

## LES INSTABILITES DE TERRAINS DANS L'ARC ALPIN: I. L'ÉBOULEMENT DU VAL POLA (Valtellina, Italia)

par Jean-Daniel Rouiller<sup>1</sup> et Jean-Marc Rey<sup>1</sup>

### INTRODUCTION

Le 18 avril 1991 s'est déclenché de manière tout à fait imprévisible l'éboulement de Grossgufer à Randa. Trois semaines plus tard eut lieu un nouvel éboulement, aussi important que le premier, qui put cette fois être prévu grâce au réseau de surveillance installé entre-temps. Au total 30 millions de m<sup>3</sup> ont obstrué une partie de la vallée, modifiant pour toujours la topographie à cet endroit. En Valais, un événement tout aussi imprévisible peut se reproduire *n'importe quand*. Dans une moindre mesure, chaque année plus d'une quinzaine de chutes de pierres et d'éboulements obstruent inopinément le réseau des routes cantonales avec tous les risques de mise en danger de vies humaines que cela comporte. Le CRSFA s'est donné pour tâche de rassembler les connaissances permettant de dresser l'inventaire des secteurs les plus menacés et d'installer un système de surveillance pour l'ensemble du canton. Une partie de ces informations peuvent intéresser les murithiens. Nous avons l'intention de traiter les cas particuliers intéressants dans une série d'articles du bulletin.

### Types d'instabilité

Les instabilités de terrain pouvant affecter l'arc alpin sont de trois types:

- A) les **éboulements, effondrements et chutes de pierres**;
- B) les **glissements et tassements**;
- C) les **coulées de boues et débris rocheux** qui résultent de l'arrachement et du transport des sols par les cours d'eau en furie. Celles-ci sont dans la plupart des cas confondues avec les débâcles torrentielles (cf. tableau I).

---

<sup>1</sup> Centre de recherches scientifiques, fondamentales et appliquées, 43, rue de l'Industrie, CH-1950 Sion.

En Valais, si la tendance au réchauffement de la surface du globe (battements climatiques naturels, effet de serre) devait se confirmer, la situation deviendra de plus en plus préoccupante surtout pour les vallées latérales sises sur la rive gauche du Rhône.

Dans ces régions, la majorité des sites d'éboulements d'altitude et de coulées de boues dépendent de l'état de congélation du permafrost<sup>2</sup>. Pour ces deux types d'instabilité, la notion de **danger naturel** implique inévitablement la possibilité d'une **catastrophe**.

## Mode de déclenchement

Le déclenchement peut être *instantané*, *rapide* ou *lent* selon le type de danger, comme l'indique le tableau ci-après.

Type de danger	Mode de déclenchement	Temps de réaction	Exemples
Crues + Inondations	rapide	quelques heures à quelques jours	Münster (1987)
Avalanches + Coulées de neige	instantané	aucun	Reckingen (1749,1970) Ritzingen (1975) Täsch (1975)
Eboulements glaciaires	instantané	aucun	Randa (1636, 1819) Mattmark (1965)
Débâcles - glaciaires - torrentielles (laves)	instantané à rapide	au mieux quelques heures	Giétroz (1818) Sionne (1944, 1992) Illgraben, Merdenson, Mauvoisin
Coulées de boues et et débris rocheux	instantané à rapide	au mieux quelques heures	Münster, Bouveret (1987) Nendaz (1990), Mt-Dolent (1990)
Eboulements et effondrements	instantané	aucun	Taurendum(563) Derborence(1714,1749) Crétaux (1985), Randa (1991)
Glissements de terrain	rapide à lent	jours/mois/années	Produit (1931) Peillettes/Grône (1966)
Tremblements de terre	instantané	aucun	Valais central (1946)

Tabl. I. Dangers naturels pouvant affecter le territoire cantonal [GC-CRSFA/92.41]

<sup>2</sup> Permafrost: couches de sol ou de roche où la température est restée en permanence en dessous de 0° depuis le dernier âge glaciaire. Un réchauffement de cette couche tend donc à déconsolider (par fonte de la glace interstitielle) aussi bien des falaises fissurées que des moraines à forte déclivité.

L'expérience a notamment montré que tout éboulement d'importance est précédé d'une période plus ou moins longue de recrudescence des chutes de pierres. La date de la phase catastrophique (25 août 1985) de l'éboulement des Crétaux (Riddes) a pu être prévue parce que cette recrudescence a été bien suivie : le site était connu et se trouvait dans une zone très fréquentée. L'inspecteur forestier suivait depuis longtemps le phénomène.

Au chapitre des causes possibles de déclenchement des éboulements, il y a lieu de citer les tremblements de terre dont celui de 1946 a produit l'écroulement du versant sud du Six des eaux froides (Rawyl, Ayent). Cela a aussi été l'une des hypothèses de travail (non confirmée par la suite) lorsque le Prof. C. Schindler a étudié les causes de l'éboulement de Grossgüfer (Randa, 1991).

## **Surveillance des instabilités**

Une surveillance permet de mettre en évidence des variations d'état physique (mouvements, température, humidité,...) des sols ou des roches. Les changements lents ou brusques de ces paramètres vont conduire inexorablement au déclenchement du phénomène par effet de gel/dégel, pression hydraulique, solifluxion, etc...

Un système de surveillance adapté à chaque type de site devrait pouvoir *détecter suffisamment à l'avance* les variations extensométriques, pluviométriques, hygrométriques voire chimico-physiques du sol en tant que signes annonciateurs d'une catastrophe.

## **Structure cantonale de surveillance**

A l'échelon cantonal, il n'existe pas actuellement de structure apte d'une part à rassembler et analyser les connaissances scientifiques et d'autre part à mettre en place et gérer un réseau de surveillance.

Un inventaire cantonal des instabilités de terrain réalisé en 1989 par le Service de l'aménagement du territoire a recensé 200 sites d'instabilité. A partir de ce document, il y aurait lieu d'établir la liste des cas les plus dangereux et d'effectuer des études spécifiques sur une partie d'entre eux afin de mieux comprendre les phénomènes de préparation et de déclenchement. Sur la base des résultats obtenus, un premier réseau cantonal pourrait être mis en place.

- Dans cette optique, il y a lieu de retenir que :
- le nombre de sites sensibles est de l'ordre de la vingtaine. Ce chiffre n'inclut pas les cas liés à la fonte du permafrost dont l'évolution reste la grande inconnue; l'inventaire de ceux qui sont en conflit avec des zones d'activité humaine n'existe pas et devrait être l'une des priorités à court terme;
  - le risque d'éboulement au-dessus de 2000 m va fortement augmenter si le réchauffement de la surface du globe se confirme;
  - bien que les phases paroxysmales des instabilités ont lieu en général durant la période de dégel (printemps), les cas de Derborence et des Crétaux ont démontré que cela peut aussi se produire en été, et pas nécessairement à la suite d'intempéries.

### L'ÉBOULEMENT DU VAL POLA DU 28 JUILLET 1987

#### Situation géographique et contexte historique

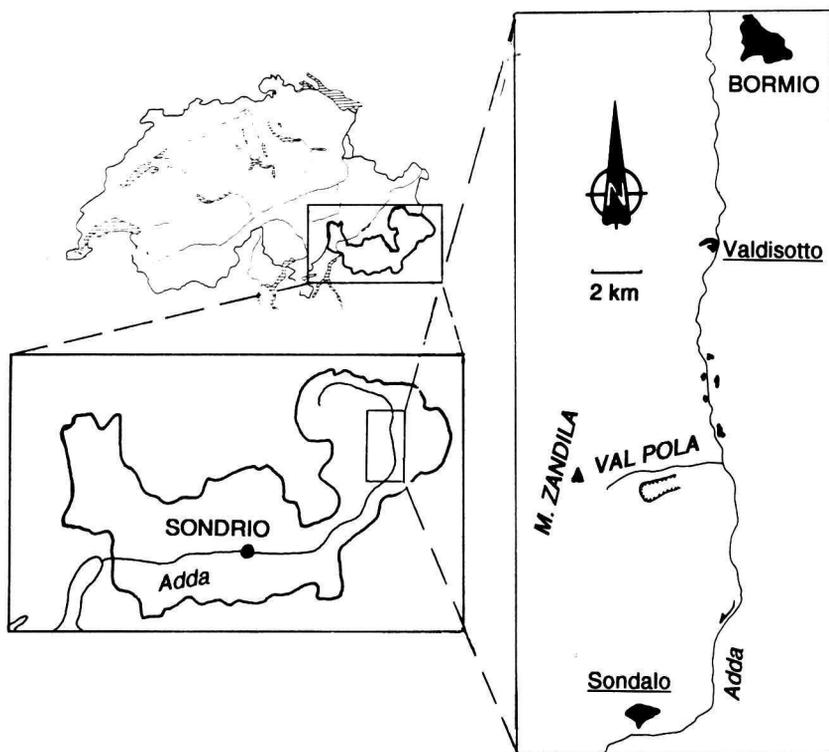


Fig. 1. Situation géographique de l'éboulement du Val Pola (province de Sondrio).



Photo 1. Vue générale de la vallée de l'Adda obstruée par l'éboulement du Val Pola.

L'éboulement du Val Pola s'inscrit au sein des multiples événements catastrophiques ayant affecté l'arc alpin lors de l'été 1987 (SHGN & al., 1991). Il s'est produit au terme d'une succession de péripéties naturelles caractérisées principalement par des crues et laves torrentielles exceptionnelles. Le comportement particulier, en bas de pente, du matériel éboulé fut la cause de nombreux dommages et fit plusieurs victimes.

La catastrophe s'est produite dans les Alpes rétiennes italiennes, au sein de la province de Sondrio, en Haute-Valtelline. Les communes de Sondalo et de Valdisotto furent gravement affectées par cet événement. L'éboulement est parti du flanc oriental du Mont-Zandila (Val Pola), il a obstrué la vallée de l'Adda à l'amont de Sondalo (fig. 1 et photo 1).

Cet événement a une forte ressemblance avec celui survenu sur la même rive 18 kilomètres en aval et qui est connu sous le nom d'éboulement de Sernio. Dans la nuit du 8 décembre 1807 une partie du Monte Masúccio [2816 m] s'éboula et bloqua le cours de l'Adda en amont de Tovero Valt., peu avant la jonction avec son affluent la Valchiosa. Cet éboulement s'est produit à la suite d'un automne exceptionnellement pluvieux. Le 16 mai 1808, le barrage qui en était résulté céda sous la pression de l'eau qui inonda la vallée jusqu'à plus de 10 kilomètres à l'aval de Tirano.

## Géologie

La vallée glaciaire de l'Adda accuse un resserrement notoire dans la région de la catastrophe. D'épais dépôts morainiques et alluvionnaires tapissent le fond de celle-ci.

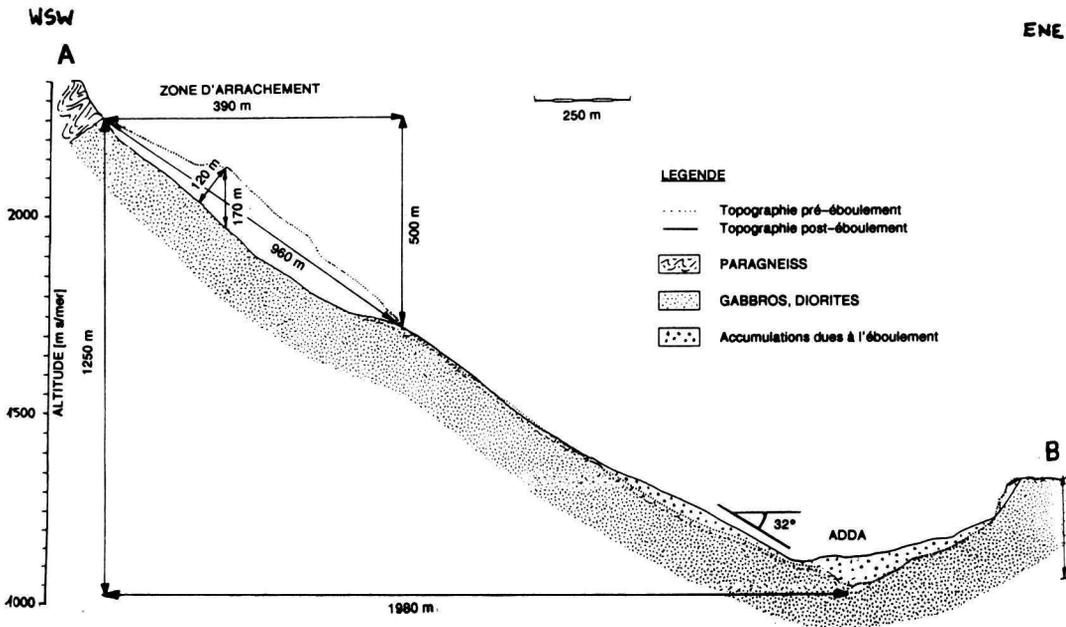


Fig. 2. Coupe simplifiée de l'éboulement du Val Pola.

Au point de vue tectonique, la Haute-Valteline est rattachée au socle cristallin de l'Austroalpin supérieur. Les linéaments ont une orientation générale N-S et E-O.

Les gabbros dits de Sondalo constituent 90% des roches de la zone d'écroulement. Leur structure est homogène et leur granulométrie moyenne. Ils font partie d'un corps basique magmatique stratifié qui a été métamorphisé puis déformé lors de l'orogénèse hercynienne. Leur composition varie entre les termes gabbroïques et dioritiques. Ils comportent un fort degré de fissuration et d'altération. Les fissures sont serrées et diversement orientées favorisant la création de dièdres. A l'arrière de la niche d'arrachement se trouve le contact avec les paragneiss du Mt-Tonale qui constituent en quelque sorte la roche encaissante des gabbros et montrent un degré de métamorphisme et de fracturation moyen à élevé. L'éboulement semble à première vue ne pas être lié à ce contact géologique.

### FICHE TECHNIQUE DE L'ÉBOULEMENT

La pente générale du versant à cet endroit est d'environ 32°. La zone écroulée est cotée entre 1750 et 2250 m d'altitude et couvre une superficie de 931 200 m<sup>2</sup>. L'épaisseur maximale de la tranche éboulée est de 120 m (fig. 2).

Plus de 90% du matériau était composé de gabbros à granulométrie relativement fine. La grande majorité des blocs était de la taille du dm<sup>3</sup>. Le rapport d'experts (CANCELI, 1988) estime à 31-32 millions de m<sup>3</sup> le volume total éboulé. Une estimation antérieure avait fait état de 16 mio de m<sup>3</sup>. HUBER (1992) mentionne lui le chiffre d'environ 40 mio de m<sup>3</sup>.

La vitesse maximale des blocs dévallant la pente a été estimée à 100 m/s, soit quelque 360 km/h. Un important nuage de poussière jaunâtre a accompagné l'avalanche de roches.

La vague boueuse générée par l'éboulement aurait acquis une hauteur initiale de 95 m; elle était encore haute de 10-20 m après avoir parcouru 1,3 km vers l'amont. La vitesse de cette vague devait avoisiner les 100 km/h.

### Succession des événements

**Juin 87** : De fortes précipitations sur la Valteline (≈ 150 mm sur le mois) provoquent une pré-mobilisation des sédiments des zones instables.

**Début juillet 87** : Le bassin versant de la rivière Adda est partiellement saturé. Ses capacités de rétention et d'absorption des précipitations sont de plus en plus réduites.

**Du 17 au 20 juillet 87** : De nouvelles précipitations (plus de 150 mm en 3 jours) s'abattent sur la région. Celles-ci sont dues à un événement météorologique exceptionnel dont la récurrence est de l'ordre de 100 ans.

**Les 18 et 19 juillet** : De graves crues déferlent sur toute la Valteline. De nombreux sédiments morainiques et colluviaux sont emportés par les flots, renforçant ainsi le pouvoir érosif de l'Adda. Des laves torrentielles descendent du Val Pola et obstruent la vallée principale. Un barrage est ainsi créé; les *voies de communication et certains villages sont inondés*.

**Le 25 juillet** : Le flanc oriental du Mt-Zandila (rive droite du Val Pola) se met en mouvement. A 2250 m d'altitude apparaît *une crevasse semi-circulaire* qui s'étend sur une largeur de plus de 600 m et qui s'écarte progressivement.

**Du 25 au 27 juillet** : La fréquence des chutes des blocs en provenance des pentes sises sous la crevasse augmente. *Les villages de Morignone, Poz, San Antonio et Tirindre sont évacués* et l'accès à la zone est interdit.

**Le 28 juillet à 07 h. 23** : Le versant sis en dessous de la crevasse démarre d'une seule masse donnant lieu à un *énorme éboulement* (photo 1). Le village de Morignone est instantanément détruit (fig. 3). L'avalanche de roche remonte d'environ 300 m sur la rive opposée de la vallée de l'Adda et s'étale à l'aval sur environ 1,6 km. A l'amont, une partie du matériel tombe dans le lac (créé antérieurement par les laves descendues du Val Pola) et provoque une énorme vague de boue et de débris rocheux qui remonte la vallée sur environ 2,8 km. Celle-ci détruit sur son passage les villages de Poz, San Antonio et Tirindre et atteint le village partiellement évacué d'Aquilone (situé à 2,1 km de l'impact) où elle tue 27 personnes.

## **Lago di val Pola**

Un nouveau lac, plus important, est ainsi créé. A la mi-août 87 il occupera une superficie de 80 ha pour une profondeur de 24 m ce qui correspond à quelque 20 millions de m<sup>3</sup>. Pour diminuer le risque de rupture du barrage, un système de vidange artificielle sera mis en place. Dans un deuxième temps un canal sera creusé dans le matériel de l'éboulement. Enfin, dès l'été 88 le solde de l'eau accumulée sera évacué au moyen de deux galeries de déviation longues de 3 km qui ont été dimensionnées pour absorber un débit de pointe d'environ 450 m<sup>3</sup>/sec.

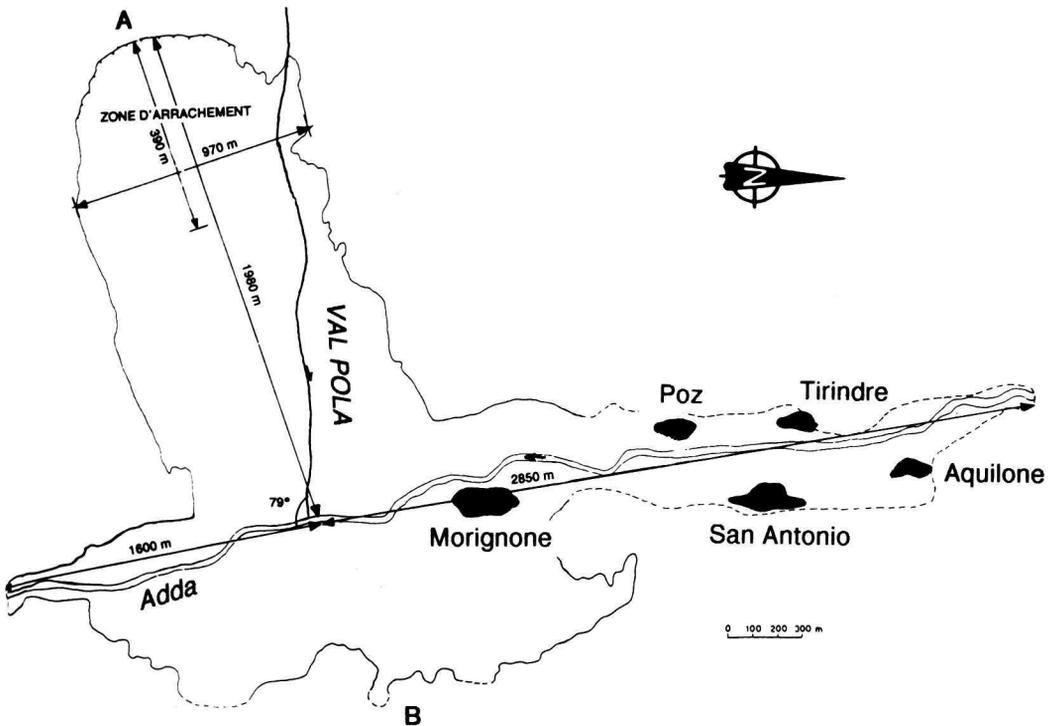


Fig. 3. Zone d'arrachement et périmètre touché par l'éboulement et la vague de boue (avec position de la coupe AB, fig. 3)

### Causes de l'éboulement

Trois causes sont à l'origine de l'éboulement :

- La présence d'une *paléostructure instable*, siège d'anciens glissements rocheux préhistoriques. Sa niche d'arrachement apparaît nettement sur les cartes topographiques ainsi que sur les photos aériennes antérieures à la catastrophe. L'état de fracturation du massif est la cause originelle majeure de cette instabilité.

- Une *pluviosité régionale* supérieure à la moyenne lors des mois de juin et de juillet 1987.

- Une *pluviosité exceptionnelle* du 17 au 20 juillet 1987 qui a agit comme facteur déclenchant. L'eau a pénétré en profondeur saturant les discontinuités du massif (fissures, plans de schistosité,...). L'importante pression hydraulique qui en est résultée a activé la paléostructure dont il est fait état plus haut.

Il s'agit donc de causes naturelles et toute origine anthropogène de l'éboulement est exclue.

## Mécanisme du phénomène

A nulle part dans les documents consultés il n'est fait mention d'une étude structurale et géomécanique du site. Cela est une *lacune importante* et l'on ne pourra vraiment appréhender le mécanisme de cet éboulement qu'au travers d'une telle étude.

Sur la base de l'expérience acquise en la matière par le CRSFA, on peut cependant proposer le scénario suivant pour expliquer le mécanisme du phénomène :

*«Depuis le 17 juillet un état de saturation général des sols meubles et rocheux domine l'ensemble de la Haute-Valteline. Les laves torrentielles qui descendent le Val Pola les 18-19 juillet érodent en profondeur le soubassement rocheux au droit de la niche de décrochement qui était visible depuis fort longtemps sur le versant est du Mt-Zandila. Cela a pour effet de libérer le mouvement sur le plan de glissement P1 orienté au Nord (cf. photo 2). L'agencement structural - qui résulte de l'enchevêtrement géométrique de l'ensemble des discontinuités affectant le massif à cet endroit et que l'on appelle en langage spécialisé «aire structurale» - se conjugue avec l'état géomécanique et hydrogéologique de la roche pour favoriser le glissement/écroulement subséquent de l'ensemble de la masse selon un plan P2 plongeant de 40° vers l'ENE, d'où une direction préférentielle vers Morignone. »*

La direction du plan d'écroulement selon P2 ne suffit cependant pas à expliquer la remontée des matériaux aussi loin à l'amont (2,8 km). La notion d'aquaplaning sur le miroir lacustre est par conséquent invoquée pour expliquer cette remontée, cela d'autant plus que la granulométrie du matériel pouvait s'y prêter.

Ce scénario admet a priori que le contact géologique gabbro/paragneiss sis à l'arrière de la niche de décrochement n'intervient pas au titre de cause structuro-lithologique du phénomène. D'autre part, il ne faut pas oublier que cette explication du mécanisme de l'éboulement, bien qu'hypothèse la plus vraisemblable, devra être confirmée par une étude de terrain.

Contrairement à l'éboulement de Randa qui, comme on le verra dans un prochain article, est de type séquentiel (séquences successives d'éboulement), celui-ci s'est déroulé en *un laps de temps très court* produisant par là une vague catastrophique dont les conséquences furent tragiques.

## Surveillance de la zone du Mt-Zandila

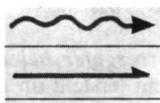
La paléostructure instable du Mt-Zandila n'a semble-t-il jamais été considérée comme une zone particulièrement exposée à un risque majeur. A part l'éboulement de Sernio, la plus ancienne activité connue dans la vallée date du mois d'août 1834. Depuis, des chutes de blocs ont parfois eu lieu au printemps. Des rapports établis entre 1985 et 1987 n'ont apparemment pas conclu à un danger nécessitant la mise en place d'un système de surveillance.

Juste avant la phase paroxysmale de l'éboulement, on a mis en place un système de contrôle visuel et auditif de la fréquence des chutes de blocs. L'altitude élevée de la niche de décrochement (2250 m) et les



Photo 2. Vue de la tête de l'éboulement du Val Pola.

Légende



: laves torrentielles du Val Pola

: plans de glissement rocheux P1 et P2

conditions météorologiques exécrables tout au long du mois de juillet rendaient difficile toute mise en place d'un contrôle extensométrique «in situ». Après la catastrophe, un système automatique de surveillance géodésique et sismique fut mis en place.

## Leçons à tirer pour l'avenir

Avec plus de 30 mio de m<sup>3</sup>, l'éboulement du Val Pola peut être classé parmi les grands éboulements alpins. Ce cas de réactivation d'une paléostructure instable est tout à fait riche d'expériences. Une étude italienne sur les éboulements alpins de ces 30 dernières années a révélé que 79 % des cas d'instabilité recensés étaient préexistants, même si leur forme d'évolution devait varier par la suite.

En regard de notre expérience en la matière, nous pensons qu'une étude structurale et géomécanique du site devrait être réalisée rapidement afin d'établir les causes exactes de l'éboulement. Le scénario que nous avons proposé peut être une explication, mais il doit être vérifié sur le terrain.

Ultérieurement il y aurait lieu d'étendre cette étude à toute la rive droite de la vallée de Bormio jusqu'à Tirano, voire plus bas. En effet, si le contexte géologique est le même qu'au Mt-Zandila, il y a fort à parier que des structures instables existent ailleurs dans la vallée. Il se pourrait donc qu'à la prochaine intempérie importante un nouvel éboulement se produise.

## Bibliographie

- CANCELLI, A., & al. (1988) : *Frana di Val Pola, relazione peritale, prima e seconda memoria*. Rapport inédit.
- FUGANTI, A. & OGNIBEN, L. (1988) : *Sulla imprevedibilità della espansione laterale della grande frana di roccia delle Val Pola (Sondrio) avvenuta il 28 luglio 1987*. Rapport inédit.
- GOVI, M. (1988) : Mouvements de masse récents et anciens dans les Alpes italiennes. CR du 5 SI sur les glissements de terrain, Lausanne. *Landslides vol. 3*.
- HUBER, A. (1992) : Der Val Pola Bergsturz im oberen Veltlin vom 28. Juli 1987. *Eclogae geol. Helv.* 85/2, 307-325.
- ROUILLER, J.-D. (1990) : L'éboulement des Crétaux (Riddes, Valais). *Publication N°121 de la Société suisse de mécanisme des sols et des roches, session du 21.6.90 à Sion*.
- ROUILLER, J.-D. (1992) : L'éboulement de Randa. *Publication «Articles techniques» de Route et Trafic 5/92 dans le cadre de la 80<sup>ème</sup> assemblée générale de la VSS à Brigue*.
- SCHINDLER, C., et al. (1992) : *Bergsturz Grossegufer bei Randa. Geologisch-geotechnische Expertise*. Unpublizierter Bericht (erstellt im Auftrag des Kantons Wallis).

- SHGN & al., Communication N° 15 (1991) : *Analyse des causes des crues de l'année 1987, rapport final.*
- TIEDEMANN, H. (1988) : *La force de l'eau.* Compagnie suisse de réassurances. Zürich.
- WAGNER, A. (1991) : *Etude structurale et géomécanique du Bergsturz Grossgufer (Randa).* Rapport inédit N° CRSFA/91.35.

