

Montroc, 20 ans après

Le 9 février 1999, il y a 20 ans, une avalanche partie de la montagne de Péclerey balaya le hameau de Montroc (Chamonix-Mont-Blanc, Haute-Savoie), tuant 12 personnes dans leur logement. Ce même hiver 1999, les avalanches touchèrent également des habitations en Suisse, Autriche, et Italie, et le nombre de victimes (68 personnes tuées dans des habitations) fut le plus élevé depuis 1970, année de la catastrophe de Val d'Isère. [1]

Février 1999 : tempêtes sur les Alpes

Depuis l'hiver 1999, les Alpes ont subi des passages dépressionnaires accompagnés de fortes chutes de neige, mais aucun ne présenta des cumuls de neige, des durées de précipitation, et un historique comparables à ce qui a été vécu en février 1999. À une époque où le réchauffement climatique fait surtout craindre le manque de neige, on pourrait y voir une fréquence moindre des épisodes neigeux critiques. Toutefois, si on examine la fréquence de tels épisodes au cours du XXe siècle (sans trop se focaliser sur le nombre de victimes, qui reflètent probablement plus l'intensification de la présence humaine que l'intensité des avalanches), on note qu'entre 1914 et 1950, il y a eu peu de gros épisodes critiques qui concernent une grande partie du massif alpin alors que pour la seconde moitié du XXe siècle, on dénombre plusieurs hivers critiques 1951, 1954, 1968, 1970, 1978, 1981, et 1999. De ce point de vue-là, nous sommes dans une phase plutôt calme. Cela ne présage rien quant à la tendance future.

Les réactions immédiates à la catastrophe

L'avalanche de Montroc a d'abord nourri la presse. L'analyse des articles parus dans la presse généraliste ou spécialisée

montre que les journalistes ont surtout pointé la recherche du profit, l'urbanisation de secteurs à risque, et la complaisance des autorités locales face à la pression foncière. Cependant, les enquêtes diligentées par l'administration (le préfet de Haute-Savoie), puis la justice n'ont jamais fait ressortir d'éléments corroborant la thèse d'un urbanisme dévoyé par les intérêts privés à Montroc. Dès le lendemain de la catastrophe, le préfet de Haute-Savoie a commandé deux enquêtes : une diligentée par Richard Lambert (géographe de formation, consultant, universitaire, et expert près la Cour de cassation), et une autre conduite que j'ai présidée au Cemagref (en demande l'assistance de Météo-France). La justice mandata par la suite Richard Lambert pour l'expertise judiciaire. Les rapports d'expertise n'ont jamais été rendus officiellement publics, mais j'en ai tiré des articles parus dans des revues spécialisées pour ce qui concerne mon rapport [1].

Le maire, victime expiatoire ?

L'année 1999 a été une année noire pour la municipalité de Chamonix puisqu'en mai ce fut l'incendie du tunnel du Mont-Blanc qui endeuilla la commune. Responsable politique, le maire de Chamonix fut mis en examen et condamné, mais une loi d'amnistie annula cette condamnation. En gros, ce que la justice reprocha au maire, c'est de ne pas avoir fait évacuer les chalets de Montroc alors que la CLPA dans sa dernière version (1992) indiquait une avalanche allant jusqu'aux habitations. Dans ses attendus rendus en juillet 2003, le tribunal notait [2]

« Il était du devoir du maire, seul habilité à le faire, de prendre une mesure d'évacuation d'un site manifestement exposé à un risque majeur d'avalanche.

En s'en abstenant alors qu'il est démontré qu'il devait connaître le risque et qu'il avait les moyens de le faire, le maire a manqué à son obligation de prévenir l'avalanche par

des précautions convenables et en cas de danger grave ou imminent, tel qu'en l'espèce, de prescrire l'exécution des mesures de sûreté exigées par les circonstances.

La faute ainsi commise par Monsieur Michel C. est établie, elle revêt un caractère d'une particulière gravité par l'accumulation des fautes d'appréciation du risque et de mise en œuvre de la prévention alors que de nombreuses vies humaines étaient en danger. »

Fronde des élus

La condamnation du maire de Chamonix n'a pas fait l'objet d'appel puisqu'il y a eu amnistie. Et donc le fond technique du dossier (la prévisibilité de l'avalanche, la possibilité d'évacuer des personnes pour une commune menacée par 116 couloirs d'avalanche) n'a pas été débattu plus longuement. Cela n'a pas été sans conséquence. Comme pour le jugement d'Évolène, les scientifiques (qui n'ont pas été auditionnés par le juge) sont moins catégoriques que la justice sur la connaissance certaine d'un risque fort. Les élus ont l'impression que l'État se donne le beau rôle en imposant le zonage de risque, tout en transférant la responsabilité opérationnelle aux autorités locales. Quand les services de l'État ont cherché à édicter des règles communes de zonage, ensemble de règles regroupées dans le « guide méthodologique PPR avalanche », ils ont cherché à promouvoir les zones jaunes, zones *a priori* soumises à un risque faible, mais qui exceptionnellement pourraient être touchées. Ces zones jaunes devraient compléter le découpage du territoire urbanisé (ou urbanisable) en rouge/bleu/blanc. Si des mesures constructives de protection paravalanche accompagnent les zones bleues, seules des mesures temporaires de consignation/évacuation concernent les zones jaunes. Cette évolution inspirée du modèle suisse aurait dû être facilement adoptée. Cela fût l'inverse. Techniquement prêt en 2002, le guide PPR avalanche élaboré par le RTM n'a été publié officiellement qu'en 2015

[7]. La fronde des élus chamoniards a bloqué le dossier pendant 13 ans. À ce jour, le hiatus entre juges, scientifiques, élus, et représentants de l'Etat sur un dossier comme celui de Montroc est toujours béant. Le temps a passé, la béance devient moins visible au fur et à mesure que le temps passe, mais elle est toujours là.

Réaction sur le long terme

Après le volet judiciaire, il y a une enquête administrative. Comme c'est souvent le cas le lendemain d'une catastrophe, on cherche des coupables, mais on cherche aussi comment éviter l'occurrence de nouvelles catastrophes. Il y a eu deux missions interministérielles commandées par l'État :

- En octobre 2000, la mission composée de B. Glass, P. Huet, M. Rat, et R. Tordjeman publiait son rapport sur l'avalanche de Montroc [3]. Parmi les préconisations, il y avait la révision du zonage de Chamonix, le guide PPR avalanche et un recensement des couloirs d'avalanches pouvant atteindre des zones habitées et des voies de communication (Sites Sensibles aux Avalanches) sur l'ensemble du territoire national. Le RTM se voyait confier l'élaboration du guide PPR et la révision du zonage tandis que le Cemagref (devenu Irstea) gérait le volet SSA.
- En avril 2011, Le Gallou et Guignard rendaient les conclusions de leur rapport sur les avalanches exceptionnelles [4]. Conclusions multiples avec des volets opérationnels et juridiques. Un point important a été de savoir comment prendre les bonnes décisions dans un environnement marqué par les incertitudes. Parmi les réponses esquissées, les rapporteurs préconisent le recours aux modèles numériques en dépit de leurs limites. Les rapporteurs relativisaient également la menace des avalanches par rapport à l'ensemble des risques que la France connaît.

Au fur et à mesure que le temps a passé, l'urgence a diminué, d'autres catastrophes naturelles comme la tempête Xynthia en 2010 ou les crues éclair à répétition sur la façade méditerranéenne ont focalisé l'attention des pouvoirs publics. Face au creusement du déficit, une constante de l'action publique a été de réduire les coûts en sabrant certains postes. Au cours des années 2010, l'ANENA a vu ses subventions étatiques et régionales fondre comme neige au soleil, le financement de l'enquête permanente des avalanches (EPA) et de la cartographie (CLPA) a été réduit, le RTM est passé du statut de service de l'État à prestataire commercial (établissement public à caractère industriel et commercial) sous la tutelle de l'ONF (organisme lui-même lourdement déficitaire). En dépit des déclarations publiques, les années post-Montroc marquent surtout un désengagement de l'État de ses missions régaliennes en matière de sécurité.

Révision du zonage

Une des conséquences de l'avalanche de Montroc (et des crues de 1996) a été aussi la révision du zonage de Chamonix. Le RTM a proposé une révision au début des années 2000, mais elle n'a pas convaincu tous les habitants. Une association de victimes (l'AIRAP) et des associations de riverains (Riverains du chemin du vieux four à Argentières) ont décidé de faire appel aux services de Richard Lambert. Il leur a rendu un premier rapport en 2007, mis en ligne sur le site de l'AIRAP. Ce rapport pointait des problèmes sur plus de 40 couloirs (donc le tiers des couloirs recensés sur la commune).

Cela a créé du remous, on l'imagine bien. En 2011, 4 ans après donc, la Direction générale de protection contre les risques du Ministère de l'environnement (DGPR), missionne M. Lambert qui rend son rapport sur le zonage PPR en janvier 2012. Embarrassée, la Direction départementale des territoires du territoire (DDT-74), désormais en charge du dossier, décide de lancer une consultation en avril 2012. Le cahier des charges

prévoit le recours aux simulations numériques pour trancher le différend entre le zonage RTM et le zonage Lambert. C'était l'une des préconisations du rapport Le Gallou-Guignard. Contacté par la DDT-74, je leur indique que scientifiquement, aucun modèle n'est capable de répondre à la problématique (notamment, prédire avec la précision de l'échelle cadastrale l'extension de phénomènes exceptionnels). Pour la personne de la DDT en charge de cet appel d'offres, au diable les avertissements, peu importe l'état de l'art, on trouvera toujours quelqu'un pour faire le boulot quand il existe des codes commerciaux. En août 2012, la DDT confie l'analyse numérique de 50 couloirs à un groupement composé de Robert Bolognesi (géographe, Météorisk, Sion), André Burkard (ingénieur forestier, bureau Geoformer Brigue), Enrico Ceriani (technicien forestier, studio tecnico Ceriani, Aoste), et Jean-François Meffre (spécialiste des avalanches, ASI, Andorre). Si deux des membres sont des praticiens reconnus avec une grande expérience des avalanches et du zonage, aucun n'est un spécialiste de la dynamique des avalanches et de la simulation numérique. Il en est de même du comité de pilotage, sans aucun spécialiste. Le groupement a utilisé le code commercial Ramms vendu par le SLF. Comme ce sont les données du rapport Lambert qui ont été utilisées, il est peu étonnant que les simulations corroborent le dire d'expert de M. Lambert. Un membre de ce groupement me confiait que tout cela a dû être réalisé en peu de temps, avec la planification imposée par la DDT, ce qui a laissé peu de temps pour réellement mener une analyse fine, *a fortiori* quand le cahier des charges cadrait strictement la méthodologie de l'étude. Tout cela a quand même coûté 450 k€ à la collectivité. En mai 2015, la DDT présentait son nouveau zonage PPR. Dans un courrier à l'AIRAP, Richard Lambert qui avait porté l'essentiel du travail d'analyse regrettait que la DDT ne fasse pas mention à son travail, mais seulement à l'« expertise internationale » (sic) [5-6]. Bref, il dénonçait l'ingratitude de la DDT 74. Hormis cette voix discordante, tout le monde s'est félicité du nouveau PPR, et personne n'a

trouvé à redire face à la somme engloutie dans cet exercice en une période de disette budgétaire. Quelle a été la plus-value des simulations numériques hormis de donner un alibi scientifique ? Une question que la DDT a évité de se poser... ainsi que tous les responsables de l'État y compris à la DGPR à qui je l'ai posée.

Conclusions

Alors a-t-on progressé depuis Montroc en matière de zonage ? L'absence d'événements catastrophiques peut le laisser croire. La population croît, l'affluence touristique ne fléchit pas, la pression foncière va donc croissante, et cela pousse à construire dans des zones plus exposées aux dangers naturels. Pendant longtemps, le pragmatisme, le savoir-faire empirique et l'expérience ont été les outils de l'ingénieur ou du fonctionnaire pour évaluer au mieux le risque. Chez les praticiens expérimentés, je n'ai trouvé globalement que très peu d'erreurs dans les zonages, et celles-ci demeurent souvent dans la marge d'appréciation compte tenu des incertitudes (grandes) et de la fréquence (faible) des avalanches extrêmes. Ce qui apparaît comme le fait marquant des années 2010 est l'apparition d'une approche normative : des procédures encadrant les démarches de zonage, la traçabilité des changements, et le recours de plus en plus systématique à des modèles numériques. Cela peut sembler paradoxal, mais depuis lors, je n'ai jamais vu autant d'erreurs basiques dans le travail de zonage, et ces erreurs sont devenues très fréquentes. On a donné un vernis de technicité en généralisant les modèles numériques, mais plus grand monde, que cela soit dans les services instructeurs ou les bureaux d'étude, ne semble être capable de déceler les incohérences grossières qui peuvent apparaître dans les études. Face à un monde complexe, la tendance lourde de nos sociétés a été de créer des approches normatives. L'administration instruisant un dossier ne cherche plus à en vérifier la pertinence vis-à-vis du réel, mais la conformité par rapport à des critères qu'elle a elle-

même établis. En parallèle des rapports officiels publiés par la DGPR, l'administration a produit une abondante littérature grise sur les avalanches, par copier-coller et compilation de sources variées façon wikipedia, auto-alimentant l'illusion d'un savoir scientifique et rigoureux. C'est très sérieusement que la DDT-74 annonce ainsi que pour le nouveau zonage « les études ont été poussées au maximum des outils actuellement disponibles » [6]. Cette déclaration hyperbolique n'est pas une ficelle de politicien (plus le mensonge est gros, plus il passe facilement) ou du positivisme à la mode de Coué, mais reflète bien l'incapacité de l'administration à distinguer le sérieux du loufoque dans les études.

Quand on dresse le bilan des deux dernières décennies, il ne semble guère que l'administration ait appris des erreurs commises dans le zonage avalanche. Les cafouillages ont été nombreux à Chamonix et expliquent le retard considérable dans la mise à jour du PPR (16 ans !) : surdité des services locaux de l'État, érosion des compétences au sein des services, fronde des élus, règlements de compte et querelles de clochers, et absence de toute expertise scientifique depuis le rapport de 1999. Les problèmes de fond ont été exacerbés et, escamotés sous le vernis d'une technicité affichée comme scientifique, ils sont des bombes à retardement. Dans le dossier de Chamonix, les choses ont bougé sous l'action des associations privées, et parce qu'un expert a fait l'essentiel du travail d'analyse critique. Mais ailleurs ? Il est fort probable que le prochain hiver à fort enneigement réserve de très mauvaises surprises.

Références

- [1] On peut se référer à cette page pour plus d'information : Avalanches de 1999. J'ai mis en ligne le rapport sur l'avalanche de Montroc que j'avais rédigé en 1999 à la demande de la Préfecture de Haute-Savoie.
- [2] Attendus du jugement de juillet 2003

- [3] Rapport Glass et col.
 - [4] Rapport Le Gallou et Guignard
 - [5] Nouveau PPR de Chamonix
 - [6] Site de l'AIRAP et témoignage de Richard Lambert
 - [7] Guide PPR avalanche
 - [8] Rapport BBCM
-

Avalanche de l'Arcelle du 16 avril 2009

Dans l'après-midi du 16 avril 2009, une avalanche s'est produite dans le cirque de l'Arcelle. Elle a coupé deux pistes de ski du domaine de Val-Cenis-Vanoise. Cet article revient sur les circonstances et les conséquences de cet événement exceptionnel.

Site

Le site de l'Arcelle est un vaste versant qui s'étire du Signal du Mont-Cenis (3377 m) jusqu'à la rive gauche de l'Arc (1470 m) à Lanslevillard (Savoie). La ligne de crête longue d'environ 1,8 km dépasse les 3000 m d'altitude. L'orientation générale est au nord-ouest, mais certains panneaux du cirque sont exposés différemment. Le site est connu pour son activité avalancheuse. Des avalanches coulantes exceptionnelles comme celle de mai 1983 peuvent atteindre l'Arc ; le haut du site a également été à plusieurs reprises balayé par des aérosols plus ou moins puissants et des avalanches coulantes rapides. C'est ce caractère avalancheux qui a longtemps été un frein à l'équipement du secteur. Les responsables de la station s'étaient donné plusieurs saisons d'observation pour déterminer la meilleure façon d'aménager le secteur. Un

lanceur pneumatique (avalancheur) a été installé durant l'hiver 1997-98 afin de tester les pentes de l'Arcelle. À l'automne 2000, plusieurs gazex ont été disposés dans tout le cirque pour protéger les nouvelles pistes de ski.

Conditions météorologiques

La saison 2008-09 a été particulière sur le plan nivo-météorologique. La position stable, mais anormale des centres dépressionnaire et anticyclonique sur l'Atlantique nord a permis la succession de retours d'est, où de l'air humide venant de Méditerranée remontait vers les Alpes, où il rencontrait un courant polaire, ce qui générait des chutes de neige localement abondantes sur toute la chaîne frontalière. Les températures sont restées durablement froides, même si elles n'ont pas atteint les records enregistrés en 2006. L'enneigement a été globalement très bon, voire exceptionnel sur certains secteurs. Une activité avalancheuse de grande ampleur a été observée dans les massifs méridionaux et le long de la chaîne frontalière en décembre 2008 ; dans le cirque de l'Arcelle, une avalanche avec une composante en aérosol a causé des dommages mineurs à la gare de départ du télésiège de l'Arcelle (2320 m).

L'hiver s'est passé assez tranquillement sur Val-Cenis, avec des chutes de neige assez régulières et des températures froides. Au début du mois d'avril, des conditions anticycloniques se sont maintenues plusieurs jours sur les Alpes, avec des températures moyennes plus élevées que la normale et l'isotherme 0 °C oscillant entre 2500 et 3000 m d'altitude. Les nuits claires ont favorisé le regel de surface du manteau neigeux, tandis qu'une activité avalancheuse modérée (essentiellement des coulées de neige humide) était observée durant les fins de journée. Lors du week-end de Pâques (11-13 avril 2009), une situation de barrage s'est installée, causant parfois de fortes chutes neiges sur la chaîne frontalière. Celles-ci sont toutefois restées modérées

sur Val-Cenis (voir fig. 1). Le lundi de Pâques, la situation est redevenue globalement anticyclonique sur les Alpes, mais une dépression secondaire était en train de se creuser sur la Méditerranée. Le mercredi 15 et le jeudi 16 avril, une situation de foehn concerna les chaînes frontalières ; la limite des chutes de neige se situa autour de 2000 m et descendit jusque vers 1500 m en fin d'épisode (matinée du 16 avril). Sur Val-Cenis, cet épisode a amené environ 30 cm de neige à 2000 m, sans doute 40 à 50 cm de neige en altitude. Malgré ces chutes de neige, le manteau neigeux à 2000 m avait déjà commencé sa fonte printanière. Pour la journée du 16 avril, Météo-France annonçait un risque 3 (évoluant en 4 durant l'après-midi), ce qui est le cas le plus souvent en cette saison après des chutes de neige et des oscillations de l'isotherme 0 °C.

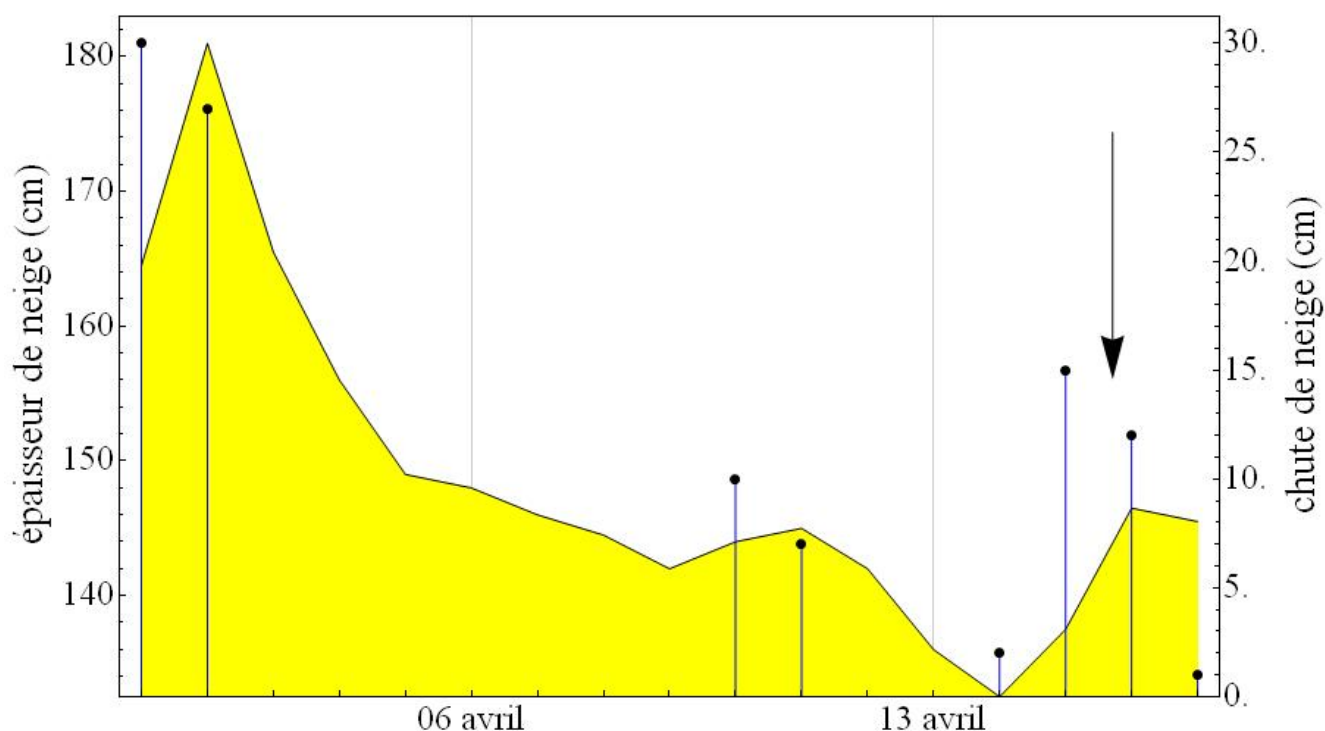


Figure 1 : chronologie des chutes de neige sur le poste du Vieux Moulin (1970 m) pendant le mois d'avril 2009. On a reporté les chutes de neige journalières (points) et l'évolution de l'épaisseur du manteau neigeux (courbe). La flèche indique la date de l'avalanche.

Circonstances de l'avalanche

Le service des pistes a conduit des opérations de déclenchement préventif dans le cadre du plan d'intervention pour le déclenchement des avalanches (PIDA) après les chutes de neige du 15 et 16 avril au matin. Les artificiers ont d'abord tenté de procéder à des tirs sur tout le secteur de l'Arcelle à l'aide des gazex, mais compte tenu de la défaillance de l'un des gazex sous la pointe de la Nunda, ils ont décidé de compléter les tirs en lançant deux flèches explosives avec l'avalancheur situé à l'entrée du cirque (2400 m). Ces flèches sont tombées dans le haut du cirque et n'ont pas donné lieu à des départs d'avalanche. Les tirs ayant été négatifs, le service des pistes a ouvert le domaine skiable et les remontées mécaniques sur tout le domaine d'altitude.

L'avalanche de la Nunda est partie naturellement en tout début d'après-midi (vers 13 h 15). C'est le seul événement survenu sur le domaine skiable d'après les artificiers ; aucune autre avalanche d'ampleur n'a été signalée ce jour-là en Maurienne ou dans les Alpes (en particulier aucun accident n'a concerné des skieurs en hors-piste ou ski de randonnée). La seule activité avalancheuse d'ampleur sur l'ensemble des Alpes françaises et suisses a eu lieu le 13 avril (plusieurs départs d'avalanche dus à des passages de skieurs se sont produits ce jour-là, avec en particulier, une avalanche à la Pointe Joanne, Queyras, faisant 3 morts et une avalanche à la pointe des Montets, Vanoise, à la limite du domaine skiable de Val d'Isère, sans faire de victime).

Dans la partie supérieure du cirque de l'Arcelle, le manteau neigeux était typique d'un manteau neigeux froid de haute altitude tel qu'on le rencontre dans les versants nord au printemps. La température était largement négative sur une grande profondeur du manteau neigeux tandis que près de la surface, la teneur en eau liquide était faible. Il ne présentait pas de structure évidente qui puisse laisser

présager une quelconque instabilité (couche fragile, faible cohésion, etc.). La figure 2 montre le profil stratigraphique réalisé 5 jours après l'avalanche dans la zone de départ ; aucun sondage n'a été réalisé dans la zone de dépôt (entre 2200 et 2300 m), mais compte tenu des différences d'ensoleillement et de pente, il est clair que le manteau neigeux y était caractéristique d'un manteau neigeux printanier, composée en partie de neige humide (grains ronds).

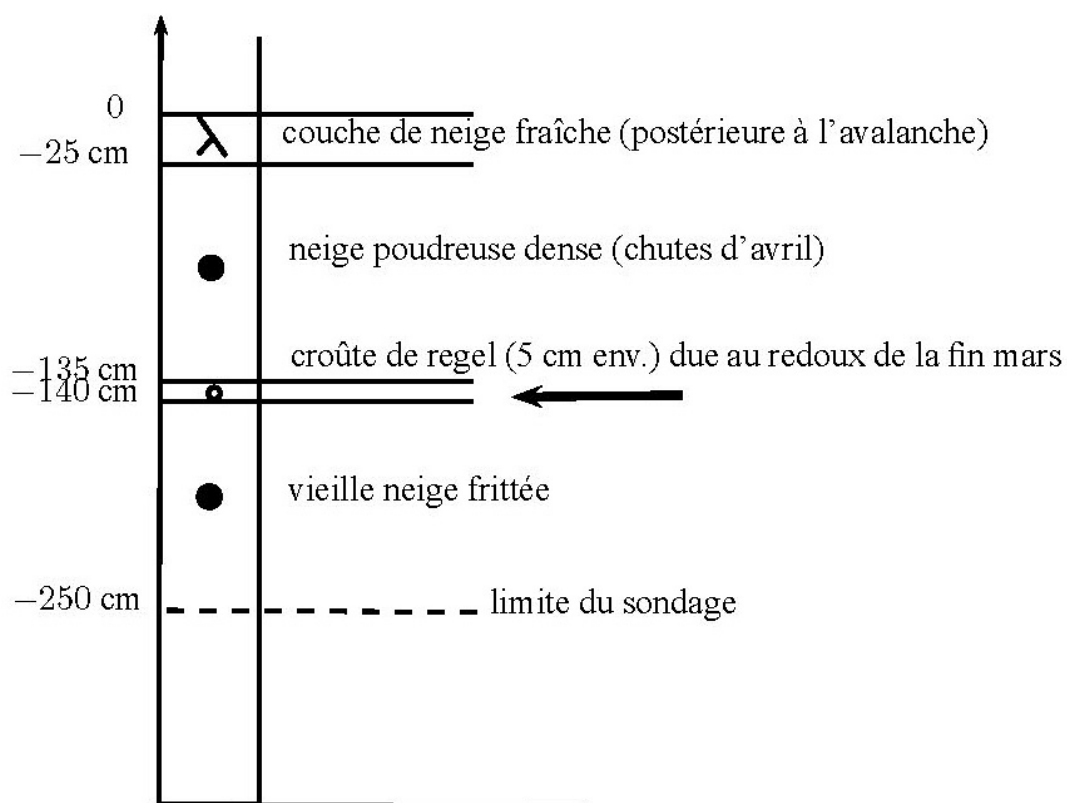


Figure 2 : sondage stratigraphique réalisé le mardi 21 avril 2009 à 2750 m, à l'amont immédiat de la ligne de fracture (vers 2700 m) de l'avalanche du 16 avril 2009.

Dans le ravin sous la pointe de la Nunda (3023 m), une plaque est partie à l'altitude approximative de 2700 m. L'épaisseur de la cassure était d'environ 1 m. L'avalanche a sans doute mobilisé toute la neige récente accumulée depuis le début du mois ; la croûte de regel a dû servir de plan de glissement. Notons que la ligne de fracture était assez complexe et torturée, ce qui tend à indiquer qu'il ne s'agissait pas d'une

rupture typique de neige froide, où la fracture se propage plus ou moins linéairement et quasi instantanément sur de grandes distances. La figure 3 offre une vue d'ensemble du cirque de l'Arcelle après l'avalanche et la figure 4 montre la principale zone de départ sous la pointe de la Nunda.

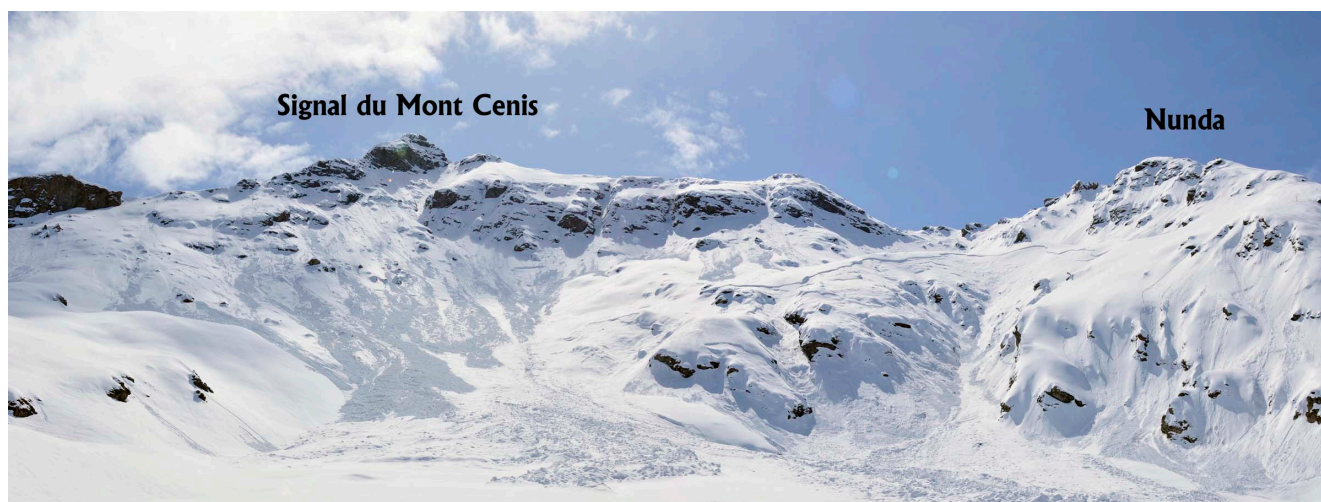


Figure 3 : vue du cirque de l'Arcelle. Le départ principal s'est fait au-dessus du ravin de la Nunda, sur la droite du cliché). Photographie réalisée le 21 avril 2009.



Figure 4 : vue sur la zone de départ de l'avalanche du 16 avril 2009. Sur la droite, on voit l'un des gazex de la Nunda. Cliché pris depuis hélicoptère le 21 avril 2009.

Une explication du départ de l'avalanche pourrait être la suivante :

- des chutes de neige soutenues se produisent entre la journée du 15 et le matin du 16 avril, amenant environ 40 à 50 cm de neige fraîche en altitude (30 cm à 2000 m) ;
- le mauvais temps s'évacue doucement, mais malgré la nébulosité, le rayonnement solaire est suffisant pour provoquer un réchauffement de l'air et des couches de neige ;
- tôt dans la matinée, la neige dans le secteur de la Nunda (orienté au nord) se présente sous la forme d'une neige poudreuse avec une faible cohésion de feutrage. Les déclenchements préventifs avec l'avalancheur sont négatifs, même si vraisemblablement de petites coulées ont dû se produire. La faible cohésion ne permet pas la propagation de fracture ;
- en début d'après-midi, la poudreuse commence à s'alourdir du fait du rayonnement solaire indirect. Il est vraisemblable que compte tenu de l'altitude à laquelle se situe l'isotherme 0 °C (autour de 2500 m), une très faible quantité d'eau liquide (quelques dixièmes de pour cent) soit apparue, ce qui peut expliquer un accroissement sensible de la cohésion de la neige (nécessaire à la propagation de ruptures sur une grande distance) avec, en parallèle et assez paradoxalement, une réduction de la résistance au cisaillement ;
- une coulée (ou plusieurs) partie des panneaux raides sous la pointe de la Nunda sert de détonateur : elle grossit en mobilisant de la neige fraîche et parvient à franchir la zone en pente douce vers 2750 m d'altitude.

Le flux de neige arrive alors dans les ravins sous la pointe de la Nunda et accélère tout en mobilisant de la neige récente. Une première fracture se produit vers la cote 2700 m, ce qui permet la mobilisation de toute la neige récente. Compte tenu de la forme de la cassure, on peut imaginer que la rupture s'est produite par traction du manteau neigeux, comme une couverture en glissement qui vient à se rompre sous l'effet de la traction. La mise en mouvement de la neige de surface entraîne une seconde couche, qui correspond à toute la neige au-dessus de la croûte de regel (voir fig. 2) ;

- il est vraisemblable que le déroulement soit complexe, avec une avalanche s'écoulant en vagues successives. Dans le ravin, l'avalanche mobilise la neige récente, un peu plus humide. La première vague a dû être assez rapide et aller assez loin jusque dans le lit de l'Arcelle Neuve vers 2200 m d'altitude. Les vagues suivantes sont plus lourdes (mobilisant de grandes quantités de boules de neige) et lentes. Elles parviennent néanmoins à creuser leur chenal d'écoulement dans le dépôt meuble de la première vague.

L'avalanche a immobilisé l'essentiel de sa masse entre la piste de l'Arcelle à mi-versant (vers 2380 m) et la piste des Rhodos dans le bas du versant (vers 2250 m). Une faible partie a pu continuer son chemin dans le ravin de l'Arcelle Neuve. Sur la base des événements observés depuis les années 1980, on peut tirer les éléments suivants :

- l'avalanche du 16 avril 2009 est le plus gros phénomène naturel observé depuis 1988 ;
- il semble dépasser le phénomène de février 1988 en termes de volume mobilisé et d'emprise ;
- l'emprise des zones de départ et de dépôt est bien plus étendue que ce que le service des pistes a l'habitude d'observer sur le site depuis la mise en place du PIDA (à l'automne 2000) ;

- la superficie de la zone de dépôt est de 7 ha environ, ce qui suggère un volume déposé voisin de 200 000 m³ et des hauteurs de dépôt de plusieurs mètres.

La période de retour du phénomène est grande, de l'ordre de 20 à 30 ans. La figure 5 montre l'emprise de l'avalanche.

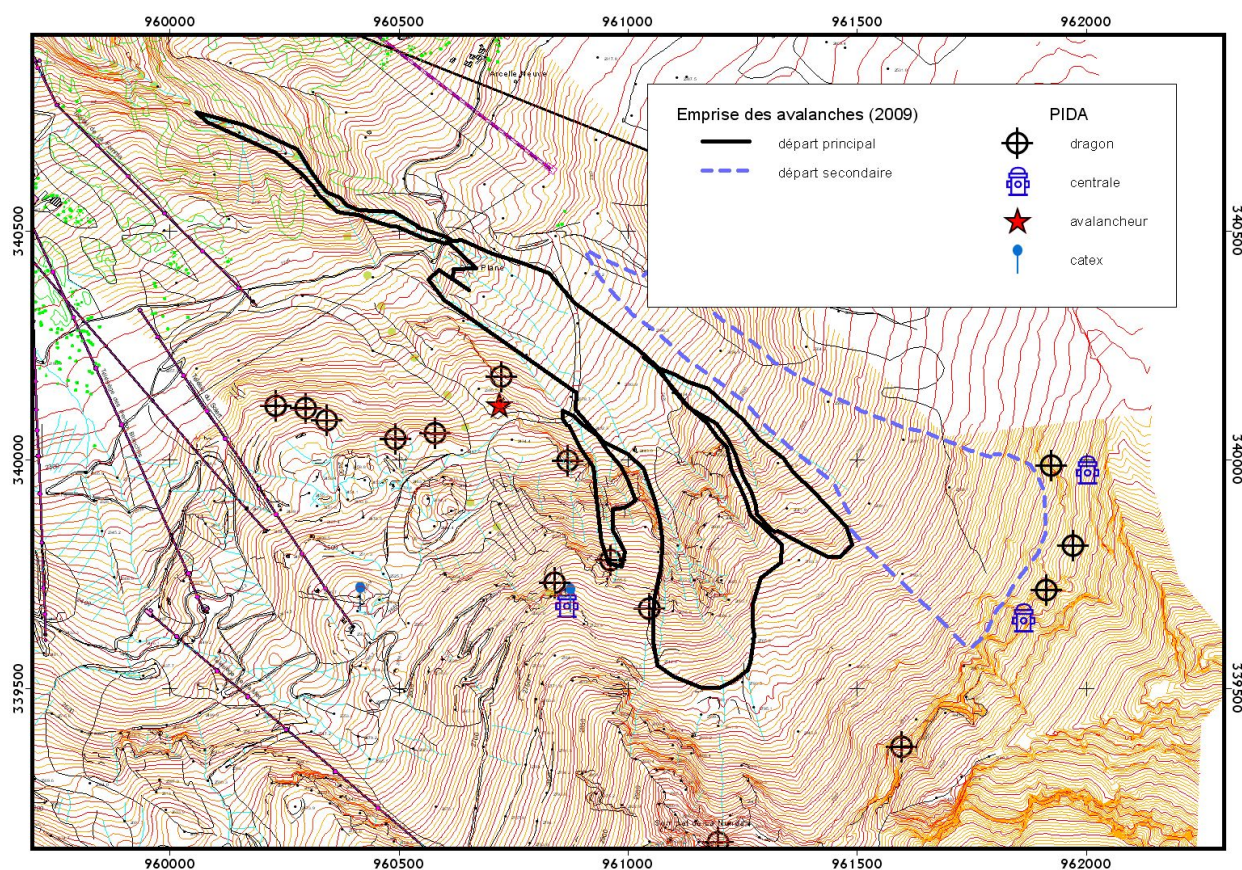


Figure 5 : emprise de l'avalanche du 16 avril 2009 d'après le relevé du 21 avril 2009.

Opérations de secours

Les opérations de secours ont été mises en œuvre avec une grande rapidité. Des pisteurs, un peloton de gendarmes, des CRS, et sept équipes cynophiles ont sondé la zone de dépôt durant tout l'après-midi (voir fig. 6). Par chance, aucun skieur n'a été emporté par l'avalanche. Les opérations de secours ont été arrêtées en fin d'après-midi.



Figure 6 : équipe cynophile en action. © Service des pistes de Valcenis.

Quelles leçons en tirer ?

Un événement exceptionnel est toujours l'occasion d'apporter des éléments nouveaux qui enrichissent notre compréhension et notre expérience des phénomènes naturels. Examinons l'avalanche de l'Arcelle sous trois éclairages différents : celui de la compréhension naturaliste, celui de la gestion du domaine skiable, et celui du niveau de sécurité sur des pistes de ski. L'avalanche de l'Arcelle du 16 avril 2009 étonne à plus d'un titre :

- le manteau neigeux était globalement stable. C'est la seule avalanche (ou coulée) qui se soit produite sur tout le domaine skiable le 16 avril 2009 et c'est le seul accident reporté ce jour-là ou les jours suivants/précédents en France ou en Suisse ;
- deux tirs préventifs à l'avalancheur avaient été réalisés dans le cadre du PIDA et n'avaient donné lieu à

- aucune avalanche dans le versant nord de la Nunda ;
- le phénomène a pu gagner de l'ampleur car il y a eu un fort entraînement de neige. À bien y réfléchir, cela n'est peut-être pas aussi évident. Le versant nord de la Nunda est une zone traitée dans le cadre d'un PIDA, donc avec des avalanches régulièrement déclenchées et un tassement plus important du manteau neigeux dans le bas du versant. Même si l'isotherme 0 °C était assez haute et la fonte du manteau neigeux assez rapide en cette mi-avril, la teneur en eau du manteau neigeux en partie haute du versant de la Nunda était encore limitée et elle ne peut donc être un facteur fort d'instabilité qui aurait pu expliquer une érosion aisée du manteau neigeux dans les goulets et pentes sous la Nunda.

Des départs spontanés d'avalanche après des tirs négatifs sont nombreux au printemps lorsque la température du manteau neigeux atteint 0 °C sur toute son épaisseur ; l'augmentation de la teneur en eau liquide est un facteur significatif du risque d'avalanche au printemps. Toutefois, dans le cas présent, le manteau neigeux était encore constitué de neige froide. Quoique rares, des déclenchements de grande ampleur ont été rapportés pour des manteaux neigeux en neige froide « stabilisés ». Ainsi, l'avalanche de la combe du Pra en avril 1987 a tué un gendarme dans la combe nord de la dent du Pra. Il évoluait à skis (de randonnée) dans le bas de la combe nord du Pra. L'avalanche a vraisemblablement été déclenchée par un morceau de corniche tombé depuis la cime de la Jasse ; la rupture de corniche a mis en mouvement une énorme plaque de neige froide large de 350 m vers 2350 m d'altitude. L'enquête de Météo-France a montré l'existence d'une croûte de regel surmontée d'une fine couche de grains à faces planes située à 180 cm de la surface du manteau neigeux.

Dans le cas présent, le PIDA et la prévision locale n'ont pas complètement rempli leur mission dans la mesure où une avalanche s'est produite. Sur la base des connaissances

actuelles, il n'y a pas de moyen technique ou d'élément d'observation qui aurait pu alerter les pisteurs du danger. L'accident du 16 avril 2009 entre dans la catégorie des phénomènes exceptionnels tant par leur extension que par le caractère presque incongru de leur occurrence. L'événement a néanmoins poussé les responsables de la station à chercher à améliorer encore la sécurité sur leur domaine. Pour rendre redondants les systèmes de déclenchement et se donner plus de liberté dans le choix des points de tir, la station a acquis un système appelé Daisybell (commercialisé par le groupe MND), qui est un gazex mobile transporté par hélicoptère. Elle a également formalisé la récolte des observations réalisées par les pisteurs artificiers au cours de la journée ; l'accent est également mis sur un contrôle encore plus poussé des secteurs sensibles du domaine skiable au cours de la journée, avec à la clé une fermeture des pistes sur ces secteurs. Toutefois, avec le recul, on peut se demander si on aurait pu éviter un tel accident quels que soient les moyens employés... Il est vraisemblable qu'on approche la limite technologique de ce que nous sommes capables de faire en termes de prévision locale et de gestion du risque par déclenchement artificiel.

Enfin, beaucoup ont été frappés par la couverture médiatique de l'événement puisque l'accident est passé au journal télévisé des grandes chaînes nationales et a fait l'objet de nombreux articles dans la presse nationale et suisse. Contrairement à l'avalanche d'Anzère (Suisse) du 27 décembre 2009, où deux skieurs ont été emportés par une avalanche sur une piste de ski, il n'y a pas eu d'emballement médiatique avec une « recherche de responsabilité », sans doute parce qu'il n'y a pas eu de victimes. Les événements récents d'Anzère et de Val-Cenis permettent de réfléchir sur l'évolution de notre société : d'un côté, les responsables des pistes mettent normalement tout en œuvre pour assurer la protection des usagers contre les avalanches (ils remplissent donc leur « obligation de moyens » selon l'expression juridique consacrée). De l'autre côté, les clients des

stations considèrent qu'ils payent pour que leur sécurité soit garantie (demandant implicitement par là une « obligation de résultats »). Sur le plan technique, la problématique se pose différemment : comme pour tout système technologique, a fortiori placé dans le milieu naturel, le niveau de sécurité doit également rechercher un bon compromis entre le coût de la protection, le coût probable des dommages en cas de défaillance, et la faisabilité technique. S'il est souvent techniquement et économiquement possible d'assurer un bon niveau de protection des pistes de ski, il peut devenir très difficile techniquement de garantir un taux nul de défaillances des tirs.

Hiver 1999

Le mois de février 1999 a concerné l'ensemble des Alpes du Nord. Une succession d'avalanches catastrophiques en France (Montroc, 12 février 1999, 12 morts), Suisse (Evolène, 12 morts), Autriche (Galtür, 31 morts, Valzür, 8 morts), et en Italie dans une moindre mesure. C'est l'un des hivers les plus meurtriers depuis 1978, 1970, et 1954.



*Galtür après l'avalanche catastrophique (23 février 1999).
Source : Karl Kleemayr.*

En février 1999, l'activité avalancheuse dans les Alpes du Nord a connu une très grande ampleur et marque la mémoire comme l'une des plus meurtrières depuis 50 ans. En l'espace de 15 jours, plusieurs dépressions frappent les Alpes, de la France à l'Autriche. Le 9 février, une avalanche tue 12 personnes dans des chalets à Montroc (France, Haute-Savoie) ; dans la même période, les vallées de Haute-Savoie, de Savoie et du val d'Aoste (Italie) connaissent une activité avalancheuse très importante, puisque plusieurs avalanches atteignent les fonds de vallée, dépassant parfois les emprises historiques connues. Quelques jours plus tard, sous l'effet d'un second passage perturbé, c'est Evolène dans le Valais (Suisse) qui est touché. On dénombre 9 morts dans les habitations. Enfin, le 23 février, 38 personnes sont ensevelies dans deux stations du Tyrol, Galtür et Valzür (Autriche). Pour retrouver dans l'histoire récente une activité avalancheuse aussi meurtrière et couvrant une telle zone géographique, il faut remonter aux hivers 1970 (95 personnes tuées en France et en Suisse, dont 39 à Val-

d'Isère), 1954 (143 personnes emportées en Autriche), et 1951 (98 personnes tuées). À l'échelle de la France, la crue avalancheuse du début février est comparable à celles de janvier 1981 et de février 1978, mais elle n'atteint pas l'ampleur et l'extension de la crue de février 1970 ou bien plus en arrière, des terribles hivers 1914 et 1923.

Montroc

Après les fortes chutes de neige de la fin janvier puis du début février, une crue avalancheuse touche la vallée de Chamonix le mardi 9 février 1999. En tout ce sont plus d'une dizaines d'avalanche de très grande ampleur qui atteignent le fond de vallée. La plus catastrophique est celle de Montroc, qui cause la mort de 12 personnes dans leurs habitations.



Hameau du Péclerey à Montroc (Chamonix-Mont-Blanc) le lendemain de l'avalanche catastrophique (9 février 1999). Source : Christophe Ancey.

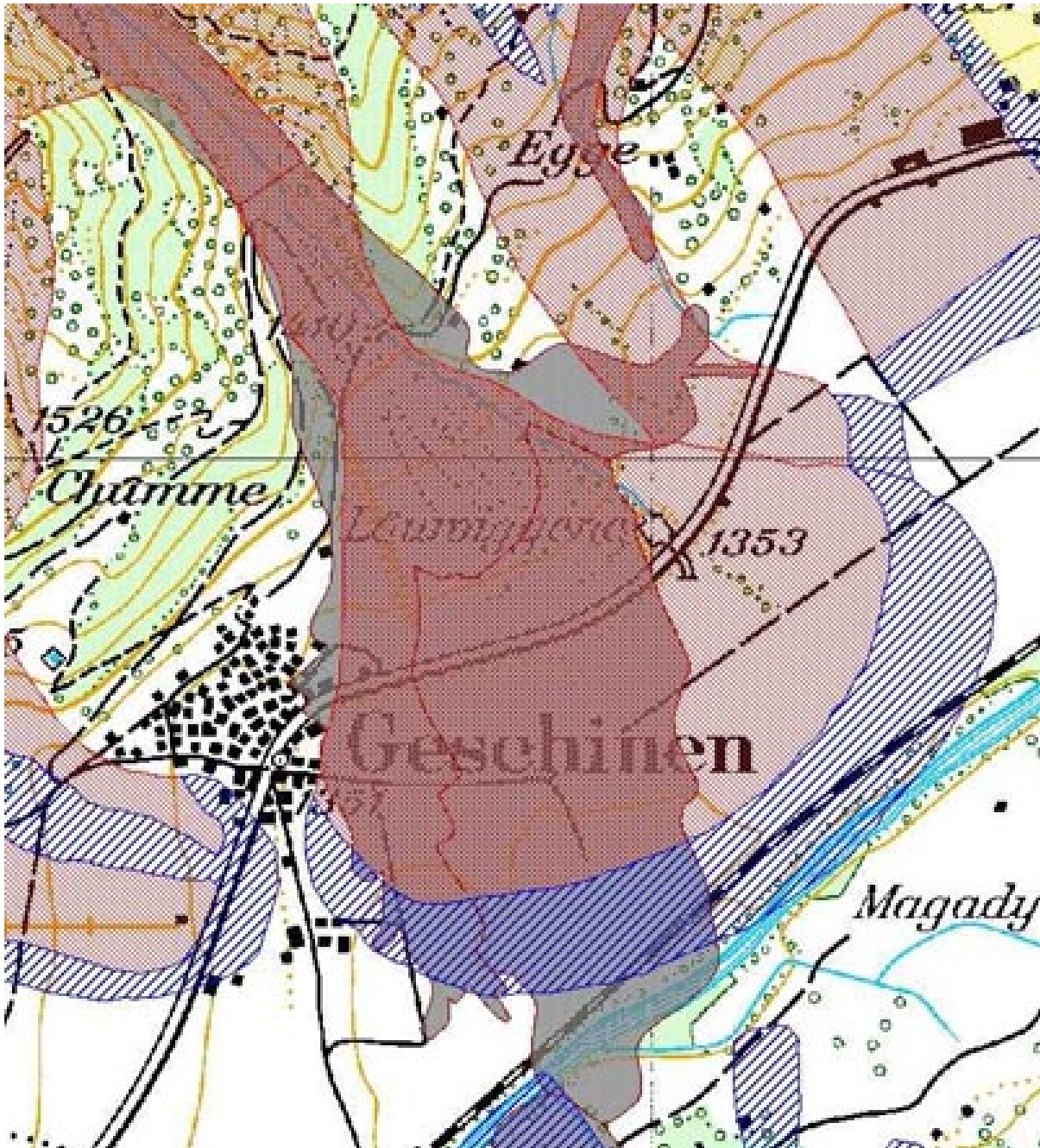
En savoir plus sur l'avalanche de Montroc :

- article paru dans *Neige et Avalanches* et présentant les résultats de l'expertise commandée par le préfet de Haute Savoie en février 1999 et pilotée par Christophe Ancéy (expertise Cemagref-Météo-France) ;
- article paru dans *la Houille Blanche* et présentant les résultats de l'expertise Cemagref-Météo-France commandée par le préfet de Haute Savoie en février 1999. Il s'agit de la présentation faite par Christophe Ancéy à la Société Hydrotechnique de France en 2000 ;
- une copie électronique de la partie principale du rapport est disponible. Ce rapport commandé par la Préfecture de Haute-Savoie n'a jamais été publié officiellement.

Le bilan vu du côté des Suisses

Zonage

Les méthodes à la base de l'estimation du risque d'avalanche ont été jugées bonnes. Grâce au zonage, de sérieux dommages aux habitations ont pu être évités. Sur certains aspects particuliers, l'hiver 1999 a néanmoins mis en évidence un certain nombre de faiblesses dans les procédures actuelles de zonage. De plus, cet hiver a montré le manque de pertinence des valeurs de hauteur de neige mobilisées, telles que calculées jusqu'à présent dans les calculs d'extension d'avalanches.



Zonage de Geschinen (Valais).

Le village fut touché par une avalanche consécutive à plusieurs autres (une victime).

Une bonne mise à l'épreuve

Délimitation des zones de départ :

la délimitation des zones de départ sur la base de pentes comprises entre 28 et 50° s'est révélée pertinente. Durant l'hiver 1999, aussi bien des zones de départ avec des pentes moyennes de 30° environ que celles de pentes autour de 50° ont connu une activité avalancheuse. De manière plus

exceptionnelle, de grosses avalanches sont relativement fréquemment descendues de versants très raides, alors qu'en conditions ordinaires, elles ne mobilisaient que de petites quantités de neige, car la neige se purge rapidement après la moindre chute de neige. Distance d'arrêt des avalanches coulantes : la distance d'arrêt des avalanches coulantes a été calculée de manière très correcte à peu près partout. Dans la plupart des cas, les avalanche ont à peine atteint la limite de la zone bleue, sans pour autant la dépasser.

Tolérance aux erreurs : la méthode de détermination du risque d'avalanche s'est révélée dans un certaine mesure comme robuste par rapport aux erreurs que l'on avait pu commettre. Quoique ponctuellement les épaisseurs de neige déclenchée étaient supérieures aux valeurs acceptées, les distances d'arrêt calculées n'ont été dépassées qu'exceptionnellement.



Lignes de claies abimées au-dessus de Zermatt (Valais). Source : SLF

Faiblesses manifestes

Avalanches en aérosol : durant l'hiver 1999, principalement en

basse Engadine et dans le Valais, de nombreuses avalanches en aérosol ont atteint les limites des cartes d'avalanches et ont provoqué des dégâts considérables. Certes, dans les méthodes actuelles, il y a la possibilité de rendre compte du danger d'aérosols à travers les zones jaunes. Dans la pratique pourtant, les outils actuels de calcul appropriés pour délimiter de manière suffisante les zones de danger d'aérosol sont défaillants.

Sur-avalanches : à plusieurs reprises dans les sites avalancheux avec des zones de départ potentielles étendues, plusieurs avalanches se sont produites dans un laps de temps court. Cela a conduit à ce que des avalanches soient détournées par des dépôts d'avalanches précédentes ou à ce que des plages de dépôt soient comblées et ainsi que leurs fonctions ne puissent plus être assurées. Pour des gros sites avalancheux et des zones de dépôt planes, une attention accrue devrait être portée tant sur la cartographie des risques d'avalanche que le dimensionnement des plages de dépôt en ce qui concerne le risque potentiel de sur-avalanche. On doit prendre conscience qu'en cas de sur-avalanches, les conditions d'écoulement peuvent être rendues meilleures après le passage d'une première avalanche et que les avalanches ultérieures peuvent alors parcourir des distances plus grandes. En outre, une plus grande attention doit être portée à un élargissement latéral accidentel d'un bras d'une avalanche dans les zones de dépôt avec une pente inférieure à 10° .



Cassure de l'avalanche déclenchée à la Sionne en février 1999 (site expérimental du SLF). Source SLF.

Incertitude

Épaisseur déclenchée : dans la procédure actuelle des distances d'arrêt, l'épaisseur de déclenchement est calculée sur la base du cumul de neige sur trois jours consécutifs. Sur cette base, plusieurs avalanches auraient des épaisseurs de déclenchement, dont la période de retour serait supérieure à 300 ans. On aurait en conséquence pu s'attendre à ce que les distances d'arrêt soient supérieures aux valeurs calculées. Des explications complémentaires doivent être apportées sur le non-dépassement de ces valeurs et du rôle joué par le réchauffement avant le passage du troisième passage perturbé.

En savoir plus :

- Ammann, W.J., Der Lawinenwinter 1999, pp. 588, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos, 2000.
- OFEV : Apprivoiser le risque d'avalanches – Les

enseignements de l'hiver 1999