

**PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT DES VOIES DE COMMUNICATION
DANS LE CHOIX DES TECHNIQUES DE PROTECTION
30 ANS D'APPLICATION AUX ROUTES D'ANDORRE**

Jean François & Alexandre MEFFRE

Allaus Servei Internacional

Principat d'Andorra

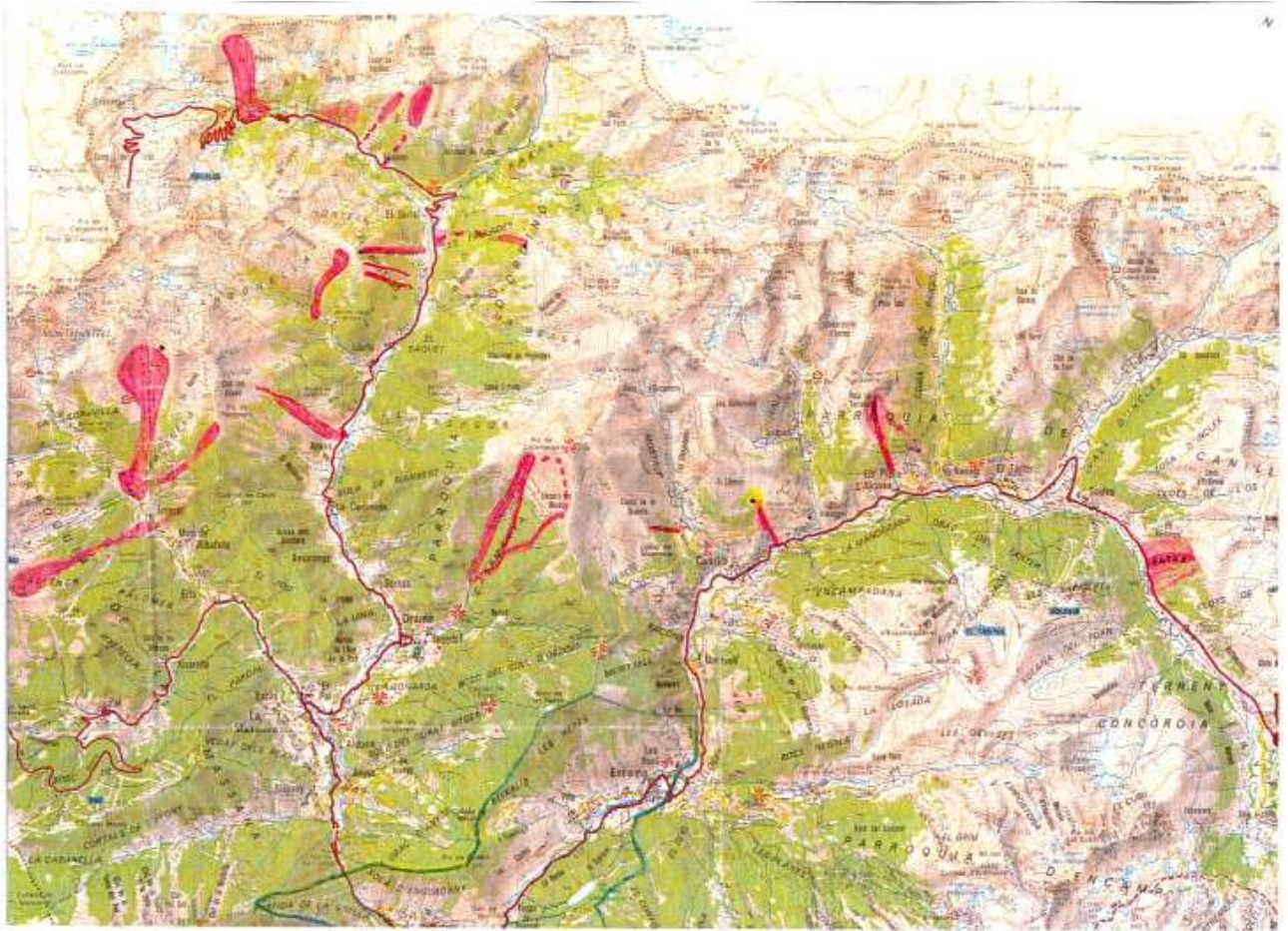
jfmeffre@gmail.com & alex-mampa@hotmail.fr

RÉSUMÉ

Autrefois, les vallées d'Andorre étaient bien moins peuplées qu'aujourd'hui. Il y a cinquante ans, les routes n'étaient pas toujours déneigées, ni même goudronnées. Les habitants circulaient peu et évitaient les zones dangereuses. En 1960, il n'y avait que 8400 habitants dans toute l'Andorre, il y en a presque 10 fois plus aujourd'hui.

À partir des années 80, la protection des voies de communication est devenue une préoccupation du Gouvernement Andorran. Depuis 30 ans, les études et les travaux se sont enchaînés. Presque toutes les techniques de protection et leurs combinaisons ont été mises en œuvre : de la simple interdiction en période avalancheuse, jusqu'à la galerie, en passant par le déclenchement préventif des avalanches (DPA), le reboisement, les digues, les barrières à neige et les ouvrages de stabilisation (filets, râteliers ou claies).

L'Andorre présente ainsi un large panel de méthodes et techniques pour illustrer ce sujet. Cette communication présente, à partir de quelques exemples, les critères techniques et économiques qui ont fait choisir un type de protection plutôt qu'un autre pour protéger la circulation contre les avalanches en fonction des enjeux (importance du trafic), et de l'environnement (proximité d'habitat).



1. CAS DE PETITES COULÉES NE DÉPASSANT PAS LA CHAUSSÉE

1.1. Exemple du Bosc del Matet (signalisation et pièges)

Caractéristiques

Le Bosc del Matet est une grande pente boisée de 400 m de large et de 200 m de dénivelée, striée par 6 petits couloirs inclinés à 80% : 4 petites coulées étroites peuvent atteindre la CG3, mais sans la traverser complètement.

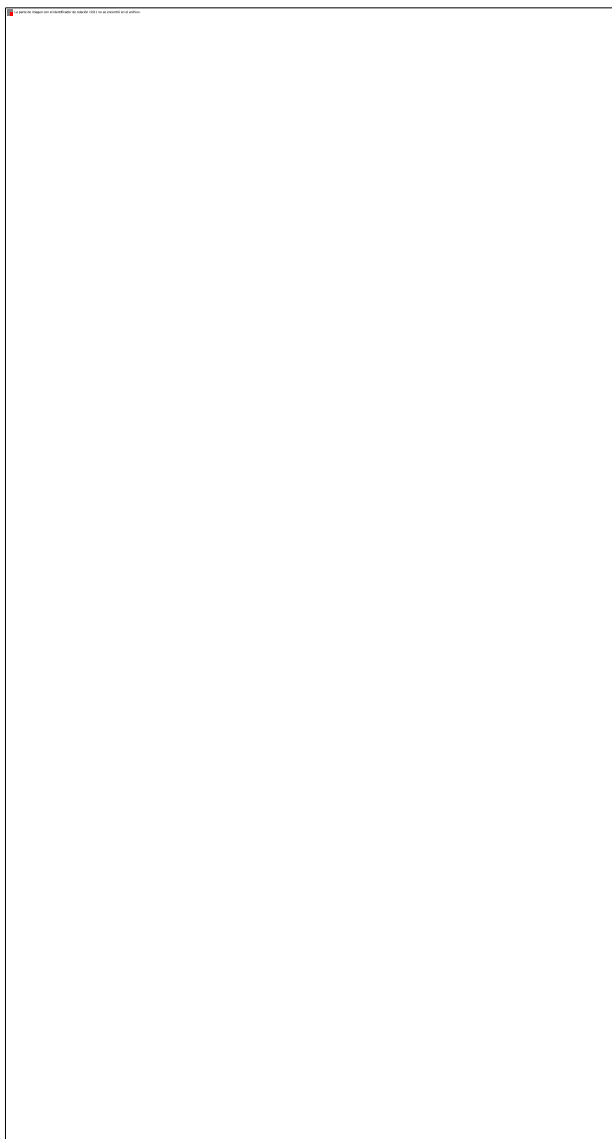
Enjeux

La neige s'étale sur 10 à 15 m au pied de chacun des 6 couloirs : le risque d'accident ne concerne que des piétons marchant en bord de route (il est faible pour les véhicules). Le temps de retour fut estimé initialement à 5 ans, mais des coulées n'ont été vues que 3 fois depuis 30 ans.

Mesures prises

Installation de panneaux interdisant l'arrêt et le stationnement.

Création de pièges pour stocker tout ou partie des petites coulées avant qu'elles n'atteignent la chaussée (il s'agit de petites plates-formes terrassées en bord de route, au pied des couloirs, qui doivent être déneigées durant l'hiver).



2. AVALANCHES MENAÇANT UNE ROUTE EN L'ABSENCE D'HABITAT

2.1 Exemple de la Guardiola sur la CG2 (déclenchements préventifs)

Caractéristiques

Le versant de la Guardiola est incliné à plus de 60% sur environ 150 ha. Il culmine à 2500 m ; la route se situe autour de 1900 m. Les zones de départ sont multiples et étagées. Elles atteignent 75% à 90% au sommet des couloirs. La pente est boisée à 50% et couverte d'arbustes.

Enjeux

Les avalanches menacent la CG2 sur presque 1km après la sortie de Soldeu en direction du col d'Envalira. C'est le seul accès vers la France.

Aucune habitation n'est menacée, mais la route fut atteinte par des coulées étroites 4 ou 5 fois entre 1970 et 1980, sans faire de victime, mais en touchant des véhicules.

Techniques de protection étudiées entre 1975 et 1980 :

Une galerie de 8 à 10 m de large sur 920 m de long en 3 tronçons

Une déviation de 1.5 km sur la rive opposée

La stabilisation du versant avec 6 km de râteliers et un reboisement sur banquettes



Protections installées

Devant les coûts prohibitifs des 3 solutions précédentes (9 millions d'euros d'aujourd'hui), le gouvernement choisit la solution " provisoire " des déclenchements préventifs.

Un CATEX (Câble Transporteur d'Explosifs) fut installé durant l'été 1986 avec une Balise Nivose pour surveiller les chutes de neige fraîche et l'enneigement. Le câble fait une boucle de 3500 m, supporté par 10 pylônes, en passant à deux niveaux différents de la pente. Sur une vingtaine de tirs potentiels programmés initialement, une douzaine furent pratiqués régulièrement. Investissement : 30 millions de Pts en 1986 (230 000 €).

En 2004, 5 explodeurs GAZEX alimentés par une centrale furent installés sur les points les plus fréquemment tirés, afin de diminuer le temps de coupure de la circulation (20 minutes au lieu de 2h). L'investissement fut de 310 000 €.

Le CATEX a été gardé en complément et en secours du GAZEX.

2.2 Exemple des Basers del Corb sur l'accès à Arcalis (DPA, digue et galeries)

Caractéristiques du versant

Zones de départ multiples exposées au Sud entre 2150 m et 2200 m.

Relief favorable à de petites avalanches localisées (couloirs indépendants).

Pente raide jusqu'à la route : même de petites coulées peuvent atteindre la chaussée.

Fréquence de risque pour la route : à chaque grosse chute de neige (pluri-annuelle).

La surface totale des pentes supérieures à 60% atteint 20 ha.

Enjeux

750 m de chaussée plus ou moins menacée, sans réel abri, mais aucune habitation.

L'enjeu est l'économie de la station si on ferme trop souvent la route, ou le risque d'accident, si on n'interdit pas la circulation à temps.

Techniques de protection écartées

En 1984, la construction d'une galerie de 750 m aurait été d'un coût prohibitif et surtout prématurée en l'absence d'observations suffisantes.

La stabilisation avec des filets de 20 ha aurait été encore plus onéreuse.

Un câble transporteur d'explosif (CATEX) pouvait difficilement survoler l'ensemble des zones de départ. Mais surtout, il fallait passer sous toutes les avalanches à déclencher pour accéder à la station motrice.



Protections mises en place

Elles s'échelonnèrent en plusieurs étapes en fonction des disponibilités d'investissements.

Devant l'urgence, dès 1986, le risque fut surveillé : la route était fermée en période avalancheuse (création d'une commission de sécurité en 87). À partir des années 90, des déclenchements préventifs purent se faire depuis hélicoptère. En 1995, l'installation d'un avalancheur permit de déclencher par mauvais temps ou de nuit.

Enfin, en 2000, le gouvernement se lança dans la construction d'ouvrages de défense passive : 1 digue d'arrêt et 3 galeries qui sont détaillées ci-dessous.

Une digue de 5 m, en maçonnerie cyclopéenne, fut élevée en profitant d'un site favorable (emprunt de matériaux créant déjà un fossé). Sa face amont est quasi verticale. Elle peut contenir 50 à 100 m³ de neige par mètre linéaire. Elle protège ainsi efficacement la CG3 sur 240 m. Un accès en chicane permet de déneiger la fosse si elle se remplit en début

d'hiver. Elle a plusieurs fois été percutée, mais n'a jamais été endommagée, ni débordée. Elle fut construite pour résister à 70 kPa sur 1 m de hauteur, jusqu'à son sommet. Sa construction s'étala de 2002 à 2004 et coûta 550.000 euros.

Trois galeries de 12 m, 90 m et 110 m furent construites entre 2004 et 2008 sur les tronçons les plus souvent atteints. L'investissement s'éleva à 2 millions d'euros. Une cinquantaine de mètres supplémentaires sont en projet.



En résumé, les 400 m les plus menacés (sur 750 m susceptibles d'être atteints) sont protégés. La circulation reste libre durant plus de 95% de la période hivernale. Il faut cependant effectuer encore des déclenchements préventifs après les grosses chutes de neige ou risque d'aérosol. Enfin, il restera toujours les purges de talus qui se déclenchent 10 à 20 m en amont de la route.

3. CAS DE PRÉSENCE D'HABITAT – PROTECTIONS TRADITIONNELLE

3.1. Exemple du Canal de Nicolau (claires et reboisement)

Caractéristiques

Petite zone de départ de 1 ha située vers 2300 m. Sa pente est inclinée entre 60% et 65%. Elle est couverte de pelouse et encadrée de forêts. Exposée à l'Ouest, elle est balayée par les vents dominants qui descendent la vallée depuis Arcalis. Elle alimente un long couloir d'un kilomètre qui débouche à 1500 m d'altitude sur un vaste cône de déjection peu incliné. Le couloir et tout le versant sont en cours de reboisement naturel.

Les petits couloirs latéraux, indépendants les uns des autres, ne donnent pas des volumes suffisants pour menacer la CG3.

Enjeux

- Autrefois, la CG3 fut plusieurs fois traversée sur 100 m par des avalanches (temps de retour moyen du phénomène : environ 20 ans, mais rien depuis 1980). La longueur totale de chaussée "menacée" atteint 300 m en raison des divers étalements possibles sur le cône de déjection.
- L'hôtel du Serrat fut 3 à 4 fois atteint par un aérosol durant la première moitié du XX^e siècle (dernière avalanche observée en 1940).

Techniques de protection envisagées mais écartées

Le déclenchement préventif n'est pas adapté ici : pente trop faible, couloir en cours de reboisement et présence d'habitat.

Le site ne se prête pas du tout à la construction d'une galerie (terrain plat et grande longueur menacée). Par ailleurs une galerie ne protégerait pas l'habitat.

La déviation de l'avalanche par une tourne sur le cône de déjection nécessiterait la maîtrise foncière (très difficile et coûteuse à obtenir) et ne protégerait pas d'un aérosol.



Protection mise en place

Stabilisation de la zone de départ par reboisement sur banquettes avec 260 m de claies en bois de 2.5 m, réparties en 6 lignes espacées de 20 à 25 m, dans l'attente que la forêt prenne le relais.

Investissement en 1999 : 9 millions de Pts (70 000 €).

3.2 Exemple de Percanela (Stabilisation avec des filets de type Vela)

Historique : l'avalanche n'aurait atteint le fond de vallée que 3 ou 4 fois en un siècle (1996, 1960, 1936 et sans doute 1923).

Enjeux : une avalanche mixte de type 1996 menace 250 m de route (utilisée par les véhicules et les piétons), 4 immeubles, un grand parking et le départ d'un télésiège.

Caractéristiques du couloir d'avalanche :

La zone d'accumulation se situe en dessous de 2400 m et couvre 12 ha inclinés entre 30° et 35°. Le sol est recouvert à 50% de pierriers de gros blocs et à 50% de pelouse avec des bouquets de pins dispersés.

Le couloir débouche à 1850 m sur des prés inclinés à 30% sur 200 m, prés sur lesquels s'arrêtent toutes les avalanches habituelles. Mais si l'avalanche rejoint la combe du torrent de Ribassols, elle peut descendre jusqu'au fond de la vallée.



Techniques de protection étudiées mais écartées

- Le déclenchement préventif (pente trop faible compte tenu du nombre d'ancrages). Aucun des quelques tirs effectués depuis hélicoptère à titre de test en conditions instables n'a déclenché d'avalanche.
- Eclateurs au pied du couloir et dents freineuses sur les prés de Percanela à 1825 m.
- Ouverture d'un canal rejoignant le couloir voisin de Ruider pour rassembler l'écoulement dense et l'aérosol afin de diminuer la longueur de route exposée. Ce tronçon plus court pourrait être interdit par les feux rouges d'un D.R.A. (Détecteur Routier d'Avalanches) juste avant l'arrivée de l'avalanche.

Protection mise en œuvre

Compte tenu des difficultés d'acquisitions foncières, le Gouvernement a retenu la stabilisation des zones de départ : 580 filets mono-ancrage (type Vela) ont été répartis sur une vingtaine de niveaux durant les étés 2009 et 2010. Le linéaire total atteint 2 300 m (ces filets ne comprenant qu'un seul ancrage à l'amont ont permis de s'adapter aux éboulis et de garder tous les arbres). Investissement total de 2 millions d'euros.

3.3. Exemple de la Gavatxa au-dessus du Pas de la Casa (ensemble d'ouvrages)

Historique

En 1970 l'avalanche coupe 3 fois la CG2 et 5 fois le chemin de la Solana. Elle rase deux chalets, envahit un bâtiment en construction, remplit le rez-de-chaussée de l'immeuble Velasquez et endommage un baraquement préfabriqué qui servait de poste de secours, où elle fait une victime. L'avalanche s'était déclenchée après une chute de 1.5 m de neige en 3 jours. La cassure faisait 1 à 2 m d'épaisseur.

L'avalanche n'est plus redescendue avec la même ampleur qu'en 1970, mais plusieurs fois des coulées ont atteint le virage supérieur, particulièrement lorsque les chasses neige supprimaient le pied du manteau neigeux.

En janvier 1986, une situation avalancheuse préoccupante (4 m de neige dans les couloirs) entraîne l'évacuation de plusieurs dizaines d'appartements.

Enjeux : en 1985, la CG2 est le seul accès depuis la France. Or l'avalanche menace 4 tronçons de 150 à 200 m sur la route nationale ainsi que le chemin de la Solana sur plus de 200 m et une dizaine d'immeubles.

Caractéristiques

La zone de départ s'élargit de 100 à 150 m en 80 m de dénivelée. Elle couvre presque 2 ha. Elle est inclinée entre 40° et 45° et culmine vers 2440 m. Exposée à l'Est, elle est chargée par les vents dominants d'Ouest à Nord-Ouest qui balayent le plateau. Après un premier replat juste au pied de la zone de départ, l'avalanche n'a que 250 m à parcourir et 3 chaussées à traverser avant d'atteindre les premiers immeubles.

Protections mises en place

Dès 1985 le Gouvernement demande de surveiller le site et commande une étude. Le rapport conclut à la nécessité de stabiliser la zone de départ. En effet, d'une part le DPA au-dessus d'autant de bâtiments était trop risqué, d'autre part la construction des galeries était trop onéreuse et n'aurait pas protégé les bâtiments.

Le dispositif retenu comprend :

- 230 m de barrières à neige de 4 m de haut pour stocker sur la crête la neige transportée par les vents de secteur Ouest.
- 476 m de filets dans la zone rocheuse complétée, au pied de la pente, par une ligne de 155 m de râteliers à barres enfouies, pour stabiliser la zone de départ.
- 15 dents freineuses disposées sur 2 lignes en quinconce pour arrêter une éventuelle avalanche partie au milieu des filets.

Le total de l'investissement a représenté 70 millions de Pts de l'époque (540 000 €).

Le chantier, commencé en 1986 avec les barrières à vent, s'est terminé en 1992 avec les dernières dents freineuses. En complément, tous les bâtiments construits à partir de 1986 ont été renforcés contre un écoulement résiduel.



Entretien

Les ouvrages sont surveillés annuellement. Les filets n'ont nécessité aucune réparation jusqu'à l'été 2013 (3 ancrages ont lâché). Les dents freineuses en maçonnerie cyclopéenne ont été rejointoyées après 15 ans. En revanche le bois des barrières a nécessité un entretien et des réparations tous les deux ou trois ans. L'ensemble a donné satisfaction.

4. CAS DE DÉCLENCHEMENTS PRÉVENTIFS MALGRÉ LA PRÉSENCE D'HABITAT

4.1. Exemple de l'avalanche du Pic Alt de la Capa au dessus du village d'Arinsal

Historique

En 1971, une avalanche était descendue jusque devant le village. Le souffle n'avait fait cassée qu'une seule vitre. En 1996, une langue de neige humide avait suivi la route à 1700 m et obstrué la chaussée sur plus de 100 m avec 5 à 6 m de neige. Le reste de l'avalanche s'était arrêté au sommet du cône vers 1500 m.

Enjeux

La route d'accès à la station supérieure d'Arinsal sur deux fois 150 m à 1700 m et 1840 m (plus 600 m en cas d'aérosol exceptionnel de type 1971).

Les parkings construits sur le cône de déjection devant le village.

Les premières maisons du vieux village en cas d'avalanche plus importante qu'en 1971.

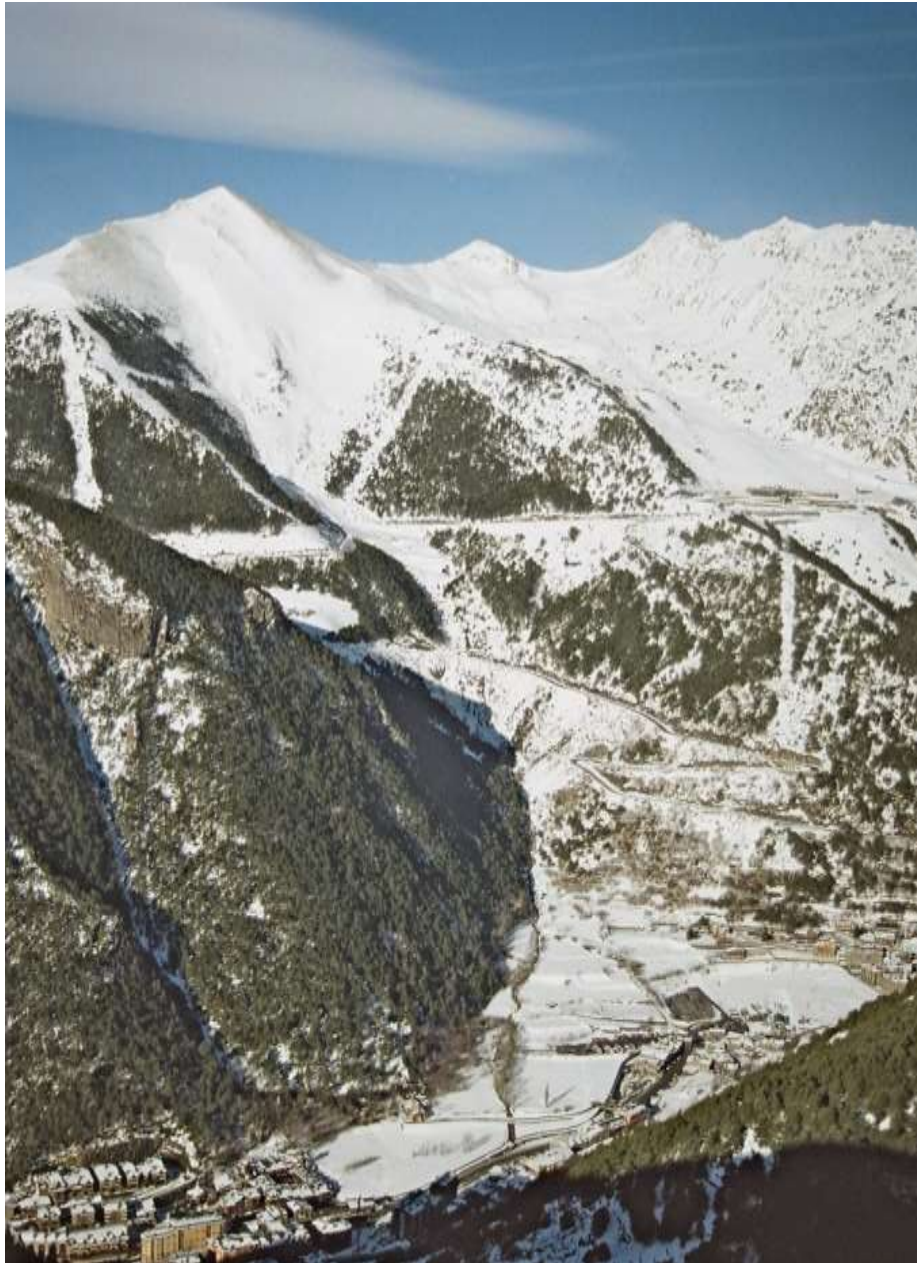
Caractéristiques de l'avalanche

- La zone de départ de 30 ha, qui s'étage entre 2050 et 2550 m d'altitude, est couverte de pelouse et d'éboulis. Son inclinaison moyenne est de 75% à 80%.
- Le couloir fait 2 km de long ; il est incliné en moyenne à 30% entre 2050 m et 1450 m.

Techniques écartées

La stabilisation des principales zones de départ aurait nécessité environ 10 km de filets ou râteliers et 1 km de barrières à vent.

Une galerie aurait pu protéger le passage inférieur de la route, mais la traversée supérieure se prêtait très mal à ce type d'ouvrage. Par ailleurs, des galeries n'auraient pas amélioré la sécurité du village.



Protections mises en œuvre

- Installation d'un CATEX en été 1986 pour purger les zones de départ intermédiaires et inférieures (les zones supérieures étant très souvent déneigées par le vent).
- Construction d'une petite tourne et d'un passage à gué en 1987 pour que l'avalanche continue tout droit dans le couloir et ne suive plus la chaussée sur 300 m comme en 1980.

- À partir de 1995, terrassement de deux plates-formes d'un hectare avec des déblais rocheux, pour stocker le maximum de neige et protéger le passage de la route à 1700 m (le projet prévoit des tas freineurs sur les plates-formes pour augmenter le stockage).
- En 2004, le CATEX fut complété par trois explosifs GAZEX dans les pentes supérieures (juste en dessous de la zone ventée). Mais finalement, le câble n'a pas été remis en place).

4.2. Exemple de l'avalanche des Fonts d'Arinsal

Historique

En une cinquantaine d'années, les villageois avaient remarqué 3 fois des dépôts d'avalanches au pied du torrent de Ribal, mais des avalanches de poudreuse pouvaient passer inaperçues.

En 1996, une énorme avalanche mixte se déclencha dans presque tout le cirque et rejoignit la vallée. Le dépôt atteignit 6 m au-dessus du parking situé en face de l'avalanche. L'aérosol survola le vieux village d'Arinsal et laissa sa trace dans la vallée sur 1.5 km. L'emprise de son passage dans le torrent de Ribal s'élargit de 100 m.



Caractéristiques de l'avalanche

La zone de départ fait 1.5 km de large et 200 m à 300 m de dénivelée. Elle couvre environ 45 ha d'éboulis fins inclinés entre 30° et 40°. Ces pentes dominent une première plage de dépôt de 100 à 300 m de long, où s'arrêtent toutes les avalanches habituelles. Les

avalanches exceptionnelles qui franchissent ce replat à 2400 m sont ensuite canalisées par le torrent de Ribal pour aboutir entre les immeubles construits au fond de la vallée.

Enjeux

Circulation automobile et piétonne importante sur 600 m, parkings, 8 immeubles et départ d'un télésiège.

Techniques écartées

La stabilisation de la zone de départ aurait nécessité 15 km d'ouvrages pour au moins 5 m de neige (car ces pentes se purgent naturellement plusieurs fois par hiver).

Protections mise en œuvre successivement

Dès 1986, le risque de l'avalanche des Fonts était estimé par analogie avec d'autres sites. Des profils stratigraphiques furent réalisés dans les zones de départ dès qu'il y eut un hélicoptère en Andorre, au début des années 1990. Cette surveillance permit l'évacuation des immeubles en 1996.

Après cette avalanche qui endommagea plusieurs bâtiments, le gouvernement décida de réaliser un ensemble d'ouvrages pour protéger la route et les immeubles.

- deux digues délimitent une plage de dépôt pour stocker l'écoulement dense qui arrive au fond de la vallée. La plage de dépôt fait 300 m de long et 100 m à 150 m de large. Elle est encadrée par 2 digues de 70 m et 320 m de long et respectivement 8 m et 16 m de haut.
- deux tunnels permettent de traverser en sécurité sous les digues et la plage de dépôt.
- La protection contre l'aérosol exceptionnel est réalisée par déclenchement préventif systématique des zones de départ à l'aide de 9 explosifs GAZEX dont l'alimentation est assurée par 4 centrales indépendantes. Les tirs sont effectués à partir de 30 cm et avant qu'il y ait 50 cm. Toutes des avalanches déclenchées depuis 15 ans se sont arrêtées sur le replat à 2400 m. Suivant les conditions avalancheuses, les habitants peuvent être confinés ou même évacués.
- Un capteur placé dans la zone de départ entre deux explosifs permet de connaître la hauteur de neige avant et après les tirs.

5. CONCLUSIONS

Il n'y a pas de solution type, ni de tabou à s'imposer. Une bonne protection doit d'abord s'adapter au terrain, aux caractéristiques de l'avalanche et aux enjeux. La sécurisation la mieux adaptée nécessite souvent un panel de techniques complémentaires.

Certes, la protection la plus sûre d'une route est généralement une galerie ou un tunnel, mais d'une part, c'est généralement la solution la plus chère, et d'autre part, elle ne protège que la circulation (et encore sous réserve qu'elle soit assez longue).

Officiellement, certains pays comme la France, s'interdisent de déclencher préventivement des avalanches susceptibles d'atteindre des habitations en conditions exceptionnelles. Mais dans les faits, des dizaines de telles pentes sont déclenchées à l'explosif chaque hiver dans les Alpes.

On privilégiera bien sûr la stabilisation chaque fois qu'il y a de l'habitat et que cette solution est adaptée. Mais on peut aussi purger des zones de départ si les immeubles ont été protégés et/ou renforcés (comme pour les Fonts) et que les techniques mises en place permettent de garantir des tirs chaque fois que nécessaire. On peut aussi combiner une galerie courte ou une digue d'arrêt pour les avalanches annuelles et des déclenchements préventifs après des conditions exceptionnelles (comme pour les Basers del Corb).

Dans tous les cas, il est intéressant d'étudier les différentes possibilités de protection d'une voie de communication, surtout si l'avalanche menace aussi de l'habitat. Enfin, il ne faut pas hésiter à retenir une solution simple même si elle semble archaïque (comme le passage à gué sur la route d'Arinsal ou le piège à neige sur la route d'Arcalis).