux murs de refend¹³, on reste dans l'ordre de grandeur des murs courants en béton armé, environ 20 cm, avec un ferrailage un peu plus consistant que d'habitude

Bien entendu, un tel ouvrage, comme d'ailleurs tous les ouvrages sérieux réalisés en béton armé, doit donner lieu à une étude de dimensionnement et à un plan de ferrailage spécifiques. Mais il n'y a là rien de bien difficile sur le plan de l'étude et de la justification.

Photo 7-05. Val d'Isère
un voile béton face à l'avalanche



Source : Photo Marc Givry

On peut toutefois signaler que des solutions avec une ossature en béton armé et des remplissages en brique ou en blocs agglomérés seront sans doute plus difficiles à justifier : elles sont à considérer comme des cas d'espèce qui nécessiteront des précautions particulières. En général, une réalisation avec des voiles monolithiques en béton armé est le plus souvent préférable.

Le problème des fondations et de la liaison de la structure aux fondations sera bien sûr pris en compte dans l'étude, mais là aussi, il n'y a rien de bien particulier, le rapport au sol étant le B A, BA de toute construction immobilière qui par principe se voudrait immobile.

Contrairement à la maçonnerie traditionnelle, dont les capacités de résistance insuffisantes imposent des dispositions architecturales spécifiques, le béton armé permet donc de s'affranchir des contraintes de forme et aussi d'aspect du matériau. Les constructeurs ne s'en sont pas privés et maintenant on peut rencontrer dans des zones soumises au risque d'avalanche des murs en béton/béton, des murs en béton/pierre ou des murs en béton/bois.

Photos 7-06 7-07. "Béton/pierre et béton/bois" à Val d'Isère



Source : Photos Marc Givry

¹³ Mur de refend : mur formant séparation dans l'intérieur d'un bâtiment

Constructions en bois

Contrairement à ce que l'on pense généralement, des constructions en bois peuvent fort bien se comporter dans des zones à risque d'avalanche, et il n'y a aucune raison de prohiber ce matériaux dans ces zones. Pour s'en convaincre, il suffit de considérer les parois en bois que l'on dispose souvent le long des routes ou des voies ferrées pour les protéger des chutes de bloc : le bois à une résistance mécanique élevée et une bonne capacité d'absorption des chocs du fait de sa souplesse.

Photo 7-08. Paroi en bois contre les chutes de pierres



Source : Photo Marc Givry

Pour fixer les idées, on peut signaler que le bois et le béton ont des limites de résistance assez similaires (de l'ordre de 30 MPa) et qu'une paroi en béton et une paroi en bois réalisées avec la même épaisseur pourraient offrir des résistances semblables pour des efforts statiques, la paroi en bois se comportant mieux pour des efforts dynamiques avec des chocs et des impacts.

Bien entendu le raisonnement ne vaut que si on travaille avec des épaisseurs consistantes et surtout des liaisons et des assemblages sérieux entre les éléments : si on se contente d'empiler des bois sans aucune liaison et sans ancrage aux fondations, il est évident qu'en cas d'avalanche tout cela va voltiger comme un tas d'allumettes.

Mais avec des dispositions constructives adéquates, on peut obtenir des résistances très élevées. Pour fixer les idées, pour une charge de 30 kPa (3 t/m²) et pour une paroi s'appuyant sur des refends :

- des rondins de 15 cm de diamètre nécessitent 3,5 m entre refends
- des rondins de 20 cm de diamètre nécessitent 4,5 m entre refends
- des bois rectangulaires formant une paroi de 10 cm d'épaisseur nécessitent 3 m entre refends
- avec une paroi de 15cm d'épaisseur on obtient 4,5 m entre refends et 6m pour une paroi de 20 cm

Si à cette charge répartie de 30 kPa (3 t/m²), on ajoute une charge ponctuelle de 100 kN (10 T) correspondant au choc d'un tronc d'arbre :

- une paroi de 15 cm d'épaisseur nécessite 2 m entre refends
- une paroi de 20 cm d'épaisseur nécessite 3 m entre refends

Tous ces éléments, bien sûr, ne sont que des ordres de grandeur : ils demandent à être précisés, justifiés et validés par une étude particulière, en fonction de la qualité des bois mis en œuvre, des conditions d'appuis, des liaisons ..., mais il n'y a là rien d'autre que les études classiques auxquelles on doit procéder pour toute construction.

Dans le cadre des constructions en bois, il faut aussi parler des toitures et des couvertures. Pour ces éléments et pour des bâtiments bas susceptibles d'être submergés, le risque avalanche doit se traduire par deux préoccupations :

- prendre en compte une surcharge verticale à ajouter à celle de la neige "normale"
- prendre en compte des efforts horizontaux et verticaux d'arrachement importants

Le premier point ne modifie pas sensiblement la conception des ouvrages mais il impose des dimensionnements plus importants. A titre d'ordre de grandeur, on peut signaler que :

- suivant l'Eurocode 1, la charge de neige à prendre en compte est de 2,4 à 2,85 kN/m² (240 à 285 kg/m²) à 1000 m d'altitude suivant les zones, de 6,9 à 7,35 kN/m² (690 à 735 kg/m²) à 2000 m
- si on considère une construction basse submergée du fait d'une avalanche par une masse de neige de 2m de haut avec une densité de 3 kN/m³ (300 kg/m³), la surcharge supplémentaire à prendre en compte serait de 6 kN/m² (600 kg/m²) ce qui n'est pas négligeable

Le deuxième point impose une attention particulière pour tout ce qui concerne les ancrages et les fixations, avec des efforts qui ne sont en général pas pris en compte pour de la neige "normale" supposée agir verticalement.

Toujours à titre d'ordre de grandeur, si on prend en compte les paramètres suivants :

- une pression dynamique de références Pd de 30 kPa (3 t/m²)
- un angle d'incidence α de l'avalanche de 30° sur la toiture
- un coefficient de frottement statique μ de 0,30

on obtient un effort tangentiel de $\mu \times Pd \times \sin^2\alpha$, de 2.25 kPa (225 kg/m²), ce qui sur l'ensemble d'une toiture produit des effets importants, bien supérieurs aux effets de friction dus au vent que l'on prend habituellement en compte.

Photo 7-11. Exemple de bâtiment en bois massif



Source : Photo Marc Givry

Constructions en acier

Comme pour le bois, il n'y a aucune raison d'exclure les structures en acier pour les constructions dans les zones d'avalanche.

A titre d'illustration, on peut signaler qu'un pylône de remontée mécanique résiste sans renfort particulier jusqu'à des pressions d'avalanche de 30 à 40 kPa (3 à 4 t/m²) et qu'avec des renforts appropriés on obtient des résistances jusqu'à 120 à 150 kPa (12 à 15 t/m²).

Les constructions métalliques sont d'ailleurs souvent employées pour réaliser des ouvrages liés aux remontées mécaniques, plutôt pour les structures que pour les parois ou les bardages. Mais à priori, rien n'interdit de réaliser des parois en acier dans une zone d'avalanche : on sait parfaitement réaliser des silos à parois métallique qui résistent à des pressions très élevées et on pourrait aussi citer les rideaux de palplanches qui sont des ouvrages capables de résister à des poussées importantes.¹⁴

Comme exemple de structure métallique, on peut citer la gare de départ du téléphérique du Pic du Midi à la Mongie dans les Pyrénées.

Photos 7-13 7-14. Gare du Pic du Midi à la Mongie



Source : Photos Marc Givry

Cet ouvrage, calculé par l'entreprise Nestadour et vérifié par le bureau de contrôle Veritas, est pour nous intéressant car il combine plusieurs types de sollicitations :

- les charges de neige et de vent habituelles pour une construction située à 1750 m d'altitude
- des charges sismiques assez élevées pour un ouvrage de classe B en région II (sismicité "moyenne") avec des éléments de façade lourde en pierre accrochés à la structure métallique
- une charge d'avalanche "modérée" de type aérosol avec une valeur de 10 kPa (1 t/m²) sur toute la hauteur de la façade exposée

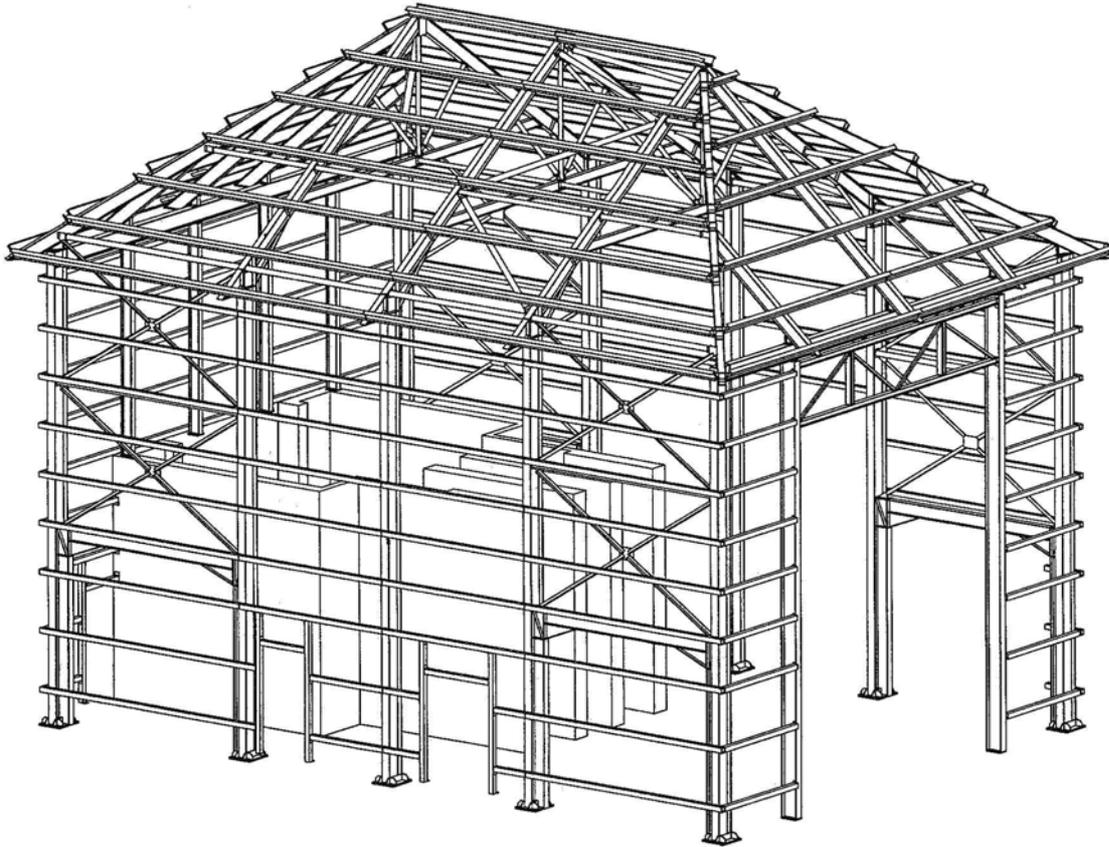
Photo 7-15. Gare du Pic du Midi à la Mongie – vue intérieure



Source : Photo Marc Givry

¹⁴ Bien entendu avec un dimensionnement adéquat. Les bardages courants de faible épaisseur n'ont pas une résistance suffisante pour une zone d'avalanche.

Figure 7-16. Gare du Pic du Midi à la Mongie – détail de la structure



Source : Entreprise Nestadour

Avec ces éléments, les valeurs obtenues pour ce qui concerne la somme des réactions d'appui sont les suivantes pour les efforts horizontaux :

- avalanche : 595 kN (59,5 T)
- séisme : 289 kN (28,9 T)
- vent : 96 kN (9,6 T)

De la sorte, on se rend compte que pour ce bâtiment, une avalanche "modérée" représente environ deux fois un séisme, et six fois le vent.

Du point de vue économique, cet exemple est aussi intéressant. En effet, la problématique "avalanche" ayant été soulevée après le début des études, le surcoût correspondant a pu être bien identifié : il était de l'ordre de 20% sur la structure.

Le cas "avalanche" est donc un cas qui est loin d'être négligeable. Mais c'est un cas qui ne pose pas de problème de calcul particulier. Phénomène éminemment dynamique, il est la plupart du temps "traduit" par un effort statique équivalent pour pouvoir calculer raisonnablement une structure : une démarche qui est couramment employée pour d'autres sollicitations dynamiques, tel le choc d'un poids lourd ou d'une péniche contre une pile de pont, à la différence des cas de séisme, par exemple, qui nécessitent parfois des modélisations plus complexes et des calculs plus sophistiqués.

Problématique des ouvertures

Dans ce qui précède nous nous sommes rendus compte que sur le plan des structures, qu'elles soient en béton, en bois ou en acier, il n'y avait pas de problèmes constructifs insurmontables. Certes, les efforts à prendre en compte peuvent être conséquents, mais tout cela peut trouver une solution dans le cadre d'une construction courante.

Par contre, dès qu'on se préoccupe d'ouverture, les problèmes sont moins évidents et là aussi, comme pour les maçonneries traditionnelles "à défaut d'être fort, il faudra être malin".

Châssis ouvrants

Pour aborder le problème, on peut donner les valeurs de résistance des ouvertures standards. En effet, pour ces ouvertures, il existe un classement dit AEV, donnant l'étanchéité à l'air, A, à l'eau, E, et la résistance au vent, V. Dans le cas d'une avalanche, seule la résistance au vent, V, nous intéresse, et pour ce critère, deux éléments sont considérés.

La conservation des qualités de perméabilité à l'air sous une pression de :

- 0,5 kPa (50 kg/m²) en classe V1
- 1,0 kPa (100 kg/m²) en classe V2
- 1,45 kPa (145 kg/m²) en classe VE, classe dite Exceptionnelle

La résistance à une pression brusque pour laquelle la fenêtre ne doit pas se rompre, ni s'ouvrir brusquement, sous une pression de :

- 0,9 kPa (90 kg/m²) en classe V1
- 1,7 kPa (170 kg/m²) en classe V2
- 2,3 kPa (230 kg/m²) en classe VE, classe dite Exceptionnelle

Avec ces valeurs, on voit tout de suite que l'ordre de grandeur de résistance des ouvertures standards, même de classe Exceptionnelle, est assez loin des valeurs de résistance auxquelles il faut répondre sur des façades exposées à un risque d'avalanche.

Photo 7-17. Le "Schuss" à Barèges – Avalanche du 31.01.1986



Source : Photo RTM 65

Vitrages fixes

Pour s'efforcer d'améliorer les résistances, en restant tout d'abord dans des panneaux vitrés, on peut considérer des vitrages fixes. Toujours à titre d'ordre de grandeur, on peut donner les éléments d'appréciation suivants pour des vitrages de 1m de large :

- pour résister à une pression de 5 kPa (500 kg/m²), il faudrait une épaisseur de 10 à 15 mm
- pour résister à une pression de 10 kPa (1 t/m²), il faudrait une épaisseur de 15 à 25 mm
- pour résister à une pression de 30 kPa (3 t/m²), il faudrait une épaisseur de 25 à 40 mm

A l'inverse, si on part d'un vitrage spécifié, on peut donner pour des vitrages feuilletés de protection dans le tableau suivant la surface et la largeur maximum à respecter en fonction de la pression :

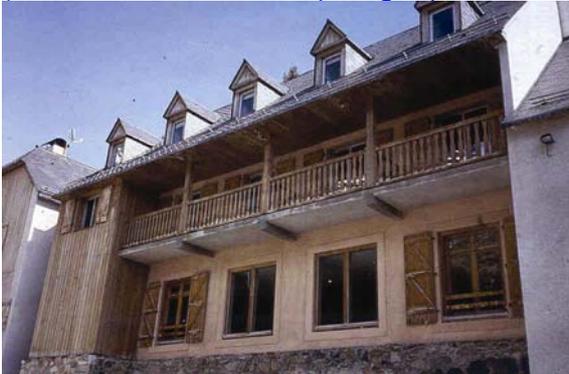
Vitrage	5 kPa (500 kg/m ²)		10 kPa (1 t/m ²)		30 kPa (3 t/m ²)	
	S maxi	L maxi	S maxi	L maxi	S maxi	L maxi
44.2	0,61 m ²	45 cm				
66.2	1.42 m ²	69 cm	0,71 m ²	49 cm		
SP 722	2.10 m ²	84 cm	1.05 m ²	59 cm	0,35 m ²	34 cm

De ces approches, on peut retenir que pour des vitrages fixes :

- pour une pression de 5 kPa (500 kg/m²), on sait faire à un coût raisonnable, pour un format raisonnable
- pour une pression de 10 kPa (1 t/m²), avec un format pas trop grand, on sait encore faire
- pour une pression de 30 kPa (3 t/m²), on sait toujours faire mais avec un coût et un poids très élevés, ou bien un format très petit (à ce niveau de pression, c'est équivalent à des glaces d'aquarium, avec 3 mètres de hauteur d'eau)

Mais si on rajoute à cette pression de 30 kPa (3 t/m²), la force d'impact d'un tronc, soit 100 kN (10 T) sur un diamètre de 25 cm, on ne sait plus faire avec une surface importante : c'est la raison pour laquelle, la plupart des règlements ou des recommandations limitent à 20 cm la largeur d'un élément d'ouverture vitrée dans une façade exposée (dans ce cas le GVA suisse préconise des verres renforcés, type verres de chars d'assaut...).

Photos 7-18 7-19. Immeuble soumis à un risque d'aérosol à Barèges
(les châssis ouvrants sont protégés par des volets, les vitrages fixes recoupés en petits formats)



Source : Photos Marc Givry

Panneaux pleins

Si pour des ouvertures vitrées, surtout ouvrantes, il est difficile d'obtenir des valeurs de résistance élevées, c'est moins le cas pour des panneaux pleins.

Par exemple, pour des volets en bois on peut donner un ordre de grandeur des portées admissibles en fonction de l'épaisseur et de la pression :

Epaisseur	10 kPa (1 t/m ²)	30 kPa (3 t/m ²)
20 mm	1 m	0,50 m
40 mm	2 m	1.20 m
60 mm	3 m	1.75 m

Moyennant des épaisseurs non négligeables, il est possible de réaliser des fermetures résistantes. Des solutions mixtes, bois-métal, ou tout métal peuvent aussi être réalisées, mais il faut bien garder à l'esprit que ces ouvrages auront un poids non négligeable.

A l'opposé, on peut signaler que des persiennes courantes ou des volets roulants, n'ont pas une résistance suffisante pour pouvoir être employés sur des façades exposées.

Photo 7-20. Val d'Isère
panneau coulissant
bois renforcé par une tôle à l'intérieur



Photo 7-21. Gare du Pic du Midi à la Mongie
une porte résistant à 10 kPa (1 t/m²)



Source : Photos Marc Givry

Ouvertures défilées

Une autre approche peut consister, au lieu d'augmenter les résistances, à s'efforcer de diminuer les sollicitations par une orientation judicieuse des ouvertures ou par la réalisation de murs d'aile. Cette approche a été souvent pratiquée, de nombreux exemples l'attestent.

Photos 7-22 7-23 7-24. Exemples d'ouvertures défilées



Source : Photos Marc Givry

Une interrogation toutefois demeure sur le secteur protégé par ce type de disposition : si les prescriptions du GVA suisse considèrent un angle de protection de 20°, certains experts français estiment qu'un angle de 45° serait plus judicieux.

Photo 7-25. Barèges – un "défilement" à 45° (l'avalanche vient de droite)



Source : Photo Marc Givry

Éléments secondaires

On entend par éléments secondaires tous les éléments tels que souches de cheminée, balcons, garde corps, passées de toiture, clôtures qui ne participent pas de la structure du bâtiment et qui ne contribuent pas à assurer le clos et le couvert.

Pour tous ces éléments, deux stratégies sont envisageables : une stratégie "résistante" où on dimensionne ces éléments pour résister aux efforts et sollicitations, une stratégie "fusible" où on s'assure que leur disparition n'entraîne pas en cascade des dégâts importants sur d'autres ouvrages.

En général, le choix entre ces 2 stratégies est laissé à l'appréciation du maître d'ouvrage qui arbitre entre le coût certain des renforcements à prévoir dans un cas et le coût probable des réparations à envisager dans l'autre (dans les prescriptions du GVA suisse, il est indiqué que pour ces éléments, le risque n'est pas couvert par l'assurance du bâtiment).

Pour aider à choisir une stratégie, on peut quand même donner quelques éléments d'appréciation pour chaque type d'éléments.

Souches de toiture

Les souches de toiture réalisées avec des boisseaux traditionnels n'ont aucune chance de résister à une avalanche, même très faible. Si on souhaite garantir l'intégrité du bâtiment, il peut sembler judicieux, et pas très difficile à la construction, de prévoir les renforcements nécessaires, à réaliser avec des éléments métalliques ou en béton armé. De tels renforcements permettent en outre de réduire notablement la vulnérabilité vis-à-vis des tempêtes de vent et du risque sismique : quand on sait que les chutes de cheminées sont la première cause de sinistre dans ces situations, on ne peut que préconiser le renforcement de ces éléments.

Passées de toiture

Pour un toit correctement calculé et bien conçu pour résister à un effort d'avalanche, il n'est pas très difficile de concevoir des débords qui soient eux aussi résistants. Bien entendu, on a intérêt à en limiter les dimensions pour limiter les efforts, mais cela s'oppose souvent à ce qui est la raison même d'une passée de toiture : protéger ce qui est en dessous. Sur ce point, on trouve parfois dans des règlements la recommandation de "*ménager des lignes de rupture dans le solivage ou le chevronnage*¹⁵, au droit des murs exposés" mais il faut avouer que cette recommandation a très rarement été suivie d'effet.

Balcons, garde corps

Si pour les planchers des balcons, on peut envisager de les réaliser comme "résistant" ou "fusible", pour des garde corps, ou des clôtures, réalisés avec des matériaux légers, il semble plus difficile de les concevoir comme résistants. A titre d'élément d'appréciation, un garde corps pour des locaux recevant du public résiste à 1,5 kN/m² (150 kg/m²). Suivant les efforts d'avalanche à prendre en compte, le renforcement peut s'avérer rapidement prohibitif.

Clôtures

Pour ce qui concerne les clôtures, on déconseille souvent de les réaliser avec des éléments massifs et lourds : en effet, en cas d'avalanche elles sont généralement emportées par la coulée et elles deviennent des projectiles dangereux.

¹⁵ Solivage : ensemble de pièces de charpente s'appuyant sur les poutres
Chevronnage : ensemble de pièces de charpente supportant les lattes de toiture

Récapitulation des résistances

Pour récapituler les ordres de grandeur évoqués ci dessus, on peut indiquer que :

- les ouvrages en maçonnerie traditionnelle n'ont pas des résistances très élevées, 10 kPa (1 t/m²) semblant une limite haute sans doute très optimiste
- avec des ouvrages neufs réalisés en béton, il n'est pas très difficile de résister à 30 kPa (3 t/m²) sans surcoût très important
- pour des ouvrages en bois ou en métal, il est possible de résister à 30 kPa (3 t/m²) mais avec des surcoûts qui ne sont pas négligeables. Pour ces structures, le calage fin des valeurs de résistance demandée a une incidence économique très sensible
- pour des châssis vitrés ouvrants, il semble très difficile de pouvoir justifier des résistances nettement supérieures à 2.5 kPa (250 kg/m²)
- pour des vitrages fixes, on doit pouvoir obtenir une résistance de l'ordre de 5 kPa (500 kg/m²) à un coût encore raisonnable et 10 kPa (1 t/m²) avec un coût sensiblement plus élevé; au-delà, cela ne semble pas très réaliste, sauf cas d'espèce très particulier
- pour des panneaux pleins, type portes ou volets, on peut obtenir des résistances élevées, 10 kPa (1 t/m²) étant un ordre de grandeur qui permet des ouvrages encore maniables, 30 kPa (3 t/m²) faisant encore partie du possible, mais les épaisseurs, les poids et les coûts sont en gros proportionnels aux résistances souhaitées

De tous ces éléments, on peut aussi retenir que des études particulières pour affiner les valeurs de résistance à obtenir sont sans doute très justifiées sur le plan économique. Pour cette raison, il nous semble très souhaitable que pour toute construction soumise au risque avalanche, il soit réalisé une étude spécifique prenant en compte le site et les dispositions constructives envisagées.

En dernier lieu, il nous semble que pour toute construction réalisée dans une zone soumise à un risque d'avalanche une étude de structure devrait être réalisée par des professionnels compétents, architecte, bureau d'étude ou entreprise qualifiée, étude éventuellement validée par un bureau de contrôle lorsque le type de construction l'exige.

Tous les éléments qui sont donnés dans le présent guide sont à prendre comme des ordres de grandeur pour aider à la conception et à la prise de décision : en aucun cas, ils ne peuvent remplacer les études qu'il est indispensable de réaliser pour obtenir un dimensionnement correct de tous les éléments d'une construction.

En montagne, construire un bâtiment qui se voudrait durable nécessite sans doute une démarche réfléchie et responsable. C'est encore plus vrai lorsqu'on construit dans une zone soumise à un risque d'avalanche où les efforts et les dimensionnements à prendre en compte sont bien supérieurs à ceux que l'on considère d'une manière habituelle.

Bâtiments existants

Pour ce qui concerne les bâtiments existants, on peut bien sûr s'inspirer des éléments indiqués pour les bâtiments neufs. Mais obtenir le même niveau de protection n'est pas toujours possible, surtout pour des bâtiments largement ouverts à l'amont et dont les structures principales n'ont pas été dimensionnées en conséquences. En la matière, on ne peut pas fournir de recettes générales et on ne peut que donner quelques exemples à titre d'information.

Défense passive

Pour le problème des bâtiments exposés à des avalanches coulantes, s'il n'est pas possible, ou pas souhaité, de renforcer, et bien souvent d'occulter, les façades exposées, on peut envisager de construire un ouvrage de défense avancé comme :

- au Planet, devant l'ancien hôtel, avec au fil des ans des ouvrages de plus en plus colossaux
- au Siseray à Vallorcine, le mur d'arrêt construit dans les années 50 (et dont certains doutent de son efficacité)
- à Val d'Isère, le mur que l'on trouve devant l'UCPA
- la "tourne" que l'on construit parfois devant un chalet en bois, mais dont ne sait pas trop si elle sera réellement efficace ou si elle ne servira pas de tremplins aux avalanches
- l'étrave que l'on rajoute devant un bâtiment mais qui risque de renvoyer l'avalanche contre l'entrée du voisin

En fait ces ouvrages, qui ressortent de la défense permanente passive, fondée sur une logique de la déviation, du freinage ou de l'arrêt, ne sont efficaces que s'ils sont judicieusement conçus et implantés. Ce sont des ouvrages qui imposent le recours à des spécialistes. Par ailleurs, dans la plupart des cas, ils laissent intacts le problème des aérosols.

Photo 7-26. Vallorcine – "le mur"



Photo 7-27. Val d'Isère – "le mur" de l'UCPA



Photo 7-28. Val d'Isère – "la tourne"



Photo 7-29. Val d'Isère – "l'étrave"



Source : Photos Marc Givry

Pour le souffle des aérosols, si on reste dans des valeurs "modérées", de l'ordre de 5 kPa (500 kg/m²), des solutions de renforcement des ouvertures peuvent s'envisager. Par exemple, on peut remplacer des vitrages, rajouter des volets, ou fermer des coursives comme cela a déjà été réalisé sur des bâtiments à Val d'Isère et à La Plagne.

Mais lors de ce type d'intervention, il faut garder à l'esprit que les travaux de renforcement contre les avalanches ne doivent pas détériorer les conditions de sécurité pour les risques d'incendie et de panique, tout particulièrement pour ce qui ressort des issues et dégagements, ainsi que des problèmes de désenfumage : il serait en effet un peu illusoire en terme de sécurité de chercher à se prémunir contre un risque d'avalanche, qui est somme toute un risque saisonnier, en aggravant le risque d'incendie et de panique qui est lui un risque permanent, "tout temps, toutes saisons".

Défense active

Une autre voie, qui a été développée en France à la fin du XIX^e siècle, et qui s'est généralisée depuis, consiste à s'attaquer aux avalanches directement dans la zone d'accumulation en fixant le manteau neigeux ou en modifiant la répartition des accumulations. Pour cela, on s'efforce de reboiser, de terrasser des banquettes, de mettre en place des murs, des râteliers, des claies, des filets, des barrières à neige ou des ouvrages à vent.

Mais pour ce qui concerne la défense active, on doit signaler :

- qu'elle n'est pas possible partout, certains couloirs étant impossibles à équiper
- qu'elle nécessite un investissement considérable, puisqu'il faut traiter des surfaces étendues, dans des pentes raides avec un accès difficile
- qu'elle est très loin d'offrir une sécurité complète, notamment si les ouvrages sont pleins ou si la neige a une consistance très faible

En d'autres mots, "il est minuit, dormez bien bonnes gens, les paravalanches veillent" n'est sans doute pas une incantation que l'on entendra souvent en montagne par les nuits de grande neige.

Défense temporaire

La dernière des défenses contre les avalanches consiste en des mesures temporaires prises lorsqu'il y a situation de risque. Ce peut être des mesures d'interdiction, d'évacuation ou de consignation. Elles nécessitent une appréciation et une décision humaines, prise en général par le Maire pour ce qui concerne les bâtiments, après avis d'une commission de sécurité.

- Les mesures d'interdiction peuvent couvrir toute la saison d'hiver pour certains bâtiments très vulnérables ou particulièrement exposés. Elles peuvent être aussi plus ponctuelles et ne couvrir que certains secteurs pendant un temps limité.
- Les mesures d'évacuations nécessitent de prévoir des plans de secours et d'intervention. Elles ne sont en général pas faciles à prendre et elles ont toujours des conséquences très importantes (par exemple, on peut se demander s'il est préférable de laisser les gens dans un bâtiment exposé, ou de les évacuer en les mettant sur des routes où il y a aussi des risques importants ?).
- Les mesures de consignation supposent que les lieux choisis soient des lieux sûrs, c'est-à-dire des bâtiments bien construits ou bien protégés, ce qui nous ramène en boucle aux sujets suivants "Efforts sur les constructions", "Réponses constructives"... sur le thème "Mieux vaut prévenir que guérir"...

Aspect réglementaire

Pour les bâtiments existants situés dans les zones à risque, la puissance publique peut imposer des travaux de prévention qui sont mis à la charge des propriétaires, exploitants ou utilisateurs, toutefois ces travaux ne peuvent porter que sur des aménagements limités dont le coût est inférieur à 10 % de la valeur vénale du bien. Mais bien sûr, rien n'interdit à un particulier de chercher à se protéger au mieux dans la limite de ses moyens et à la condition que cette protection n'aggrave pas le risque sur autrui ni n'en génère de nouveaux.

Document 8-01.

Extrait de "Tout savoir sur la lutte contre les avalanches en Valais"

*Editorial de Bernard Bornet, Conseiller d'Etat,
Chef du département de l'environnement et de l'aménagement du territoire*

.... La cosmogonie moderne a reporté sur l'Etat une partie des responsabilités matérielles qui incombent hier au ciel. Transfert opportun, bien sûr. Mais je suis inquiet parfois de voir à quel point les citoyens s'en remettent à l'Etat pour calmer toutes leurs inquiétudes, et réaliser leurs souhaits. Comme si l'Etat devait et pouvait tout faire. Cette croyance révèle une naïveté qui ne le cède en rien à celle de la vieille femme invoquant sainte Barbe pour éloigner l'orage !

J'en viens aux avalanches. L'Etat a réalisé d'importants travaux destinés à protéger les voies de communication, ainsi que des zones d'habitat. Il s'agit d'un dispositif de base qui a pour but d'écarter les menaces récurrentes et graves qui pèsent sur certaines régions sensibles. Mais il ne s'agit en aucun cas d'une assurance tous risques, et il n'est pas question que l'Etat entreprenne des travaux dans chaque zone exposée du territoire. Ce serait une ambition démesurée, et d'ailleurs irréalisable.

Il faut que nous tous, qui connaissons ce pays avec ses caractères et ses accidents, soyons attentifs au danger que constituent les avalanches et au moyen d'en limiter les conséquences....

REFLEXIONS D'URBANISME

Pour aborder le problème de la construction en zone d'avalanche sur le plan de l'urbanisme, on peut prendre deux exemples assez contrastés :

- Notre Dame des Neiges et le hameau du Joseray à Val d'Isère
- un lotissement typique de montagne

Photos 8-01 8-02. [Notre Dame des Neiges et le hameau du Joseray, Val d'Isère](#)



Source : Photos Marc Givry

D'un côté, une communauté montagnarde exposée à un risque d'avalanche se regroupe et se blottit en profitant de toutes les subtilités du terrain. Sur le plan symbolique, Notre Dame des Neiges donne l'impression de protéger le hameau, mais dans la réalité, c'est une butte de terrain qui dévie les avalanches tout en servant de promontoire à la chapelle : en tout cas dans ces images, le symbole et la réalité se rejoignent.

Photo 8-03 [Lotissement typique de montagne](#)



Source : Photo Marc Givry

De l'autre, des individus, soumis au même risque, voire à un risque encore supérieur, s'implantent "chacun chez soi" et "bien exposé" suivant les bonnes règles qui en général régissent les lotissements pavillonnaires des banlieues de nos villes. Seule particularité, ils se retrouvent "à l'ombre" de râteliers paravalanches qui sont censés les protéger. De la sorte, ils illustrent à la perfection les deux aspirations d'une époque : vouloir la liberté la plus totale, tout en ayant la sécurité la plus absolue.

La liberté la plus totale est bien sûr individuelle. Par contre, la sécurité la plus absolue sera assurée par la collectivité. Mais dans les faits, il ne s'agit plus de symbole, ni de réalité, plutôt de mythes. En effet, la sécurité absolue n'existe que rarement, et à peu près jamais en montagne. La liberté totale restera donc pendant longtemps encore un bel argument publicitaire, mais sans doute pas une réalité construite.¹⁶

¹⁶ Quoique la question puisse parfois se poser : un géologue lucide, qui gère des problèmes de risques naturels, indiquait que le tank était sans doute la bonne réponse pour répondre aux aspirations à la sécurité absolue avec la liberté et la mobilité la plus totale. De la sorte, faire de l'urbanisme reviendrait à gérer des colonnes blindées ...

Dans ce qui suit, on donnera quelques indications sur la prise en compte du risque avalanche sur le plan de l'urbanisme, c'est-à-dire sur le plan d'une approche collective du problème. Nous ne donnerons pas de "règles" formulées dans un jargon spécialisé, mais plutôt des réflexions, qui s'appuient avant tout sur le bon sens et les pratiques en usage.

Dispositions d'ensemble

Sur le plan de l'implantation des constructions, on trouve souvent les propositions suivantes :

- les regroupements de bâtiments se protégeant mutuellement et protégeant les zones de circulation ou de stationnement seront privilégiés
- l'implantation, l'orientation et la forme des bâtiments tiendront compte du sens de propagation du phénomène
- l'implantation, la forme et l'orientation des bâtiments ne devront pas aggraver les risques pour les propriétés voisines

Regroupement des bâtiments

Le regroupement des bâtiments fait partie des réponses ancestrales à la question. Il s'est traduit par deux types de dispositions :

- une disposition en ligne, parallèlement au sens d'écoulement de l'avalanche, seul l'immeuble le plus amont étant renforcé. Pour que ce dispositif soit efficace, il faut bien sûr que l'immeuble le plus amont soit construit en premier, il faut aussi que la ligne soit continue. A ce titre, on estime souvent que le vide entre deux constructions doit être inférieur à 10 m
- une disposition en étrave, seules les façades latérales du groupement étant renforcées. Là aussi, une telle disposition implique une réalisation avec un ordre logique, les bâtiments "protecteurs" étant terminés avant les immeubles "protégés". Ce type de réalisation a l'avantage d'offrir des circulations protégées à l'intérieur du groupement (on pourrait dire de l'enceinte)

Orientation et formes des bâtiments

En zone d'avalanche, il semble évident de tenir compte du sens d'écoulement pour orienter et mettre en forme les bâtiments. Parfois dans des zones exposées à un risque important d'avalanche, on trouve des immeubles avec des dispositions en U. Cette organisation se révèle très intéressante car elle crée des espaces publics internes. Cependant, si le U est ouvert à l'avalanche, et donc dans le mauvais sens, le danger et donc les dégâts potentiels sont amplifiés.

En fait, ces dispositions, qui ne sont pas si rares qu'on pourrait le croire, dénotent une absence totale de sensibilité au phénomène et aux risques encourus : manifestement dans ce type d'exemple, l'avalanche n'existait pas. Fort heureusement, il existe aussi quelques bons exemples où des dispositions en U sont placées dans le bon sens.

Photos 8-04 8-05. Immeubles à Méribel : disposition en U (dans le bon sens)



Source : Photos Cemagref

Aggravation du risque pour les voisins

On demande souvent dans les règlements que "l'implantation, la forme et l'orientation des bâtiments n'aggravent pas les risques pour les propriétés voisines". C'est sans doute aussi une obligation qui découle du Code Civil, voire des règles d'une urbanité minimale : ne pas nuire à son voisin.

Toutefois, cette recommandation n'est pas toujours facile à mettre en œuvre, surtout dans des secteurs déjà construits et plutôt denses.

Photos 8-06 8-07. [Une belle étrave qui renvoie l'avalanche chez le voisin](#)



Source : Photos Marc Givry

Exutoire de l'avalanche

Pour répondre au problème de l'aggravation des risques chez les autres induit par un aménagement chez soi, un bon aménagement devrait s'efforcer de ménager des exutoires pour les avalanches.

Dans les règlements ou les recommandations, on trouve parfois l'une des préconisations suivantes :

- coefficient d'emprise au sol (CES) des constructions, remblais ou autres dépôts inférieur à 20 % de la surface de la zone bleue
- séparation des groupements de construction par une bande inconstructible d'au moins 50 m de largeur

Dispositions particulières à chaque construction

En ce qui concerne les dispositions particulières à chaque construction, on trouve souvent les préconisations suivantes :

- les accès et entrées seront aménagées sur les façades non exposées
- les façades directement exposées ne devront pas avoir de redans ou d'angles rentrants pouvant augmenter localement les surpressions
- le stockage de produits polluants ou dangereux n'est autorisé qu'à l'abri d'enceintes résistant aux efforts
- la distribution des locaux sera organisée de telle façon que les pièces de séjour soient situées dans les parties les moins exposées, les locaux annexes pouvant supporter de faibles ouvertures soient situés dans les parties les plus exposées

Accès et entrée

Le problème des accès et des entrées est un problème important. Il n'est pas toujours facile à résoudre tout particulièrement pour les établissements recevant du public dont les issues principales et de secours doivent être réparties "judicieusement".

Il faut toutefois avoir conscience que les issues de secours doivent rester opérationnelles après une avalanche. Cette contrainte est à prendre en compte dès le début des études d'un bâtiment.

Disposition des façades

Dans l'ensemble on déconseille de faire des angles rentrants face à l'avalanche. En effet, ces angles vont être des lieux de blocage et d'accumulation des contraintes. Toutefois, dans les prescriptions du GVA suisse, on donne des formules de majoration des efforts pour ce type de situation, la majoration pouvant aller jusqu'à 150%.

Photo 8-08. Exemple d'angle rentrant



Source : Photo Marc Givry

Stockage de produits polluants ou dangereux

Il est évident que le passage d'une avalanche ne doit pas se traduire en cascade par un autre accident ou une pollution importante due à la présence de produits polluants ou dangereux dans des enceintes non résistantes.

Cela semble relever du bon sens, mais on trouve parfois des dispositions très défectueuses sur ce plan, le plus souvent dans des installations techniques indépendantes des bâtiments, sous prétexte qu'il n'y a pas d'occupation humaine.

Distribution des locaux

La prise en compte du risque d'avalanche, avec la difficulté, voire l'impossibilité de réaliser des ouvertures sur les faces exposées, induit nécessairement une orientation marquée dans la distribution des locaux. Tout comme il existe un aval et un amont, les bâtiments qui prennent en compte ce risque se retrouvent avec un endroit et un envers bien marqué, et les distributions intérieures logiquement en découlent.

Cette conception s'oppose parfois à une conception qui privilégiait une vision panoramique à 360°. Une solution "idéale" quand on est au sommet de la montagne, mais qui pose quelques problèmes insurmontables quand on est au pied d'une pente exposée.

Photos 8-09 8-10. Val d'Isère, l'endroit et l'envers du même bâtiment



Source : Photos Marc Givry

Photo 8-11. Val d'Isère, une vision tout azimuth



Source : Photo Marc Givry

Dans le cadre de la réflexion sur la distribution et la réduction de la vulnérabilité des locaux, certains préconisent comme élément de réponse de prévoir dans les bâtiments des espaces de confinement qui seraient particulièrement protégés.

Pour cela, on pourrait s'inspirer de la notion de volume recueil qui est demandé au titre de la sécurité incendie dans les établissements de type REF, Refuges de montagne. Dans les refuges, le volume-recueil doit pouvoir recevoir la totalité des personnes présentes dans l'établissement, la densité maximale admise ne devant pas dépasser trois personnes pour deux mètres carrés.

Photos 8-12 8-13. Le Tour à Chamonix, architecte P. Vezzano : vue aval et vue amont



Source : Photos Marc Givry

A titre d'exemple, on peut citer un ensemble de chalet construit au hameau du Tour à Chamonix par l'atelier d'architecture P. Vezzano. Ces chalets indépendants, bien protégés à l'amont et ouverts à l'aval, sont tous construits sur un parking souterrain commun dont l'entrée se situe dans un secteur non exposé. Ce parking souterrain permet d'offrir un espace de confinement très protégé, ainsi qu'un accès et des entrées sécurisées en cas d'avalanche, démontrant ainsi qu'un soupçon de disposition d'ensemble permet d'offrir à chacun une réponse efficace à ses problèmes particuliers.

CONCLUSION

Au début du XXI^e siècle, pour construire en zone d'avalanche, on peut encore, comme par le passé, invoquer les Saints.

Mais on peut aussi tirer parti de l'expérience accumulée sur le sujet. Expérience que ce guide s'est efforcé de présenter. Expérience que l'on peut brièvement résumer ici.

Tout d'abord pour ce qui concerne le risque avalancheux pouvant menacer les bâtiments, on distingue deux grandes catégories : les avalanches en aérosol, les avalanches coulantes.

Pour s'informer sur ce type de risque, deux documents peuvent être consultés :

- la CLPA, Carte de Localisation Probable des Avalanches, qui indique l'enveloppe maximale des avalanches connues;
- le PPR, Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles, qui définit trois zones de construction : une zone rouge où toute construction est interdite; une zone bleue où la construction est soumise à prescriptions; une zone blanche sans restriction.

La puissance de certaines avalanches peut être colossale. On a mesuré qu'elles pouvaient atteindre des pressions d'impact ponctuelles de 1000 kPa (environ 100 t/m²).

Dans ces conditions il est quasiment impossible de construire dans la zone d'écoulement d'une avalanche, et les constructions ne sont envisageables que dans la zone d'arrêt, là où la pression de référence n'est plus que de 30 kPa (3 t/m²), ce qui reste tout de même une valeur très conséquente.

Sur le plan des matériaux et de la réponse constructive, on peut noter les points suivants :

- Les ouvrages en maçonnerie traditionnelle n'ont pas une résistance très élevée. Ce qui explique, que d'une manière systématique, toutes les constructions traditionnelles situées dans des zones d'avalanche soient protégées par des dispositifs architecturaux spécifiques : étrave, tourne, motte, défilement.
- Le béton armé, à condition de bien étudier son dimensionnement et son ferrailage, offre des possibilités techniques relativement faciles à mettre en œuvre.
- Des structures en acier ou en bois, avec des dispositions appropriées, peuvent aussi être utilisées.
- Le problème des fondations doit être étudié avec soin, le propre d'un immeuble étant de rester immobile, même dans une avalanche.
- Les ouvertures, portes et fenêtres, sont toujours délicates à traiter, et en général il vaut mieux y renoncer sur les façades directement exposées.

Si pour des ouvrages neufs, on dispose de réponses constructives adaptées, le renforcement des structures des bâtiments existants reste un réel problème et bien souvent seules des solutions extérieures peuvent être considérées. Mais la mise en place de défenses passives, telles que des étraves, des tournes ou des digues, n'est pas toujours possible.

Face au risque d'avalanche, un bâtiment doit aussi être pensé en termes d'urbanisme. Sa disposition vis à vis à des autres constructions peut être aussi importante que sa conception.

En ce début du XXI^e siècle, l'homme a appris sans doute bien des choses, mais il ne maîtrise pas tout.

Ainsi, peut être que pour construire en montagne, la principale qualité à mettre à œuvre serait de rester modeste et prudent face à l'ampleur des phénomènes.

En effet, l'expérience montre que là où une avalanche est descendue, elle redescendra, là où elle s'est arrêtée, elle dépassera...

ADRESSES UTILES

- Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
Direction de la prévention des pollutions et des risques
20 avenue de Ségur, 75302 Paris 07 SP.
<http://www.environnement.gouv.fr> <http://www.prim.net>

- Association nationale pour l'étude de la neige et des avalanches
15 rue Ernest Calvat, 38000 Grenoble.
www.anena.org

- CEMAGREF, unité de recherche érosion torrentielle, neige et avalanches
2 rue de la Papeterie, BP 76, 38402 Saint-Martin-d'Hères cedex.
www.grenoble.cemagref.fr.

- Services de la Restauration des Terrains en Montagne :
web : www.onf.fr/foret/dossier/rtml/index.htm
 - Délégation nationale: Hôtel des administrations, 9 quai Créqui 38000 Grenoble.
Tél. 04 76 86 39 78. Fax 04 76 87 48 53. rtm.national@onf.fr
 - Haute-Savoie : 6 avenue de France, 74000 Annecy.
 - Savoie : Immeuble le France, 64 quai Charles Roissard, 73026 Chambéry.
 - Isère : 42 av. Marcelin Berthelot, 38040 Grenoble cedex.
 - Hautes-Alpes : 5 rue des Silos, 05003 GAP cedex.
 - Alpes de Haute-Provence : 7 rue Monseigneur Meirieu, 04000 Digne-les-Bains.
 - Alpes-maritimes : Nice-leader Appolo, 62 route de Grenoble, 06205 Nice cedex 3.
 - Délégation Pyrénéenne : 23 bis bd Bonrepos, 31000 Toulouse, rtmnat.toulouse@onf.fr
 - Pyrénées-Orientales : 5 rue François Viete, 66100 Perpignan.
 - Ariège : 9 rue du Lieutenant Paul Delpech, 09007 Foix.
 - Hte-Garonne : 262 route de Landorthe, 31800 St-Gaudeus.
 - Htes-Pyrénées : centre Kennedy, 65013 Tarbes cedex.

- Directions Départementales de l'Equipement :
 - DDE des Alpes de Haute Provence, av. Demontzey B.P. 211, 04008 Digne-Les-Bains cedex.
 - DDE des Hautes Alpes, 3 place du Champsaur, B.P. 98, 05003 Gap cedex.
 - DDE des Alpes Maritimes, Centre Administratif Départemental, B.P. 3, 06028 Nice cedex.
 - DDE de l'Ariège, 10 rue des Salenques, 09007 FOIX
 - DDE de Haute-Corse, 8 bd Benoit Danesi, 20200 Bastia.
 - DDE de la Corse du Sud, terre plein de la Gare, 20000 Ajaccio.
 - DDE du Doubs, 6 chemin du Roussillon, 25043 Besancon cedex.
 - DDE de la Drôme, 4 place Laënnec, B.P. 1013, 26015 Valence cedex.
 - DDE de la Haute-Garonne, Cité Administrative, Bâtiment A, bd Armand-Duportal, 31074 Toulouse.
 - DDE de l'Isère, 17 bd Joseph Vallier, B.P. 45, 38040 Grenoble cedex 9.
 - DDE du Jura, 4 rue du curé Marion, B.P. 356, 39015 Lons-Le-Saunier cedex.
 - DDE de la Loire, 43 avenue de la Libération, B.P. 509, 42007 Saint-Etienne cedex 1.
 - DDE de la Haute-Loire, 13 rue des Moulins, B.P. 350, 43012 Le Puy.
 - DDE du Puy-de-Dôme, 7 rue Léo Lagrange, 63033 Clermont-Ferrand cedex.
 - DDE des Pyrénées Atlantiques, Z.I. nord, rue Jean Zay, 64000 Pau cedex.
 - DDE des Hautes Pyrénées, 3 rue Lordat, 65013 Tarbes cedex 9.
 - DDE des Pyrénées Orientales, S.D.C.E. 2 rue Jean Richepin, B.P. 909, 66020 Perpignan cedex.
 - DDE de la Savoie, Carré Curial, 73011 Chambéry.
 - DDE de la Haute-Savoie, 15 rue Henry Bordeaux, B.P. 307, 74011 Annecy.
 - DDE du Var, 244 avenue de l'infanterie de Marine, B.P. 1202, 83070 Toulon cedex.
 - DDE du Vaucluse, Cité Administrative, B.P. 1045, 84098 Avignon cedex 9.

- Services de Conseil en Architecture, Urbanisme et Environnement :
 - CAUE des Hautes-Alpes, l'Archevêché, B.P. 55, 05202 Embrun cedex.
 - CAUE des Alpes-Maritimes, 26 quai Lunel, 06300 Nice.
 - CAUE de l'Ariège, Hôtel du département, B.P. 23, 09001 Foix.
 - CAUE de Haute-Corse, 2 bis chemin Annonciade, 20200 Bastia.
 - CAUE de Corse du Sud, 30 cours Napoléon, 20000 Ajaccio.
 - CAUE du Doubs, 14 passage Charles de Bernard, 25000 Besançon.
 - CAUE de la Drome, 46 rue des Faventines, B.P. 10222, 26010 Valence.
 - CAUE de Hte-Garonne, 1 rue Matabiau, 31000 Toulouse.
 - CAUE de l'Isère, 22 rue Hébert, 38000 Grenoble.
 - CAUE du Jura, 19 avenue Jean Moulin, B.P. 48, 39002 Lons-Le-Saunier cedex.
 - CAUE de Haute-Loire, 1 place Mgr de Galard, B.P. 310, 43011 Le-Puy-En-Velay cedex.
 - CAUE du Puy-de-Dôme, 30 rue Saint-Esprit, 63000 Clermont-Ferrand.
 - CAUE des Pyrénées-Atlantiques, 22 ter rue J-J de Monaix, 64000 Pau.
 - CAUE des Hautes-Pyrénées, 6 rue Eugène Tenot, 65000 Tarbes.
 - CAUE des Pyrénées-Orientales, 11 rue du Bastion St Dominique, 66000 Perpignan.
 - CAUE de Savoie, Bât. des anciennes archives, BP 1802, 73018 Chambéry.
 - CAUE de la Haute-Savoie, 6 rue des Alouettes, BP 339, 74008 Annecy cedex.
 - CAUE du Var, 5 rue Racine, B.P. 5512, 83098 Toulon cedex.
 - CAUE du Vaucluse, 4 rue Petite Calade, 84000 Avignon.

GLOSSAIRE

CES	Coefficient d'emprise au sol
CLPA	Carte de localisation probable des avalanches
DRA	Détecteur routier d'avalanche
ELS	Etat limite de service
ELU	Etat limite ultime
PER	Plan d'exposition aux risques
PPR	Plans de prévention des risques naturels prévisibles
PZEA	Plan des zones exposées aux avalanches
REF	Refuge de montagne (type REF dans les règlements de sécurité)

SIGLES

ANENA	Association nationale pour l'étude de la neige et des avalanches
CAUE	Conseil en architecture, urbanisme et environnement
CEBTP	Centre d'étude du bâtiment et des travaux publics
CEMAGREF	Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement
CTGREF	Centre technique du génie rural des eaux et des forêts
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
DDE	Direction départementale de l'équipement
DPPR	Direction de la prévention des pollutions et des risques
EDF	Electricité de France
GVA	Bureau d'assurances du canton des Grisons (Suisse)
IFENA	Institut fédéral de l'étude de la neige et des avalanches (Suisse)
MEDD	Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
METLTM	Ministère de l'Equipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer
ONF	Office national des forêts
RTM	Restauration des terrains en montagne
UCPA	Union des centres de plein air

BIBLIOGRAPHIE

Guide neige et avalanches : connaissances, pratiques, sécurité.
Ch. Ancey - Edisud - 1996.

Tout savoir (ou presque) sur la neige et les avalanches.
Editions ANENA - Janvier 2001.

Plan de prévention des risques naturels prévisibles – guide général.
Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Ministère de l'équipement, des transports et du logement - La documentation Française - Septembre 1997.

Plan de prévention des risques naturels prévisibles – Risques d'avalanches – guide méthodologique.
Ministère de l'écologie et du développement durable, Ministère de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer, Ministère de l'agriculture de la pêche et de l'aménagement rural, Ministère de l'intérieur - La documentation Française - A paraître.

Attention avalanche !
R. Bolognesi - Editions Nathan - Janvier 2001.

Eléments de nivologie.
Centre d'étude de la neige de Météo France, Club Alpin Français, ANENA - Editions ANENA - Ré-édition novembre 2002.

The Avalanche handbook.
D. McLung et P. Schaerer – The Mountaineers (USA) - 1993

INDEX DES ILLUSTRATIONS

Documents

Document 1-01.	Extrait de "Les noms du paysage alpin",.....	8
Document 1-02.	Extrait de l'Histoire de Vallorcine	10
Document 1-03.	Extrait de CONSTRUIRE EN ZONE BLEUE	13
Document 2-01.	Extrait de : Guide Neige et Avalanches, Christophe Ancey coordonnateur	15
Document 2-02.	"Désastres causés par la Chute des Grandes Neiges ou Avalanches"	16
Document 2-03.	Extrait de : Instruction n°12 du 1° avril 1886, signée Prosper Demontzey	19
Document 2-04.	Exemple de signalement des avalanches.....	20
Document 3-01.	"La période de retour" – Extrait d'un document du bureau Toraval.....	28
Document 5-01.	Avalanches de Lourtier des 20 et 21 février 1999, témoignage.....	36
Document 5-02.	Avalanche d'Arinsal en Andorre du 8 février 1996, témoignage	39
Document 8-01.	Extrait de "Tout savoir sur la lutte contre les avalanches en Valais"	66

Cartes et figures

Carte 3-04.	Carte des aléas – Commune de Thollon les Memises (Haute-Savoie).....	28
Carte 4-01.	Extrait de la carte de localisation probable des avalanches CLPA	33
Carte 4-02.	Exemple de plan de zonage d'un PPR	34
Figure 6-01.	Profil en long type d'un couloir d'avalanche.....	42
Figure 6-02.	Variation des pressions de référence à l'intérieur de la zone bleue.....	44
Figure 6-03.	Hauteur d'application – Bâtiment non submergé.....	45
Figure 6-04.	Hauteur d'application – Bâtiment submergé	45
Figure 6-05.	Effet d'un mur d'aile	48
Figure 6-06.	Effets d'un aérosol	49
Figure 7-01.	La réponse traditionnelle : exemples à Peisey-Nancroix.....	51
Figure 7-02.	Stabilité d'un mur en fonction de son épaisseur et de sa hauteur	51
Figure 7-16.	Gare du Pic du Midi à la Mongie – détail de la structure.....	57

Photographies

Photo 1-01.	E.Guéraud L'avalanche vallée de Chamouny Lithographie 1852.....	7
Photos 1-03 1-04.	Notre Dame des Neiges, hameau du Joseray, Val d'Isère	9
Photo 1-05.	Réalp, Suisse, "l'église et le bouclier"	9
Photos 1-06 1-07.	"dévier" : Vallorcine, l'église et sa tourne.....	10
Photo 1-08.	"faire face" : le Fort de l'Enlon.....	11
Photos 1-09 à 1-11.	"faire face" : Mario Botta, l'église de Mogno	11
Photo 1-12.	"se défiler" : le fort de Mallemort – Système Séré de Rivières	12
Photo 1-13.	"se défiler" : Christian Durupt , la porte de la Vanoise à Rosuel	12
Photo 2-01.	Avalanches de Barèges du 2 février 1907 – Avalanche du Theil	17
Photo 2-02.	Avalanche du Midaou du 31 janvier 1897	18
Photo 2-03.	Maison enfouie sous la neige à l'entrée de barèges le 4 février 1897.....	18
Photo 2-04.	Même maison quinze jours après l'accident le 19 février 1897	18
Photo 2-05.	Avalanche des Nantillons Cliché Tairraz 2 avril 1914	21
Photo 2-06.	Avalanche du Planet Cliché Tairraz décembre 1919	21
Photo 2-07.	L'immeuble du Planet en mars 2002.....	21
Photo 2-08.	Le Sanatorium Guébriant à Passy après l'avalanche du 31 janvier 1942	22
Photo 2-09.	Ouvrage de protection de l'immeuble de Guébriant	22
Photo 2-10.	Front de l'avalanche des Posettes 2 février 1978	23
Photo 2-11.	Chalets endommagés (5 morts)	23
Photo 2-12.	Chamonix Le Tour au même endroit en mars 2002	23
Photo 2-13.	Montroc l'avalanche du Péclerey du 9 février 1999	24
Photo 2-14.	Montroc l'avalanche du Péclerey du 9 février 1999	24

Photo 2-15.	l'avalanche de Taconnaz du 11 février 1999	24
Photo 3-01.	Avalanche aérosol – Pralognan (Savoie)	26
Photo 3-02.	Avalanche coulante – Oz-en-Oisans	26
Photos 3-05 à 3-07.	Reboisement sur banquettes, Barrière à vent, Râteliers	29
Photos 3-08 3-09.	Galleries, Etrave	30
Photos 3-10 3-11.	Déflcteurs, Digue d'arrêt	30
Photo 3-12.	Détecteur Routier d'Avalanche	30
Photos 5-01 5-02.	Avalanche de Taconnaz du 16 avril 1984	35
Photos 5-03 à 5-06.	Avalanches de Lourtier des 20 et 21 février 1999	35
Photo 5-07.	Lourtier mars 2002 la fruitière et la salle polyvalente	36
Photos 5-08 à 5-11.	Le Schuss à Barèges, avalanche en aérosol du 31 janvier 1986	37
Photos 5-12 à 5-16.	Avalanche du Bourgeat du 26 décembre 1993	38
Photos 5-17 5-18.	Avalanche d'Arinsal en Andorre du 8 février 1996	40
Photo 6-01.	Bunker du site expérimental de la Vallée de la Sionne en Suisse	42
Photo 6-02.	Aérosol site expérimental du Col d'Ornon	46
Photo 6-03.	Avalanche des Lanches à Peisey Nancroix en 1995	47
Photo 6-04.	Vue des bois transportés par l'avalanche du 29 décembre 1923	50
Photos 7-02 7-03.	"Paysage d'avalanche" à Barèges	52
Photo 7-04.	Les Lanches – Peisey Nancroix	52
Photo 7-05.	Val d'Isère, un voile béton face à l'avalanche	53
Photos 7-06 7-07.	"Béton/pierre et béton/bois" à Val d'Isère	53
Photo 7-08.	Paroi en bois contre les chutes de pierres	54
Photos 7-11.	Exemple de bâtiment en bois massif	55
Photos 7-13 7-14.	Gare du Pic du Midi à la Mongie	56
Photo 7-15.	Gare du Pic du Midi à la Mongie – vue intérieure	56
Photo 7-17.	Le "Schuss" à Barèges – Avalanche du 31.01.1986	58
Photos 7-18 7-19.	Immeuble soumis à un risque d'aérosol à Barèges	59
Photos 7-20.	Val d'Isère panneau coulissant bois renforcé par une tôle à l'intérieur	60
Photos 7-21.	Gare du Pic du Midi à la Mongie une porte résistant à 10 kPa (1 t/m²)	60
Photos 7-22 à 7-24.	Exemples d'ouvertures défilées	61
Photo 7-25.	Barèges – un "défilement" à 45°	61
Photo 7-26.	Vallorcine – "le mur"	64
Photo 7-27.	Val d'Isère – "le mur" de l'UCPA	64
Photo 7-28.	Val d'Isère – "la tourne"	64
Photo 7-29.	Val d'Isère – "l'étrave"	64
Photo 8-01 8-02.	Notre Dame des Neiges et le hameau du Joseray, Val d'Isère	67
Photo 8-03.	Lotissement typique de montagne	67
Photos 8-04 8-05.	Immeubles à Méribel : disposition en U (dans le bon sens)	68
Photos 8-06 8-07.	Une belle étrave qui renvoie l'avalanche chez le voisin	69
Photo 8-08.	Exemple d'angle rentrant	70
Photos 8-09 8-10.	Val d'Isère, l'endroit et l'envers du même bâtiment	70
Photo 8-11.	Val d'Isère, une vision tout azimut	71
Photos 8-12 8-13.	Le Tour à Chamonix, architecte P. Vezzano : vue aval et vue amont	71

TABLE DES MATIERES

PREFACE	1
SOMMAIRE	5
INTRODUCTION	7
APERÇU HISTORIQUE	15
1634 Désastres causés par la Chute des Grandes Neiges ou Avalanches.....	16
1860 à Barèges le Capitaine du Génie de Verdal	16
1860 – 1882 la Restauration des Terrains en Montagne	19
1900 le signalement des avalanches.....	20
1914 – 1919 clichés Tairraz	21
1942 le Sanatorium Guébriant à Passy	22
1978 l'avalanche des Posettes au Tour	23
1999 début février : des conditions exceptionnelles.....	24
LE RISQUE AVALANCHEUX	25
Types d'avalanches et effets potentiels.....	25
Avalanche	25
Une classification des avalanches	25
L'avalanche en aérosol.....	25
L'avalanche coulante	26
Définition de l'aléa	27
L'aléa fort	27
L'aléa moyen.....	27
L'aléa faible.....	27
Protections collectives	29
Les protections actives permanentes.....	29
Les protections actives temporaires.....	30
Les protections passives permanentes.....	30
Les protections passives temporaires.....	31
Risque résiduel	31
INFORMATION DISPONIBLE	33
Carte de localisation probable des avalanches.....	33
Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles	34
IMPACT SUR LES CONSTRUCTIONS.....	35
Avalanche coulante	35
16 avril 1984 Tacconnaz, vallée de Chamonix	35
20 et 21 février 1999 Lourtier, Canton du Valais en Suisse	35
Avalanche en aérosol	37
31 janvier 1986, immeuble Le Schuss à Barèges	37
26 décembre 1993, le Bourgeat, les Houches	38
8 février 1996, Arinsal en Andorre.....	39
EFFORTS SUR LES CONSTRUCTIONS	41
Pression de référence.....	41
Avalanche coulante.....	41
Avalanche en aérosol	43
Variation des valeurs	44
Hauteur d'application.....	45
Avalanche coulante.....	45
Avalanche en aérosol	46
Direction d'application.....	47

Effets à prendre en compte.....	48
Avalanche coulante.....	48
Avalanche en aérosol.....	49
Impact ponctuel	50
Combinaisons d'actions.....	50
REPONSES CONSTRUCTIVES	51
Constructions en maçonnerie traditionnelle.....	51
Constructions en béton armé	53
Constructions en bois	54
Constructions en acier	56
Problématique des ouvertures	58
Châssis ouvrants.....	58
Vitrages fixes	59
Panneaux pleins	60
Ouvertures défilées	61
Éléments secondaires.....	62
Souches de toiture	62
Passées de toiture	62
Balcons, garde corps	62
Clôtures	62
Récapitulation des résistances	63
Bâtiments existants	64
Défense passive.....	64
Défense active.....	65
Défense temporaire	65
Aspect réglementaire	65
REFLEXIONS D'URBANISME.....	67
Dispositions d'ensemble.....	68
Regroupement des bâtiments	68
Orientation et formes des bâtiments	68
Aggravation du risque pour les voisins	69
Exutoire de l'avalanche.....	69
Dispositions particulières à chaque construction.....	69
Accès et entrée	69
Disposition des façades	70
Stockage de produits polluants ou dangereux	70
Distribution des locaux.....	70
CONCLUSION	73
ADRESSES UTILES	75
GLOSSAIRE.....	77
SIGLES	77
BIBLIOGRAPHIE	77
INDEX DES ILLUSTRATIONS	78
TABLE DES MATIERES	80