

# Chapitre 8

## Génie paravalanche, viabilité hivernale

Christophe ANCEY

Même devenue au  $xx^e$  siècle, un atout économique, la neige continue de poser de nombreux problèmes aux hommes, qui ont au cours du temps tenté de réduire son emprise et ses méfaits. Symboliquement, en France, on peut séparer les différentes étapes de cette lutte par deux dates : 1860, qui marque la création des services de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) et 1970, avec la catastrophe de Val-d'Isère. Ce chapitre traite des différentes techniques couramment utilisées aujourd'hui en France dans la lutte contre les avalanches et les congères et précise le cadre réglementaire associé.

### 8.1 Problèmes liés à la neige

#### 8.1.1 Problèmes et quelques remèdes des temps jadis

Autrefois, l'habitat permanent connaissait l'emprise de la neige durant de longs mois (voir chap. 1), était quelquefois exposé à une activité avalancheuse et il était nécessaire de construire dans les endroits les plus sûrs, de préserver la forêt, ce qui n'était pas toujours suffisant pour éviter des catastrophes. Au cours des derniers siècles, de nombreux villages ont ainsi été touchés, voire rasés par des avalanches [1] :

- 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’Ayguatébia) 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 Giettaz, 5 morts aux Houches (Haute-Savoie), 10 morts à Valsenestre dans l’Oisans (Isère) ;
  - 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-Colomban-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 et 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).

Dans quelques cas, la seule parade consistait à abandonner le village pour un autre endroit ; le plus souvent, on déplaçait les bâtiments les plus exposés. Parfois, on construisait des ouvrages de défense [2], comme à Vallorcine, où une étrave fut construite pour protéger l’église et le presbytère en 1722 et renforcée en 1843. Les routes d’accès étaient

fort exposées aux avalanches, ce qui entravait encore la circulation rendue déjà pénible par l'enneigement et ce qui plus rarement coûta la vie à quelques malheureux voyageurs à pied. Face à la neige et à ses dangers, on s'adaptait, on limitait les déplacements, on évitait les zones à risques. . .

### 8.1.2 Lutte contre les avalanches

En 1860, sous le Second Empire, à la suite de nombreuses calamités naturelles, une loi donna naissance aux services de Restauration des Terrains en Montagne, dépendant de l'administration des Eaux et Forêts<sup>1</sup>. Leur mission principale se fixa tout d'abord sur le reboisement des zones sensibles, la correction des torrents et la lutte contre l'érosion des versants (par exemple, au mont Aigoual). Progressivement, les services RTM ont pris en charge, entre autres, les travaux de protection contre les avalanches, essentiellement en reboisant les versants exposés. Ainsi, les RTM se substituèrent aux sapeurs du génie militaire sur le site de Barèges (Hautes-Pyrénées), qui fut le premier en France à bénéficier d'une défense active contre les avalanches [3]. Barèges, village et station thermale, est bâti dans une gorge à 1250 m d'altitude. Il est fortement exposé aux avalanches qui descendent des ravins dominant le village ; les villageois eurent à souffrir des avalanches durant le XIX<sup>e</sup> siècle à de nombreuses reprises : 1803, 1811, 1823, 1842, 1855, 1856, 1860, 1879, 1882, 1886, 1889, 1895, 1897 [4]. À ce propos, l'ingénieur Lomet<sup>2</sup> note au cours d'un voyage à Barèges en 1794, que c'est le déboisement qui est à l'origine des catastrophes récentes : « Autrefois, toutes les montagnes qui dominant Barèges étaient revêtues de bois de chêne jusque vis-à-vis de la vallée d'Escoubous. 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 frémi dans leurs habitations de la peur d'être emportés avec elle par ces neiges, dont ils provoquent obstinément la chute. » (voir aussi chap. 1). La présence d'un hôpital militaire dans une zone exposée allait entraîner les premières études sur la protection contre les avalanches, la recherche et la mise en œuvre des techniques adéquates. Le capitaine du génie de Verdal soumit à l'état-major les premières propositions en 1839, puis 1843, qui restèrent lettre morte. Il fallut attendre l'avalanche catastrophique de 1860 pour que le génie consacra ses efforts à la mise en place de moyens de défense. Les travaux entrepris sur trente années furent gigantesques : séries de banquettes (sur 1,22 ha), forêt artificielle (7 750 pieux enfoncés), plate-forme en maçonnerie, 33 barrages en pierres sèches, etc.

Certaines de ces méthodes étaient anciennes, et déjà connues dans les Alpes suisses<sup>3</sup>, d'autres (comme la forêt artificielle) étaient à l'état embryonnaire ; toutes allaient pouvoir être testées sur le site de Barèges sur plusieurs années. La stratégie adoptée par les concepteurs était d'empêcher le glissement du manteau neigeux en altitude, et non de freiner ou d'arrêter l'avalanche. Il s'avéra que la forêt artificielle était inefficace et fragile (elle fut arrachée en moins de dix ans) tandis que les barrières à lames jointives furent arrachées en moins de deux ans par les vents violents qui soufflent sur les crêtes. En revanche, banquettes et plates-formes eurent les effets escomptés : fixer le manteau neigeux et séparer la zone d'accumulation en panneaux indépendants de telle sorte que l'instabilité de l'un d'eux n'entraîne pas dans son glissement les autres. Parallèlement, les services

1. Jusqu'en 1877, le ministère de tutelle était celui des Finances ; après cette date, c'est le ministère de l'Agriculture qui les prit en charge.

2. Cité dans [4].

3. En s'inspirant des techniques utilisées en Suisse, l'ingénieur Lomet notait dès 1794 : « Ce qu'il faut, dans cette situation, ce sont des forts, des bastions en pierres sèches, par étages de hauteur en hauteur, pour couper et diviser la neige. » [4].

RTM entreprenaient un colossal effort de reboisement (essentiellement des résineux : pins noirs d'Autriche, mélèzes et épicéas...), qui était le principal remède préconisé contre les avalanches.

En 1892, l'administration des Eaux et Forêts prit la relève du génie militaire sur le site de Barèges : de nouvelles banquettes furent construites dans les versants exposés qui n'en étaient pas encore pourvus (en tout 50 ha traités), les réfections des plantations (250 ha) sont poursuivies sans relâche. Le reboisement des zones sensibles allait être la priorité des services RTM pendant de nombreuses années : à Barèges, Celliers, Saint-Colomban-des-Villard, etc. des *séries domaniales* sont constituées. Jusqu'à la seconde guerre mondiale, contrairement à la Suisse, il n'y a pas eu en France une volonté politique d'organiser une lutte systématique<sup>4</sup>, contre les avalanches, d'une part à cause du faible enjeu et du faible poids économique de la montagne française, mais également à cause du coût exorbitant des travaux de correction (réalisés à la main et à la pioche). Le reboisement était donc amplement considéré comme la meilleure politique globale de prévention [3]. Progressivement, après la première guerre mondiale apparut la nécessité de maintenir ouverts les grands axes routiers : la ligne de chemin de fer de Maurienne, certains cols (par exemple, le Lautaret à 2050 m) furent déneigés. Le développement du tourisme hivernal après la seconde guerre mondiale incita à l'extension des travaux de protection (défense rapprochée : galerie, tourne...). La voisine Suisse fut le grand modèle : le service forestier helvétique avait de longue date assuré la direction des travaux de défenses<sup>5</sup>. L'enjeu était bien plus important qu'en France : à dominante montagnaise, la Suisse possédait de nombreuses lignes de chemins de fer exposées, des centres de tourisme alpin parmi les plus prestigieux (Saint-Moritz, Davos, Zermatt...) et en outre il y avait la volonté au plus haut niveau (légitimée par la politique de défense de la Confédération) de maintenir ouverts les grands axes routiers et ferroviaires ainsi que les principaux cols (Gothard, Simplon, Oberalp, Bernina...). C'est ainsi qu'avait été créé en 1931 le premier laboratoire de la neige, l'IFENA, à Davos au Weissfluhjoch, où exerçait notamment le célèbre alpiniste André Roch, que certains surnommèrent « le père des avalanches ».

En 1946, des forestiers français rendaient visite à l'Institut et s'informaient des techniques employées pour l'étude de la neige (sondage par battage...), pour la sécurité des pistes (déclenchement artificiel), des moyens de défense (tourne mais surtout claies), des méthodes de déneigement (chasse-neige)... [5]. À la même époque, se développaient en France des recherches scientifiques sur le sujet : ainsi, une collaboration entre le centre technique forestier (CTF), la Météorologie nationale et EDF avait conduit à la création en 1954 du centre de documentation nivo-glaciologique (CEDONIGLA), qui menait ses propres expériences depuis la fin des années cinquante au col de Porte.

En février 1970, la catastrophe du chalet de l'UCPA à Val-d'Isère, puis celle de Passy, émut l'opinion publique et fut le symbole de la défaillance du système français en matière de protection. Aussitôt, le gouvernement nomma une commission interministérielle d'enquête ; dès octobre 1970, la commission Saunier proposa la création de l'association nationale pour l'études de la neige et des avalanches (ANENA), de la mise en place de la division « nivologie » au CTGREF (devenu le Cemagref) et du centre d'études de la neige [6, 7]. On entre alors en France dans la période moderne de la lutte contre les avalanches.

---

4. Il faut noter toutefois que, de manière sporadique, plusieurs dispositifs de protection ont été construits ; citons notamment l'exemple de Chamonix dès 1924 (Jeux Olympiques).

5. Il existait auparavant en Suisse une grande tradition en la matière, puisqu'une grande partie du pays est montagnaise et chaque village se défendait comme il pouvait contre les avalanches, entreprenant parfois parfois des ouvrages de défense [2].

### 8.1.3 Problèmes actuels

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, en montagne, l'augmentation de la fréquentation hivernale, l'intensification des infrastructures routières, le développement de nouvelles zones urbanisées ont accru la nécessité d'assurer non seulement une protection des populations et activités humaines mais également la libre circulation quotidienne : il apparaît presque intolérable au citoyen partant aux sports d'hiver que la route soit bloquée à cause de la neige ou des avalanches. Que quelques touristes soient coupés dans une station à cause des chutes de neige, et la presse ne manquera pas d'évoquer les « naufragés de la neige ». En même temps que la neige, encore vue au début ce siècle comme une contrainte naturelle parfois une calamité, s'est progressivement transformée en « or blanc » par la secrète alchimie du tourisme, il devenait de plus en plus inacceptable pour l'homme que cet atout économique soit également accompagné de nuisances et de contraintes en termes de sécurité, de viabilité ou d'urbanisme. Se prémunir contre ces nuisances exige des collectivités locales et de l'État de lutter sur plusieurs plans bien distincts :

1. Les avalanches : il s'agit d'assurer la protection du patrimoine (zones urbanisées, équipements, forêts...) et des activités humaines (circulation, domaine de ski). Malgré l'importance des moyens mis en œuvre, des accidents ont eu lieu :
  - des *habitations* ont été endommagées ou détruites à la suite de situations météorologiques ou d'avalanches exceptionnelles :
    - 1970 : l'hiver catastrophique avec 39 morts à Val-d'Isère, à Lanslevillard (8 morts) ainsi que Bonneval, Chamonix, la Giettaz ;
    - 1978 : le Queyras, le Briançonnais, la vallée de Névahe sont touchés en janvier (nombreux dégâts) puis en février vient le tour de la Haute-Savoie (10 morts dans la vallée de Chamonix),
    - 1981 : après la tempête de janvier, de nombreux villages dans les Alpes du Nord sont atteints : Saint-Colomban-des-Villards, Saint-Étienne-de-Cuines, La Morte, Clavans... 2 morts et des millions de francs de dégâts ;
  - des *domaines skiables* ont pu être concernés, causant parfois des accidents mortels :
    - 8 mars 1988 : deux skieurs sont emportés par une avalanche sur une piste balisée (Corrençon),
    - 21 novembre 1992 : une avalanche ensevelit 10 personnes ; malgré la rapidité des secours, 7 décèdent (Val-Thorens) ;
  - les *voies d'accès* sont parfois coupées par des avalanches, les accidents sont très rares depuis 1970 :
    - 2 février 1978 : cinq automobilistes sont ensevelis par une avalanche près d'Argentière dans la vallée de Chamonix,
    - 12 mars 1981 : l'avalanche emporte un car et une voiture qui reliaient Argentière à Vallorcine. Par chance, aucune victime,
    - du 13 au 14 février 1990, 3 voitures sont emportées (12 personnes, 1 mort),
    - à l'étranger, un car est emporté le 2 mars 1985 près de Zermatt (11 morts). Le 1<sup>er</sup> mai 1992, un car et une voiture sont emportés par une avalanche sur la route du col Flüela (Engadine) : 34 personnes sont ensevelies (4 morts). L'autoroute du col du Brenner (Autriche) a également été touchée en janvier 1974 par une avalanche (4 morts).
2. La viabilité hivernale : il s'agit de garantir la praticabilité des routes et de supprimer ou limiter les effets dus à la neige (enneigement des routes, verglas, congères). En termes économiques, ces actions représentaient (en 1988) :
  - 600 000 à 700 000 tonnes de sel de déneigement répandues annuellement sur le réseau des nationales et départementales ;

- 12 000 engins de déneigement ;
- 40 000 agents ;
- soit un coût global de 150 millions € par an [8].

Des chutes de neige en plaine (février 1970 dans le sud de la France, décembre 1990, etc.) peuvent paralyser les grands axes routiers pendant plusieurs heures, voire journées.

3. Surcharge imposée : la neige peut causer d'autres dégâts aux bâtiments et équipement divers en provoquant une surcharge ; entre autres en imposant des normes de construction, il s'agit d'éviter la rupture des installations :

- *surcharge sur les toits* : les accumulations de neige sur le toit peuvent être la cause de la rupture de la charpente. En montagne, ceci est assez rare et en général limité à quelques maisons, car les montagnards ont su adapter l'architecture en fonction des matériaux disponibles, parfois pour retenir la neige (isolation thermique), dans d'autres cas pour la faire s'écouler. Les chutes de neige du toit provoquent quelques accidents mortels. À plus basse altitude, ou en plaine, il faut des chutes importantes pour causer la rupture d'une charpente. Jusqu'à très récemment, les normes ont eu néanmoins tendance à sous-estimer l'occurrence et l'ampleur de telles chutes [9] :

- 12–16 janvier 1978, une chute d'environ 1,8 à 2,5 m (au-dessus de 1 100 m) de neige dans le Queyras ou dans le département de l'Ardèche cause de nombreux effondrements de toiture. À la suite des chutes de neige de la fin janvier et du début février (9–11 février), 98 communes de l'Isère et de la Drôme sont sinistrées,
- 11–12 janvier 1981 : des chutes de neige (55 cm à 120 m) puis de pluie sont à l'origine de la destruction de nombreux bâtiments dans les départements de l'Aude et des Pyrénées-Orientales (35 millions € dommages pour les agriculteurs),
- 16–20 janvier 1981 : 300 bâtiments sont endommagés par les chutes de neige dans le Jura et dans la vallée du Rhône,
- 6 février 1986 : on recense 2 000 sinistres dans le département de l'Ardèche après une chute de neige (1 m entre le 28 janvier et le 6 février à 900 m),
- 9–13 décembre 1990 : il tombe pendant cinq jours entre 60 et 100 cm de neige sur la région lyonnaise ; de nombreuses communes de l'Isère, de l'Ain et du Rhône sont déclarées sinistrées. Le montant remboursé par les assurances dépasse 200 millions €.
- 23–25 janvier 1992 : dans les départements de l'Aude et des Pyrénées-Orientales, une chute de neige puis de pluie (50 cm de neige, puis 70 mm de pluie) provoque plus de 150 millions € de dégâts ;

- *surcharge ces câbles* : des tempêtes de neige ou du givre opaque peuvent former des dépôts de neige sur les câbles de remontée mécanique, sur les lignes haute-tension, etc. et provoquer leur rupture ;

- *poussée sur les obstacles* : la reptation de la neige peut provoquer la dégradation d'équipements (pylône, maison, soutènement, etc.) situés sur des pentes.

Nous n'avons pas dressé ici un tableau exhaustif de toutes les menaces ou nuisances que la neige peut créer. Il faudrait encore parler des dangers qu'elle induit (avalanche

dans une retenue d'eau d'un barrage<sup>6</sup>, glissement de terrain<sup>7</sup>, crue<sup>8</sup>), les dégâts aux exploitations agricoles ou des calamités à l'étranger (les tempêtes de neige ont provoqué plusieurs centaines de morts en Amérique du Nord<sup>9</sup>, les écoulements de neige fluidifiée<sup>10</sup>, laves torrentielles<sup>11</sup>...).

Si les avalanches (et les phénomènes associés à la neige) causent la mort de personnes et de nombreux dégâts, elles sont aussi de loin le phénomène naturel le moins meurtrier et destructeur à l'échelle de la Terre... En France, sur 10200 communes exposées à des calamités naturelles, seules 400 sont sous la menace d'avalanches. La plupart des accidents d'avalanches ayant causé des victimes concernent des activités de loisir (91 % des décès). Les dégâts des efforts de protection se chiffrent en millions d'euros : la construction du dispositif paravalanche du Taconnaz a dépassé les cinq millions €, le déneigement des routes coûte annuellement plus de 200 millions d'euros...

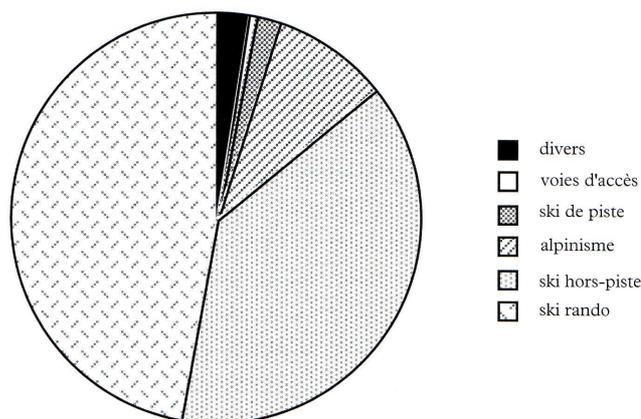


Figure 8.1 Activité des victimes au moment de l'avalanche. D'après [11].

## 8.2 Protection contre le danger d'avalanche

### 8.2.1 Position du problème

L'expertise vise à proposer les techniques de défense qui restent compatibles avec l'étude de faisabilité et le cahier des charges : une solution est acceptable lorsque l'objectif de protection est réalisé en tenant compte du scénario majeur choisi et des contraintes techniques, financières, réglementaires... En France, on distingue quatre types d'objectifs : les lieux habités, les voies de communication, les domaines skiables et les amé-

6. À la suite de la catastrophe du Vajont en Italie en 1963 (un glissement de terrain tombant dans la retenue d'un barrage créa une onde de submersion, il y eut 2 000 morts), les barrages sont sous haute surveillance, entre autres, en ce qui concerne le risque d'avalanches.

7. En avril 1970, un affaissement de terrain (à la fonte des neiges) emporta un sanatorium sur le plateau d'Assy et tua 74 enfants.

8. En 1957, les chutes de pluie sur un manteau neigeux important provoquent une crue gigantesque du Guil (Queyras).

9. Par exemple, le 9 février 1978, une tempête provoque la mort de 65 personnes dans la région autour de New York.

10. Les anglo-saxons appellent cela des *slushflows*, assez fréquents dans les pays scandinaves, à la fonte des neiges. Ainsi, en Norvège à Sogn, le 9 février 1928, un tel écoulement cause la mort de 45 personnes [10].

11. La neige a accentué l'ampleur de certaines catastrophes, notamment l'avalanche du Huascarán le 10 janvier 1962 (4000 morts), au Pérou ou lors de la rupture de la poche glaciaire du glacier de Tête Rousse le 12 juillet 1892 (175 morts)...

Défense permanente	Passive	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Déviation</i> : galerie, tremplin, tourne, digue, étrave</li> <li>- <i>Freinage</i> : tas, dent, obstacle</li> <li>- <i>Arrêt</i> : mur, digue (stockage : place de dépôt)</li> <li>- <i>Zonage</i> : PPR</li> <li>- <i>Adaptation</i> : renforcement des constructions</li> <li>- <i>Avertissement</i> : signalisation, DRA</li> </ul>
	Active	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Reboisement</i> : plantation</li> <li>- <i>Modification de la rugosité du sol</i> : banquettes (étroites), fauchage, drainage</li> <li>- <i>Utilisation de l'action du vent</i> : barrière à neige, vire-vent, toit-buse</li> <li>- <i>Fixation et soutien du manteau neigeux</i> : râtelier, claie, filet</li> </ul>
Défense temporaire	Passive	- <i>Réglementation</i> : interdiction, évacuation, consignes
	Active	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Damage</i> * avec les skis</li> <li>- <i>Déclenchement artificiel</i> * à l'explosif : à la main, au canon, avalancheur, hélicoptère, CATEX</li> <li>* au gaz : GAZEX</li> </ul>

**Tableau 8.1** Par la suite, des prix sont donnés à titre indicatif (en €, hors taxe) [14, 15].

nagements industriels. On classe les stratégies paravalanches<sup>12</sup> en quatre familles distinctes. Les deux critères de cette classification sont : la pérennité de la protection (permanent/temporaire) et le point d'intervention sur l'avalanche (passive/active). Le tableau suivant présente les quatre classes de protection courantes en France [12, 13, 14, 15] :

### 8.2.2 Défense permanente

Cette stratégie de protection contre les avalanches met en œuvre des techniques opérationnelles sans intervention humaine. On recherche une protection par des ouvrages fixes et pérennes :

- la *défense permanente passive* : elle consiste à lutter contre l'écoulement avalancheux (en général dans les zones d'impact), sans se préoccuper des conditions de déclenchement. Il s'agit soit de détourner l'avalanche (latéralement, dans une ou deux directions, par dessus...), soit de freiner voire d'arrêter l'écoulement dans sa phase d'arrêt, soit de renforcer les constructions à protéger de telle sorte qu'elles résistent à l'impact de l'avalanche ;
- la *défense permanente active* : dans ce cas, il s'agit de lutter contre les facteurs favorables au départ d'avalanche en fixant la neige dans la zone d'accumulation et d'empêcher sa mise en mouvement. On y parvient soit en aidant la stabilisation du manteau neigeux grâce à des ouvrages charpentés, soit en modifiant la structure du manteau neigeux au cours de son dépôt (c'est le rôle des ouvrages à vent), soit en augmentant la rugosité du sol, soit en reboisant quand cela est possible.

Une fois le type de stratégie bien défini, il faut choisir la tactique de protection adéquate. Il existe pour chacune des familles un catalogue de techniques en usage en France. En la matière, chaque pays a ses habitudes propres : ainsi en France, on reste attaché (historiquement) à l'emploi des râteliers plutôt que des claies ; des méthodes globales combinant canalisation, freinage et stockage (ou encore dérivation, évacuation et dispersion) ont été

<sup>12</sup>. À l'évidence le meilleur moyen de protéger un équipement reste une implantation hors des zones menacées. Les techniques de cartographie et de zonage du risque aident au choix d'une bonne implantation. Cette approche peut donc être considérée comme un cinquième type de stratégie paravalanche ; on la fera apparaître ici dans la rubrique « défense permanente passive ».

développées avec succès ces dernières années. En outre, une démarche de normalisation (comme la NF P 95-3) établit des normes homologuées sur certains équipements paravalanches. Il faut signaler qu'actuellement chaque dispositif paravalanche construit est conçu spécifiquement en fonction du site et de l'équipement à protéger, et s'appuie sur une palette variée de techniques. L'aménagement de Taconnaz dans le massif du Mont-Blanc en donne un bon exemple (cf. § 8.2.5).

### Défense permanente passive

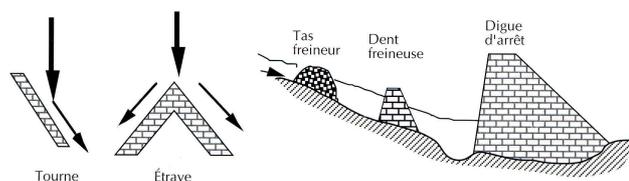
Les techniques de défense permanente passive ont été traditionnellement employées par les populations montagnardes. Elles assurent la protection rapprochée de l'objectif (voirie, équipement, habitations). Les diverses parades sont les suivantes.

#### ► Ouvrages de déviation

- *Galerie, tunnel* : l'ouvrage forme un tremplin au-dessus de la voie d'accès ; sa longueur doit être supérieure à la celle de la zone initialement balayée par l'avalanche. C'est un investissement extrêmement onéreux : il faut compter au moins 30 000 € par mètre linéaire d'ouvrage ; une galerie de cent mètres coûte déjà 3 millions d'euros.
- *Tourne* : il s'agit d'une digue de déviation sur le côté, constituée d'une levée de terre ou d'un mur en maçonnerie et qui détourne l'écoulement dense. La hauteur doit être importante, le mur amont est le plus vertical possible. Le coût est alors d'environ 10 €/m<sup>3</sup>.
- *Étrave* : c'est un ouvrage massif en forme de coin, de principe similaire à la tourne, et placé juste à l'amont de l'objectif (pylône, maison, etc.). Il dévie l'écoulement en deux parties.

#### ► Ouvrage de freinage et d'arrêt

- *Tas freineurs* : ce sont des buttes en terre, en maçonnerie ou en gabion qui, disposées en réseau, servent à freiner l'avalanche et à tenter de provoquer son arrêt dans une zone de stockage ; il faut donc prévoir une plage suffisante pour le dépôt de l'avalanche. Le coût est environ de 10 €/m<sup>3</sup>. Si une première avalanche comble l'aire de stockage, une deuxième peut passer au-dessus et endommager l'objectif à protéger.
- *Dent freineuse* : Il s'agit d'un ouvrage pyramidal en béton armé, haut de plusieurs mètres et de principe similaire au tas. Elle supporte au cours de l'avalanche une pression bien plus importante. Le coût est en revanche bien plus élevé.
- *Digue d'arrêt* : il s'agit d'un mur en pierre ou en terre, haut de plusieurs mètres qui tente d'arrêter la fin de l'écoulement. Le coût n'est pas très élevé s'il s'agit de terre compactée : 10 €/m<sup>3</sup>. La même réserve doit être apportée à propos d'une saturation possible de la plage de dépôt. Ce type d'aménagement est complémentaire d'autres.



type d'action	déviaton	freinage	arrêt	auto-protection
vers le haut	latéralement dans une direction	dissipation d'énergie	stockage	architecturales adaptées au site et au phénomène
type d'ouvrage	tremplin, galerie, tunnel	tas, dents, plage de dépôt	mur, digue, plage de dépôt	renforcement, épaisissement, aveuglement
équipement vise par la protection	zone étendue ou éloignée: voirie, urbanisation, bitation	zone étendue et éloignée: voirie, urbanisation, bitation	zone étendue et rapprochée: urbanisation, voirie	ponctuel: pylône, bitation
niveau de sécurité	très bon (si assez long)	bon (mais variable)	bon (si assez haut et rapproché)	bon (mais variable)
niveau d'investissement	très cher	moyen (mais très variable)	cher	très bon marché (sauf exceptions)
avantages	sécurise l'itinéraire par tous les temps	rapport qualité/prix	s'ajoute facilement	discret
inconvenients	longueur accrue car diminution de la pente à l'amont	ne convient pas pour les aérosoles. conservation de hauteur libre; direction et angle à respecter	conservation de la hauteur et du volume libre; surfaces nécessaires; dimensionnement vis-à-vis du phénomène majeur seulement	doit être envisagée dès la conception
remarques	attention à la largeur en virage	meilleur avec mur vertical. attention si ouvrage voisin	meilleur avec mur vertical	sensibilisation des personnes

### **Défense permanente active**

type d'action	modification de la surface du sol		utilisation de l'action du vent		modification du manteau neigeux	
	reboisement	activités agricoles	terrassement	déplacement d'un dépôt	d'un dépôt	rigide
type d'ouvrage	plantation	drainage, fauchage	banquette étroite (1m)	barrière à neige	vire-vent, toit-buse	râtelier, claie
équipement vise par la protection	différé dans le temps	zone étendue ou mais peu sensible ou très marginale	zone étendue ou éloignée	zone étendue ou éloignée	urbanisation, voire parfois do- maine de ski	zone étendue ou éloignée ur- banisation, voire parfois do- maine de ski
niveau de sécurité	moyen (zone d'accumulation, hauteur)	faible (seulement contre ava- lanches de fond)	bon (si bien placé)	moyen (si bien placé)	très bon (mais va- riable)	bon (mais va- riable)
niveau d'investissement	moyen (très faible à l'unité)		cher	très cher	très cher	cher
avantages	agrément : lutte contre l'érosion	technique simple	association avec le reboisement	bon rapport qualité/coût si couple site-ouvrage parfaite- ment adapté	technique solide	discret
inconvenients	durée initiale sans protection : risque de dégradation	pérennité douteuse	reprise d'érosion ; entretien difficile	chute de neige sans vent ou avec dans mauvaise direc- tion ; surveillance hivernale	efficacité diminuée en cas de neige sans cohésion	efficacité diminuée en cas de neige sans cohésion
remarques	conditions écologiques ; investissement productif	zone à faible enneigement uniquement ; inefficace pour des phénomènes majeurs	permanente ou amovible ; orientable	division en 2 sous- bassins ; suppression de corniches	urgence doit de départ, placement en lignes continues ; entretien impératif	indispensable, doit couvrir toute la zone

C'est une stratégie qui a été développée<sup>13</sup> en France dès le siècle dernier à Barèges : il s'agit de s'attaquer aux avalanches directement dans la zone d'accumulation en fixant le manteau neigeux ou en modifiant la répartition des accumulations. L'investissement est dès lors considérable, puisqu'il faut traiter des surfaces étendues (plusieurs hectares) dans des pentes raides (entre 35 et 50°) et d'accès difficile (l'hélicoptère est aujourd'hui employé) et ne peut se justifier que vis-à-vis de l'importance de l'objectif à protéger. Plusieurs procédés sont en usage :

#### ► Modification de la surface du sol

- *Terrassement* : on aménage des banquettes étroites (de largeur 1 m environ) ; les banquettes larges (3 m environ) sont proscrites car elles favorisent l'érosion et défigurent le paysage. Les banquettes freinent la reptation de la neige et son glissement au sol. Elles ne se justifient que lorsque des actions parallèles de reboisement sont envisagées, ce qui limite l'altitude d'utilisation au-dessous de 2000 m. Elles doivent par ailleurs être entretenues annuellement pour garder leur efficacité. L'investissement est variable selon les zones d'accumulation ; le prix du mètre linéaire est compris entre 20 et 100 € et il faut ajouter un coût de fonctionnement d'environ 1 €/an/m.
- *Revégétalisation* : ce sont des actions à long terme<sup>14</sup> (20 à 50 ans au moins) de reboisement (diverses essences selon l'altitude et le sol). La *revégétalisation* est le plus souvent associée à des actions de terrassement.

#### ► Soutien du manteau neigeux

- *Râtelier* : c'est un ouvrage en métal (acier Corten, aluminium) ou en bois composé d'un tablier à traverses perpendiculaires au terrain (non jointives) de plusieurs mètres. On place les râteliers en lignes continues le long d'une courbe de niveau pour soutenir le manteau neigeux. Il nécessite un entretien annuel (vérification de l'état, révision. . .) L'investissement est important : il faut compter 1000 € par mètre linéaire, soit environ 300 000 € pour traiter un hectare et annuellement 1000 € d'entretien par hectare. En cas d'épaisseur importante du manteau, les râteliers peuvent être saturés et devenir inefficaces. De même lors de chutes importantes de neige très légère, la neige sans cohésion peut s'écouler au travers des ouvrages, qui se purgent alors brusquement.
- *Claie* : c'est le même type d'ouvrage que le râtelier, mais les traverses sont horizontales. La claie est surtout utilisée en Suisse et en Italie.
- *Filet* : ce sont des nappes souples câblées avec des mailles d'une vingtaine de centimètres (câble en acier), qui jouent le même rôle que des ouvrages rigides, mais dont l'ancrage dans le sol est plus aisé. Relativement discret, le filet demande également un entretien ; son coût d'investissement est moindre que pour un râtelier : environ 600 €/m.

#### ► Utilisation de l'action du vent

- *Barrière à neige* : il s'agit d'une barrière métallique ou en bois (châtaignier), verticale à traverses horizontales de 4 à 5 mètres de hauteur. Elle comporte une garde

---

13. Selon l'inspecteur des Eaux et Forêts Campagne, à propos de Barèges : « Ces travaux avaient pour but, non pas d'arrêter les neiges en mouvement (car nulle puissance humaine ne saurait produire de résultat), mais bien d'empêcher les glissements de neige sur les points où ils prenaient naissance ».

14. voir dans [16] des exemples de gestion forestière dans ce but sur les sites de la Mongie L'Hospitalet, etc. (Pyrénées).

au sol (comprise entre 15 et 20 % de la hauteur de la barrière, elle sert à accélérer le vent au sol, elle évite un enlèvement de l'ouvrage et permet d'augmenter le volume du dépôt). On l'utilise couramment pour limiter les accumulations et les congères : en perturbant l'écoulement d'air, la barrière placée face au vent, crée un sillage (ralentissement du vent) qui favorise un dépôt de neige ; elle permet d'atténuer la formation ainsi des corniches. Elle est très utilisée pour améliorer l'enneigement d'une piste de ski ; en génie paravalanche, elle est utilisée en complément d'autres parades. Son efficacité est amoindrie voire nulle si le vent souffle dans une mauvaise direction ; il existe maintenant des barrières amovibles auto-orientables pour atténuer cet inconvénient. Comme tous les ouvrages de ce type, elle nécessite un entretien annuel et une surveillance particulière (en cas d'enneigement de l'ouvrage). Le coût est conséquent : environ 700 € par mètre linéaire.

- *Vire-vent* : il s'agit d'un tablier vertical plein de forme trapézoïdale haut de plusieurs mètres. Sa forme perturbe l'écoulement d'air et donne naissance à des tourbillons qui érodent localement, souvent jusqu'au sol, le manteau neigeux. Quelquefois, un réseau linéaire de vire-vents peut être également utilisé pour découper en plusieurs panneaux un secteur de la zone d'accumulation et les rendre indépendants.
- *Toit-buse* : c'est un panneau composé, plein, à plus ou moins 45°. Il agit comme un goulot d'étranglement, qui accélère l'écoulement d'air et force la neige transportée par le vent à se déposer plus loin.

### 8.2.3 Défense temporaire

Cette stratégie de protection contre les avalanches nécessite l'observation des conditions nivo-météorologique et implique une prise de décision (humaine). On se contente d'assurer la protection pour un temps limité, quand il y a risque.

#### Défense temporaire passive

La *défense temporaire passive* : après observation des conditions nivo-météorologiques, on cherche à atténuer les effets néfastes d'une éventuelle avalanche en prenant des mesures administratives d'interdiction de circulation, d'évacuation des équipements menacés. Ces mesures relèvent en général d'un règlement : l'autorité prend la décision, dont elle est responsable, elle doit prévoir des plans de secours ou d'intervention.

type d'action	avertissement	prescriptions des réglementaires contraignantes		détecteur routier d'avalanches
type d'ouvrage	signalisation drapeau à damiers, panneaux routiers	interdiction pouvoir de police du maire : arrêté (éventuellement précédé d'un ordre oral), avis d'une commission de sécurité	evacuation consignation	DR.A : détection dans le couloir, feu sur la voirie
équipement	zone étendue ou linéaire : domaine skiable, voirie	zone étendue ou linéaire : piste, remontée, voirie	ponctuel : immeuble, hameau, chantier	voirie
niveau de sécurité	moyen à faible (dépend de l'opportunité)	moyen (dépend de la qualité et de la rapidité de la commission de sécurité et du dispositif permettant son information)		bon (mais surveillance du bon fonctionnement et mise en place délicate)
niveau d'investissement	très faible	très faible (mais variable)		moyen (sauf exception)
avantages	simplicité	très bon rapport qualité/prix ; pouvoirs étendus ; urgence ; facile à engager		automatique
inconvénients	risque de banalisation	nécessité de péril grave : intervention ni intempesive, ni inadéquate ; difficile à arrêter ; problème de décision, de responsabilité (nécessité de prévoir un plan de secours et d'intervention)		adaptation indispensable du couloir et de la voirie
remarques	protection juridique	aucune indemnité n'est alors accordée au propriétaire menacé malgré l'éventuelle importances des pertes économiques résultantes)		

Les mesures d'interdiction ou d'évacuation sont prises par le maire (Code des communes article L 131-2). Le *détecteur routier d'avalanche* (DRA) est un dispositif constitué de feux rouges de part et d'autre de la zone balayée. Lorsque l'avalanche part, elle tend un câble, qui commande par radio les feux. Il faut investir environ 80 000 € pour l'installation d'un DRA. Un entretien annuel est obligatoire.

### Défense temporaire active

La *défense temporaire active* : cette stratégie recouvre, outre des méthodes comme celle du damage, l'ensemble des actions de déclenchement artificiel préventif des avalanches. Elle consiste à nettoyer, à *purger* de manière systématique la zone d'accumulation dès que l'accumulation atteint une valeur seuil, plutôt que d'attendre un départ spontané à un moment imprévisible et de plus grande ampleur. Ces déclenchements sont en général provoqués par une explosion au dessus du manteau neigeux. Ils sont soumis à une réglementation stricte. Ce type de défense repose souvent sur l'emploi d'explosifs qui est sévèrement réglementé et nécessite un personnel qualifié (artificiers, certificat de préposé au tir ; CPT). Chaque intervention doit avoir lieu dans le cadre d'un plan d'intervention pour le déclenchement des avalanches (PIDA). C'est un document proposé par le maire, visé par le préfet, qui précise les secteurs concernés par les tirs préventifs, la procédure utilisée, les itinéraires à suivre, les zones interdites, les intervenants et les consignes de tir.

type d'action	au pied	à l'explosif		exploseur à gaz Ga- zex
matériel	skis, cordes, ARVA, pelle, sonde	a la main skis, cordelette, luge, ARVA, pelle, sonde	hélicoptère caisse de rangement des explosifs, inflammateur	Catex câble tournant trans- porteur d'explosif tube ouvert
équipement tation	visé par la pro- tection	domaine skiable	insensible (piste, voi- rie fermée,...	domaine skiable, voirie
niveau de sécurité	très faible pour le pratiquant	le moyen (mais variable)		bon très bon
niveau d'investissement		moyen	très cher	moyen
avantages	plutôt facile (avec organisa- tion rigoureuse préalable)		pratique	plusieurs couloirs pa- rallèles ou sur deux versants
inconvenients	très dangereux lors des déplace- ments)	dangereux (surtout déplacements)	conditions météo- logiques, problèmes du tir	I couloir par tube, très grand froid, foudre, PIDA, consigne de tir
efficacité	faible	moyenne (mais variable)		bonne très bonne

Les diverses procédures sont :

- *déclenchement manuel* : la charge est positionnée à la main par l'intermédiaire d'une cordelette jetée dans la pente. L'explosion a lieu sur le manteau neigeux et est d'une efficacité moyenne. Son coût de revient est très faible mais une telle méthode n'est pas tout le temps possible (mauvaises conditions ou accès difficiles). La sécurité du pisteur n'est pas toujours garantie ;
- *avalancheur* : il s'agit d'un lanceur pneumatique de flèches explosives. La portée est comprise entre 900 et 2000 m pour une dénivelée maximale de 600 m. La flèche explosive est un tube d'environ 1,8 mètre de long contenant un mélange liquide explosif de 2 kg (inerte au bout d'une dizaine d'heures de non-utilisation) et explose juste avant d'atteindre le sol (efficacité maximale). Le lanceur coûte 25 000 € environ ;
- *Catex* : il s'agit d'un câble tournant soutenu par des pylônes, qui permet de positionner quelques kilogrammes d'explosif juste au-dessus du manteau neigeux et dans plusieurs couloirs proches (de 5 à 20). Très largement employé en France depuis bientôt vingt ans (plus de 160 installations), c'est un investissement lourd (100 000 € par kilomètre) surtout utilisé pour la protection des pistes de ski et de certaines routes. Il est maintenant très concurrencé par le Gazex (voir comparatif dans [12]) ;
- *Gazex* : c'est une installation apparue en 1988. Elle est constituée d'un tube ouvrant vers l'extérieur, où est enflammé un mélange détonant de propane et d'oxygène. L'onde de pression<sup>15</sup> créée peut déclencher une accumulation instable. Il existe à la fin 1997 plus de 260 tubes explosifs en France. C'est un dispositif d'emploi peu onéreux, très souple et discret (si ce n'est le bruit) mais demandant un investissement conséquent (150 000€ pour une centrale et trois dragons) ;
- *hélicoptère* : son utilisation est marginale mais s'étend petit en petit. Son principal handicap est qu'il ne peut pas intervenir par tout temps et qu'il n'est autorisé qu'à titre expérimental.

### 8.2.4 Zonage

La meilleure stratégie de protection contre les avalanches consiste à installer l'équipement hors de la zone dangereuse, ce qui a été traditionnellement réalisé par le montagnard dans le choix de son habitat. Il s'agit dès lors de rechercher l'aire d'emprise maximale de l'avalanche. Mais de nos jours, les activités modernes (ski, circulation, etc.) qui s'imposent dans des zones à risques, exigent la prévention et la gestion du risque d'avalanche. Le zonage est alors utilisé dans l'analyse du site, dans la prospection de secteurs aménageables, dans l'étude des protections. Les procédures en usage actuellement sont variées.

### Bases d'informations

Des fichiers informatisés liés à deux procédures distinctes, l'enquête permanente des avalanches et l'observation permanente des avalanches (EPA, OPA) constituent la base des informations nécessaires au zonage du risque. La carte de localisation probable des avalanches (CLPA) offre une représentation cartographique des zones soumises aux avalanches et situe les dispositifs paravalanches déjà en place (cf. chap. 6). La CLPA constitue un inventaire des couloirs pour lesquels on a relevé des témoignages d'événements avalancheux dans le passé ; il ne s'agit donc pas d'un zonage du risque.

15. Pour 3 m<sup>3</sup>, la règle estime que la pression doit être supérieure 25 mB sur un rayon de 60 m.

## Plans de zonage

Il existe des procédures spécifiques à l'initiative du préfet qui permettent de définir des zones à risque (s) échelonnées en différents niveaux: le *plan d'exposition aux risques* (PER), le *plan des zones exposées aux avalanches* (PZEA) et la procédure R111-3 (du nom de l'article afférent dans le Code des communes). Une réforme a récemment établi des *plans de préventions des risques* (PPR). Après enquête publique et arrêté préfectoral, les plans sont opposables aux tiers, c'est-à-dire contraignants dans l'aménagement d'un site. Ces deux documents sont composés d'une carte cadastrale (du 1 : 1000 au 1 : 10 000) avec représentation zonale du risque (rouge : construction interdite, bleue : construction réglementée, blanche : aucune restriction vis-à-vis du risque) et d'un rapport.

- *Plan d'exposition aux risques* : défini en vertu de la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 et du décret n° 84-328 du 3 mai 1984, confirmé par la « loi montagne » (en date du 9 janvier 1985, article 78) il s'agit d'une localisation de tous les risques naturels prévisibles (inondation, mouvement de terrain, éboulement, séisme, avalanche...) en définissant un zonage parcellaire général à l'échelle de la commune et en définissant un certain nombre de points à respecter (conditions et prescriptions de protection, règlement précisant la servitude selon le risque et la nature de la construction). En outre, le PER a un effet rétroactif (assoupli par un décret de mars 1993). En France, en 1992, moins de 1000 communes sur 10 200 exposées étaient pourvues de ce document. Le coût (environ 30 000 €) et la lourdeur de la procédure sont les freins au développement du PER, en particulier en montagne où les aléas sont multiples [17]. C'est pourquoi la procédure des PPR, plus souple et donc plus adaptable à chaque cas particulier, est maintenant préconisée.
- *Plan des zones exposées aux avalanches* : le risque analysé dans ce document est limité aux avalanches. Le PZEA s'intègre dans la procédure de délimitation de périmètres de risque naturel, conformément au code de l'urbanisme (article R 111-3, circulaire n° 74-201 du 5 décembre 1974, décret n° 77-1281 du 22 novembre 1977) ; il est utilisé dans le plan d'occupation des sols<sup>16</sup> (POS), si ce dernier existe. À ce titre, le département de l'Isère est un exemple intéressant car il a essentiellement basé son zonage du risque d'avalanche sur l'application de l'article R111-3. Après enquête publique, un arrêté municipal ou préfectoral (article L-122.1) le rend public (l'arrêté préfectoral est opposable aux tiers). Il comprend un zonage parcellaire des secteurs urbanisés de la commune, répondant aux mêmes critères que dans un PER (rouge/bleu/blanc) et un règlement (mesures de police, prescriptions sécuritaires, architecturales...). Les communes exposées aux avalanches sont largement pourvues de PZEA.
- *Plan de Prévention des Risques* : les difficultés de mise en œuvre des PER (moins du quart des communes traitées après 12 ans pour un coût exorbitant), plus qu'une remise en cause de la procédure, ont justifié une réforme du dispositif concernant la prévention des risques naturels. La loi du 2 février 1995, dite « loi Barnier », réorganise le droit des risques qui trouvait sa source dans deux lois fondamentales du 13 juillet 1982 (loi d'assurance) et du 22 juillet 1987 (loi de prévention et de secours). La loi de 1995 concerne trois aspects liés à la prévention : elle consacre la « notion d'urgence » pour répondre de manière immédiate à un risque inéluctable de catastrophe ; elle vise à assurer un meilleur entretien des cours d'eau pour prévenir les crues, et surtout elle simplifie les procédures de prévention par l'instauration de *plans de prévention des risques naturels prévisibles* (PPR) qui sont substitués aux

---

16. Le plan d'occupation des sols fixe à moyen terme, en vertu de la loi n° 83-8 du 7 janvier 1983 et du décret n° 83-813 du 9 septembre 1983, les règles générales et les servitudes d'utilisation des sols applicables aux parcelles de terrain.

PER et à toutes les autres réglementations de prise en compte des risques naturels. Les PPR s'appuient sur une procédure simplifiée (possibilité de ne prévoir que les mesures les plus urgentes et de compléter les plans ultérieurement, possibilité de dispositions conservatoires immédiates en matière d'urbanisme, procédure prévue d'exécution d'office des travaux, etc.). Ils peuvent intégrer toutes les dispositions relevant des documents auxquels ils se substituent. L'objectif visé est de doter d'ici à l'an 2000 les deux mille communes les plus exposées grâce à une dotation de crédits portée à 6 millions d'euros pendant cinq ans.

### 8.2.5 Exemple : l'aménagement de Taconnaz

#### Contexte

Le hameau de Taconnaz, dans la vallée de Chamonix, s'étend entre 1000 et 1050 m d'altitude près de la « route blanche », entre les communes des Houches et de Chamonix. Le 20 mars 1988, une avalanche coulante partant du glacier de Taconnaz et s'écoulant le long du ravin de même nom, touche et détruit plusieurs maisons dans le haut du hameau. Au mois de février, une avalanche majeure a déjà concerné le site. Quoique l'activité de ce couloir soit régulière, le phénomène a surpris par son ampleur : la masse mobilisée a été estimée (pour les deux événements) à environ 600 000 m<sup>3</sup>, le dépôt avait une hauteur atteignant 17 m. Les communes de Chamonix et des Houches ont décidé conjointement d'entreprendre la construction d'un dispositif paravalanche pour protéger le hameau de Taconnaz et la route nationale [18].

#### Analyse du risque

Comme on l'a décrite dans le chapitre 5, l'analyse du risque s'articule autour de cinq étapes principales.

1. *Le site* : le couloir de Taconnaz menace les habitations (plusieurs hôtels), voire la nationale desservant le tunnel du Mont-Blanc et la ville de Chamonix. Le site est complexe : la zone d'accumulation s'étend largement sur le glacier de Taconnaz, qui bute partiellement vers 3100 m contre une barre rocheuse importante qui soutient le glacier des Bossons ; les deux glaciers sont très crevassés et se joignent vers 3300 m sous l'aiguille du Goûter (3863 m) pour former la face nord du dôme du Goûter (4304 m). Dans le haut du glacier de Taconnaz, la surface concernée lors d'un départ d'avalanche représente alors entre 50 et 250 ha en pente raide. La zone de transit, longue de moins de 2 kilomètres, canalisée entre la montagne de la Côte et la crête du Bélachar, emprunte le couloir du gros torrent du Taconnaz (un deuxième couloir, moins marqué, existe dans ce ravin). Elle débouche sur la zone de dépôt, large (plus de 20 ha) et de faible pente (voisine de 15°). Le lieu-dit s'appelle les Lanches, ce qui indique que les anciens se sont méfiés de ce secteur. L'activité humaine y est surtout liée à l'élevage (pâturage) mais aussi au tourisme : présence d'hôtels, de chalets et, plus en marge, du télésiège des Bossons. Des digues de protection avaient déjà été construites auparavant. À côté des contraintes imposées par le site (contexte haute montagne, dimensions importantes...), il y a aussi des contraintes politiques afin de circonscrire au maximum l'emprise cadastrale des travaux (coût du terrain, forte urbanisation de la vallée, etc.).
2. *Description des scénarios majeurs* : le couloir connaît une activité régulière. Récemment deux avalanches importantes s'y sont produites : le 20 mars 1988 (coulante ; il y avait eu un événement précédent en février) et le 17 février 1990 (mixte), encore plus importante (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>). Le couloir du Taconnaz peut produire aussi des aéro-



Figure 8.2 Le dispositif de Taconnaz pris à la fin du printemps.

sols, sans doute parmi les plus importants en France. La présence de séracs peut servir de détonateur. Dans les deux avalanches mentionnées, on a en effet trouvé de nombreux blocs de glace, mais on n'a pas pu déterminer si l'avalanche avait été déclenchée à la suite d'une chute de séracs ou si elle les avait entraînés.

3. *Détermination de l'avalanche majeure* : conformément aux souhaits du maître d'ouvrage (les communes concernées), c'est l'avalanche du 20 mars 1988 qui sert d'aléa de référence pour l'étude. Il s'agit donc d'un écoulement coulant. Le dispositif aura donc une efficacité partielle contre un aérosol ; il faut vérifier en tout cas que le dispositif n'amplifie pas les effets d'un éventuel aérosol.
4. *Sélection d'une stratégie de protection* : compte tenu du contexte (zone d'accumulation sur glacier = pas de défense permanente active, pas de Catex ni Gazex, ampleur des phénomènes...), on adoptera une stratégie de défense permanente passive dont le principe se résume par : freinage-stockage-arrêt-exutoire.
5. *Conception du dispositif paravalanche* : le dispositif s'articule autour des différents points suivants :
  - dispersion/freinage : on étale au maximum (à l'aide des dents défectrices) et on freine l'écoulement dense (par une combinaison de dents et tas freineurs) tout en gardant un effet de canalisation avant de maîtriser la direction d'écoulement : il faut donc à la fois freiner, réguler et contenir l'écoulement (constructions de 2 digues latérales). Le dimensionnement et le positionne-

ment des systèmes de freinage sont primordiaux pour assurer l'efficacité de cette étape. 11 dents déflectrices, 14 tas freineurs, une digue déviante ont été construits ;

- stockage : à l'aval du précédent dispositif on prévoit une aire de stockage consistant en une succession de trois terrasses, en rive droite du torrent, déversant légèrement vers l'ouest (direction des Houches) et permettant de stocker un volume au moins équivalent à l'avalanche de référence. Une digue « baïonnette » essaye de séparer les écoulements avalanchueux (vers les aires de stockage) de ceux du torrent (lave torrentielle) ;
- arrêt : il faut arrêter définitivement l'avalanche et l'empêcher de dépasser les deux digues pré-existantes. Une digue frontale a été réalisée ;
- exutoire : il a été construit une longue digue latérale haute d'une dizaine de mètres (côté Chamonix) et la digue latérale côté les Houches a été rehaussée ; des ouvertures ont été aménagées dans le lit du torrent. Le rôle de l'exutoire est de guider le débordement en cas de débordement (dans le cas d'un volume exceptionnel).



**Figure 8.3** Vue aérienne du dispositif de Tacconnaz en février 1992. Le coût a été de l'ordre de 5 millions d'euros. Cliché C. Charlier.

## Limites du dispositif

Le dispositif de Taconnaz a été conçu en fonction d'un aléa de référence donné ; de ce fait, il ne peut pas être considéré comme parfait. Par ailleurs, tout le système construit n'est valable que pour des écoulements denses (avalanche coulante ou partie dense d'une mixte) et perd de son efficacité pour un aérosol. Le couloir de Taconnaz peut en produire d'importants à l'instar du couloir des Favrands (voir chap. 5, § 5.1). Dans ce cas extrême, des dégâts sont possibles.

### 8.2.6 Situations de crise

#### Exemple : Tignes en février 90

En février 1990, après un début extraordinairement sec [19] sur l'ensemble des Alpes, l'anticyclone s'effondre à partir du samedi 10 février 1990, pour laisser place à une perturbation océanique extrêmement violente. Après plus de six semaines de beau temps, le manteau neigeux est épais de 30 cm de neige (à Tignes, 2100 mètres) et composé de gobelets, surmontés d'une croûte de regel (formée entre le 6 et 7 février). En 72 heures, il tombe 108 cm de neige à 2100 m. La neige est froide et tombe jusqu'en basse altitude (vers 800 m) accompagnée de forts vents. Des avalanches partent spontanément et occasionnent de nombreux dégâts (gare du télésiège des Lanches, piscine de la Grande-Motte). Entre le 13 et le 14, les températures remontent mais les précipitations de neige continuent (50 cm de cumul à 2100 m) en altitude. Dans la nuit du mercredi 14, une avalanche partant du versant nord de Lognan, endommage un chalet. Le mercredi 14, à Val-d'Isère, le chalet de l'UCPA est une nouvelle fois touché. Il le sera encore le lendemain. Dès le matin, une commission déclenche les premières mesures de police ; 400 personnes sont évacuées. Le centre de météorologie publie leur bulletin spécial avalanche. Le risque est maximal, il le restera pendant 3 jours. Une cellule de crise est mise en place par le préfet de Savoie le jeudi 15. Tout le monde songe aux hivers catastrophiques de 1970, 1978, 1981. Le chassé-croisé des vacanciers ne fait qu'accroître les problèmes. Toujours le mercredi, à Tignes, les râteliers inférieurs de la Sache se purgent naturellement et l'avalanche touche une piste de ski ; plusieurs chalets sont endommagés par d'autres avalanches spontanées ou déclenchées. Dans l'après-midi, la gare aval du Télésiège du Marais et la gare amont du télécabine de la Sache au-dessus des Brévières sont partiellement détruites. Avec le redoux, la limite pluie/neige remonte vers 2500 m. Le jeudi 15, de nombreuses avalanches de fond se déclenchent spontanément : quelques pistes, immeubles, parkings sont touchés. La situation devient confuse : les services des stations ou de l'Équipement ne savent pas s'il est opportun de déclencher localement ou non. Les accès en haute Tarentaise sont bloqués. Le cumul de neige est alors de 276 cm à 2100 m. Le vent a localement accumulé des quantités considérables. Le vendredi 16, une accalmie provisoire permet de parer au mieux, de sécuriser les pistes et de nombreuses zones. Les spécialistes dépêchés par la préfecture effectuent des sondages : la situation semble rapidement s'améliorer. Les tirs préventifs commencent à devenir négatifs. Le samedi 17, les routes sont progressivement ouvertes. Le beau temps revient le dimanche [20, 21, 22].

## Procédures

Face à une situation de crise, il existe trois niveaux de plans de secours :

- *au niveau de la commune*, le maire a tout pouvoir dans la direction des secours (article L 131-1, Code des communes) : interdiction d'accès, déclenchement préventif, évacuation, premiers secours. . . Si la crise s'aggrave, le maire peut appeler l'autorité

supérieure ;

- *au niveau préfectoral*, si la crise concerne plusieurs communes ou si le préfet le juge nécessaire dans une commune (art. L 131-13 ou article 5 de la loi 87-565 du 22 juillet 1987), ce dernier peut élaborer et déclencher un *plan d'organisation des secours* (ORSEC), qui regroupe les moyens publics et privés habilités à agir selon un organigramme précis ;
- le *plan de secours spécialisés* (PSS) est un plan d'urgence lancé par le préfet pour compléter des secours.

## 8.3 Autres problèmes liés à la neige

### 8.3.1 Transport de neige par le vent et viabilité hivernale

Le transport de neige par le vent entraîne la formation de congères et une diminution de la visibilité sur les routes. Les zones de montagne et de plateaux sont annuellement confrontées à ce problème. Pour lutter contre ces nuisances, il existe plusieurs moyens plus ou moins largement utilisés<sup>17</sup> [8, 23] :

- modification du profil de la chaussée, aménagement des routes : 16 % ;
- action de déneigement : 77 % ;
- transformation de l'environnement : 7 %.

#### Modification du profil de la chaussée, aménagement

Il s'agit par divers moyens d'éviter que la neige transportée par le vent ne se dépose sur la chaussée. Les principes sont identiques quelle que soit la parade adoptée :

- lutter contre la création de zones mortes (tourbillonnaires) en diminuant les effets de sillage créés par un obstacle ;
- empêcher que la neige soit transportée ;
- stocker la neige transportée.

À cet effet, plusieurs actions sont possibles :

► **Ouvrages à vent** : il s'agit d'ouvrages qui, en modifiant localement le comportement du vent, forcent la neige à se déposer. Il en existe deux sortes :

- les ouvrages imperméables : il se crée des zones mortes où la neige piégée se dépose ;
- Les ouvrages perméables : le vent passe au travers du dispositif. Pour quantifier le degré de perméabilité, on introduit un indice de porosité (rapport de la surface vide sur la surface totale). La majeure partie des systèmes utilisés ont une porosité comprise entre 40 et 60 % ; cette plage de valeurs s'avère en effet la plus efficace dans le but recherché (congère longue et peu épaisse). On aménage également un espace libre (environ 20 % de la hauteur totale) entre le sol et le tablier, appelé garde au sol. Le vent qui s'y engouffre empêche le dépôt de neige au niveau de l'ouvrage, qui pourrait obstruer les mailles et arrêter l'écoulement d'air.

Les spécifications de conception (l'inclinaison par rapport au sol, la hauteur, la longueur, la garde au sol, la porosité, etc.) sont fixées dans le cadre de la norme française P-95-305 ; en fonction de la stratégie adoptée, on peut compléter le dispositif en fixant

<sup>17</sup>. Chiffres cités d'après enquête auprès des subdivisions de l'Équipement [8].

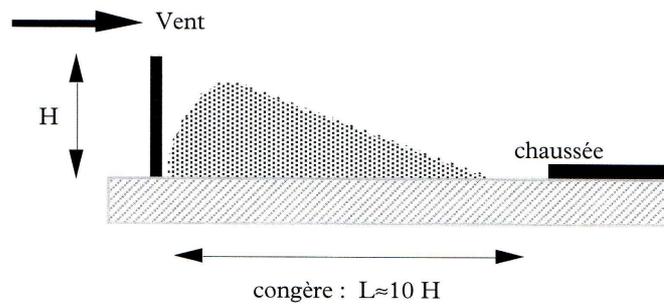


Figure 8.4 Effet dû à une barrière imperméable. D'après [8].

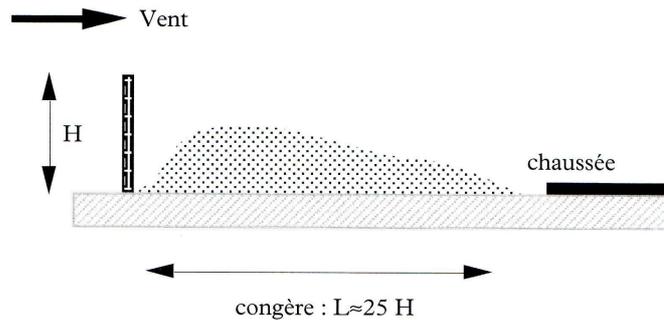


Figure 8.5 Effet dû à un obstacle poreux sans garde au sol. D'après [8].

la zone d'implantation, l'orientation de l'ouvrage, le type d'ancrage, etc. On distingue plusieurs types d'ouvrages (voir § 8.2.2)

- *barrière à neige* ;
- *toit-buse* ;
- *vire-vent*.

► *Végétalisation* : il s'agit de planter des arbres ou des arbustes qui empêchent la formation des congères. Pour que le dispositif soit efficace, il faut que le vent souffle perpendiculairement à l'axe de la plantation. Selon l'importance du boisement à créer, on aura différentes catégories de protection :

- la *haie brise-vent* : son rôle est analogue à une barrière à neige en créant une zone de dépôt. Une haie comporte au plus cinq rangées successives de feuillus. Il faut veiller à émonder les branches inférieures afin de ménager une garde au sol.
- la *bande boisée* : on parle de bande boisée lorsqu'il y a plus de cinq rangs d'arbres, soit une largeur en moyenne supérieure à 15 m. En s'engouffrant dans cette zone, l'air décélère, perd de son humidité et dépose de la neige, qui y est stockée. En revanche, elle peut aussi être un facteur favorable à la formation de verglas. Il faut absolument éviter les trouées (lignes d'électricité, pâturage, etc.) qui canaliseront l'air comme un entonnoir.

► *Aménagement de la route* : il s'agit de modifier le tracé de la chaussée pour réduire la naissance et le développement de congères. Il convient d'éviter des profils en déblai, ou des changements de pentes brusques. On fait attention à l'effet de sillage dû à des obstacles naturels ou non (pile de pont, écran anti-éblouissement...). On favorise au contraire un relèvement de la chaussée (remblai), un adoucissement des ruptures de pente. Dans des zones particulièrement difficiles, on peut envisager la construction d'ouvrages spécifiques

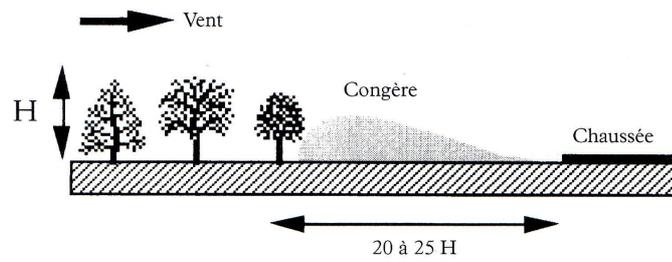


Figure 8.6 Rôle d'une haie brise-vent. D'après [8].

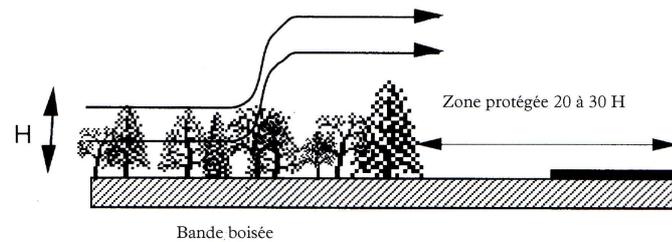


Figure 8.7 Effets d'une bande boisée. D'après [8].

comme

- galerie ;
- tunnel ;
- viaduc.

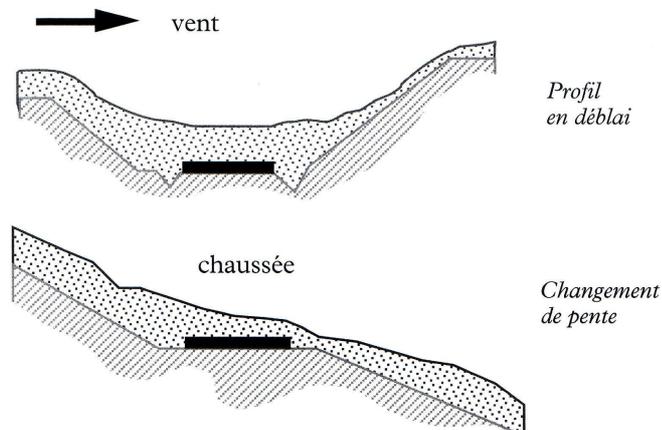
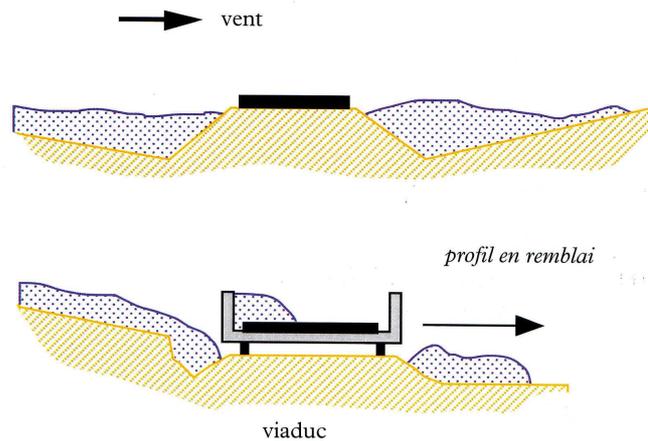


Figure 8.8 Profils propices au développement des congères. D'après [8].

### Actions de déneigement

Il s'agit par des moyens mécaniques (lame biaisée, étrave, fraise, voire tracteur ou bulldozer) de déneiger la route (précipitations ou congères). Dans des régions où la formation de congères entravant la circulation routière est peu fréquente, ce genre d'action est le plus utilisé. Pour des zones de montagne, un engin est capable d'ouvrir une route enneigée à cause de chutes de neige ou du vent. En revanche, ce type d'action n'offre aucun remède contre la perte de visibilité lors d'épisode venteux (saltation), qui est souvent



**Figure 8.9** Aménagements en vue de réduire les congères. D'après [8].

Engin utilisé	Hauteur de la congère	Vitesse de déneigement	Coût au kilomètre
étrave	$h < 50$ cm	15 km/h	50–80 €/km
fraise	$50 < h < 150$ cm	2 km/h	400 – 500 €/km

à l'origine de la fermeture d'une route. Par ailleurs, le passage répété d'engins crée le long des côtés de la route des bourrelets (cordons de déneigement), qui favorisent la naissance rapide de congères. À titre d'exemple, on donne le coût d'opérations de déneigement en fonction de l'engin utilisé (à partir d'une enquête du CETE [8]) :

### Transformation de l'environnement

Cette opération consiste à reboiser des surfaces importantes dans la zone d'ablation pour éviter l'érosion éolienne de la neige. Un réseau d'arbres (à la manière du bocage normand), un boisement diffus (nombreux bosquets) sont suffisants à freiner et fixer la neige ; néanmoins, il faut des surfaces suffisamment importantes et les cas de reboisement pour lutter contre les congères sont rares.

### 8.3.2 Neige et constructions

#### Nature des problèmes

La neige peut être une source de nuisance pour les bâtiments en montagne, plus rarement en plaine : formation de congères qui obstruent les accès mais surtout surcharge des toitures, ce qui peut occasionner d'importants dégâts comme les chutes de neige du 8 au 13 décembre 1990 dans la vallée du Rhône (cf. § 6.1.3). Il existe des normes de construction françaises : les règles N.V 65 et N.84 (applicables depuis 1986) indiquent les valeurs de charge que doivent supporter les toitures, selon les régions et l'altitude (indiquées par la carte Neige quatre régions A, B, C et D) et la nature du bâtiment (habitat, serre...).

Altitude	région A	région B	région C	région D	SIA
200	60	75	90	130	–
400	95	110	125	165	–
600	150	165	180	220	–
800	235	250	265	315	–
1000	320	335	350	390	370
1200	400	415	430	470	515
1400	485	500	515	555	685
1600	595	610	625	665	885
1800	725	740	755	795	1110
2000	860	875	890	930	1360

### Normes en vigueur

On indique dans le tableau suivant les valeurs de charge (en  $\text{daN/m}^2$ ) d'après le règlement N.84 et pour comparaison les normes suisses SIA [9].

Pour Rhône-Alpes :

- région B : Ain, Allier, Haute-Savoie, Isère, Savoie ;
- région C : Ardèche, Drôme.

# Bibliographie

- [1] L. Rey : *La neige, ses métamorphoses, les avalanches* (1986, ANENA, Grenoble) 214 p.
- [2] M.-C. Busset et P. Schoeneich : « Stratégies traditionnelles face au danger d'avalanches », *Comptes rendus du Symposium Interpraevent*, Garmisch-Partenkirchen (1996, Tagungpublikation) 225–264.
- [3] B. Saillet : « Le service de restauration des terrains en montagne, la neige et les avalanches », *Comptes rendus du Symposium de Chamonix* (1991, ANENA) 46–49.
- [4] M. Campagne : *Les travaux de défense contre les avalanches dans la vallée de Barèges* (1905, Imprimerie Nationale, Paris).
- [5] A. Guislain : « La lutte contre les avalanches en Suisse », *Revue des Eaux et Forêts* (1947).
- [6] L. de Crécy : « L'ANENA a vingt ans », *Neige et Avalanches* **56** (1991) 12–16.
- [7] J. Saunier : *Mission interministérielle d'étude sur la sécurité des stations de montagne*, Rapport interministériel (1970).
- [8] F. Naaim et G. Brugnot : *Transport de neige par le vent, connaissances de base et recommandations* (1992, Cemagref, Grenoble).
- [9] J. P. Navarre : « La neige et les constructions », *Neige et Avalanches* **8** (1992) 3-11.
- [10] K. Krister : « Snow avalanche accidents in Norway », *Comptes rendus du Symposium de Chamonix*, Chamonix (1991, ANENA, Grenoble) 92–100.
- [11] F. Sivardière et F. Valla : « Evolution des accidents d'avalanche en France de 1971 à 1994 », Comptes rendus de « Les apports de la recherche scientifique à la sécurité neige, glace, et avalanche », Chamonix, coordonné par F. Sivardière (1995, Cemagref) 13–18.
- [12] M. Gay et F. Rapin : « À propos du déclenchement artificiel : comment choisir entre CATEX et GAZEX ? », *Comptes rendus d Symposium de Chamonix*, Chamonix (1991, ANENA).
- [13] C. Charlier : « L'expertise du risque d'avalanche », *Comptes rendus de International Symposium on Avalanche Control*, Nagaoka (1991).
- [14] F. Rapin : *Un récapitulatif des techniques françaises de protection paravalanche*, Rapport interne (1994, Cemagref, Grenoble).
- [15] F. Rapin : « Un récapitulatif des techniques françaises de protection paravalanche », *Neige et Avalanches* **55** (1991) 24–27.
- [16] R. Midi-Pyrénées : *Gestion forestière et risques naturels, Pyrénées centrales*, Rapport interne (1994, ONF, Toulouse).
- [17] J.-P. Gout : *Prévention et gestion des risques majeurs, les risques d'origine naturelle* (1993, Eyrolles, Paris) 304 p. Voir aussi L. Besson : *Les risques naturels en montagne* (1996, Artès Publialp, Grenoble) 438 p.

- [18] C. Charlier : « Le dispositif paravalanche de Tacconnaz », *Comptes rendus de Symposium de Chamonix* (1991, ANENA) 17–24.
- [19] J. P. Navarre, J. Villocrose, E. Pahaut et J. König-Barde : « Caractères exceptionnels de l'enneigement du début de l'hiver 1989/90 », *Neige et Avalanches* **53/54** (1991) 15–23.
- [20] B. Foucher : « Situation avalancheuse exceptionnelle, épisode du 10 au 16 février 1990 », *Comptes rendus de l'Université d'été sur les risques naturels*, Chamonix Cemagref, coordonné par l'ANENA (1995, Cemagref) 19–22.
- [21] C. Forget : « Les Alpes dans la tempête », *Neige et Avalanches* **51** (1990) 2–3.
- [22] C. Charlier : « La crise neige de février 1990 en Tarentaise : une relation simplifiée des faits », *Comptes rendus de l'Université d'été sur les risques naturels*, Chamonix Cemagref, coordonné par l'ANENA (1995, Cemagref) 19–22.
- [23] F. Sivardière et T. Castelle : « Les ouvrages à vent », *Neige et Avalanches* **60** (1992) 16–23.