



INTERREG III A Projet n° 179 (ex n° 046)

RiskYdrogé

“Risques hydrogéologiques en montagne : parades et surveillance »

Activité 1. Ateliers

Atelier 1 – Sion

Partenaires et financeurs :



Région autonome Vallée d'Aoste
Assessorat du territoire,
de l'environnement et des ouvrages publics
Regione autonoma Valle d'Aosta
Assessorato del territorio,
ambiente e opere pubbliche



**CANTON DU VALAIS
KANTON WALLIS**



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**

En collaboration avec :



**Pôle Grenoblois
Risques Naturels**



Centre de recherche sur l'environnement alpin
Zentrum für alpine Umweltforschung
Centre of research on the alpine environment

Atelier 1. Sion

5-7 mai 2004

Exemples de dangers naturels en milieu alpin: problématiques, mesures d'investigation et de gestion

Préambule

Le présent rapport effectue la synthèse des différentes interventions qui ont été faites lors de l'atelier de Sion (5-7 mai 2004), mis sur pied dans le cadre du projet Interreg 3A RiskYdrogeo. Cet atelier a rassemblé 54 participants issus des organismes d'Etat, des hautes écoles et des bureaux d'études.

Les 13 interventions qui ont eu lieu sont répertoriées dans la liste ci-dessous. Des exposés en salle ont alterné avec des visites de terrain. Les présentations qui ont fait l'objet d'une visite de terrain sont indiquées en gras:

- Présentation 1. *Le glissement des Peillettes*, G. BIANCHETTI, Alpgéo, Sierre (**A1P1**).
- Présentation 2. *Le glissement de la Frasse/Vaud*, Ch. BONNARD & L. TACHER, EPFL, Lausanne (**A1P2**).
- Présentation 3. *La surveillance de falaise par interférométrie*, H. RAETZO, OFEG, Berne (**A1P3**).
- Présentation 4.** *Le glissement de Montagnon*, G. BIANCHETTI, Alpgéo, Sierre (**A1P4**).
- Présentation 5. *Surveillance de Randa par méthode géodésique classique*, P. ORNSTEIN, CREALP, Sion (**A1P5**).
- Présentation 6. *Présentation des systèmes de surveillance à distance GESSRI et GUARDAVAL*, P. ORNSTEIN, CREALP, Sion (**A1P6Gessri et A1P6Guardaval**).
- Présentation 7. *Surveillance de falaise par méthode LASERSCAN*, L. BORNAZ, Politecnico di Torino, Turin (**A1P7**).
- Présentation 8. *Application des modèles Resoblok et 3Dec à la falaise d'Arnad/VdA*, I. VOYAT, Università Parma, Parme & R. MAYORAZ, Etat du Valais, Sion (**A1P8**).
- Présentation 9.** *Présentation et visite du site de Gondo*, J.-D. ROUILLER, Etat du Valais, Sion & Ch.-L. JORIS, Bureau O. Schmid, Brig (**A1P9**).
- Présentation 10.** *Vidéo et visite du pont sur la Saltina*, J.-D. ROUILLER, Etat du Valais, Sion (**A1P10**).
- Présentation 11. *L'apport de la géophysique pour l'étude des glissements*, J. JENNY & R. FRIEDLI, Geo2X, Avully (**A1P11**).
- Présentation 12. *Présentation du système de surveillance à distance EYDENET*, A. TAMBURINI, Enel.Hydro-Ismes, Seriate (**A1P12**).
- Présentation 13. *Gestion du risque lié au glissement de terrain affectant la ville de Ventnor sur l'île de Wight*, R. MCINNES, Dir. of Environ. Services, Isle of Wight (**A1P13**).

L'approche choisie dans cette synthèse consiste à présenter la démarche adoptée usuellement en Valais pour prendre en compte les dangers naturels, quels qu'ils soient. Il ne s'agit en aucun cas de résumer les présentations qui ont été faites, et qui figurent *in extenso* en annexe. Dans le texte ci-dessous, les références aux présentations seront faites à l'aide de leur numéro, précédé de l'acronyme AIP (**A1P1**, **A1P2**...).

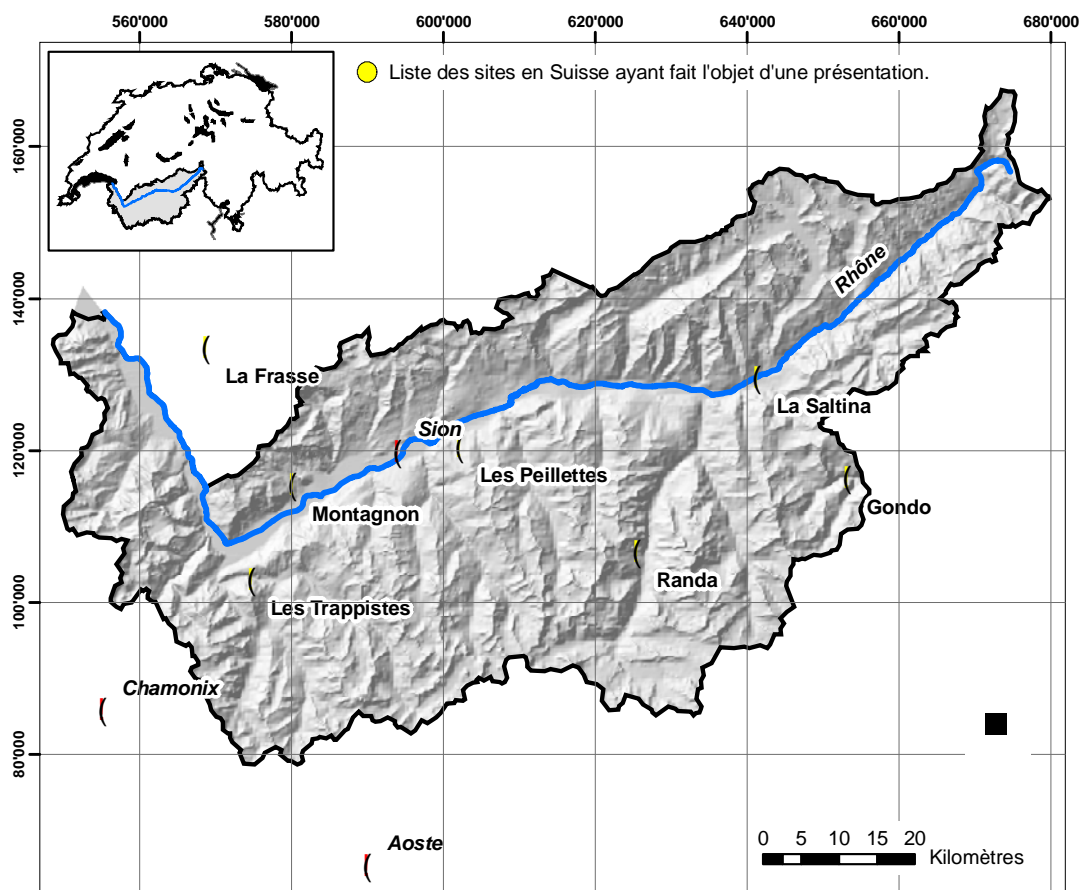


Figure 1.1.1: Les points jaunes matérialisent la localisation des sites en Suisse ayant fait l'objet d'une présentation lors de l'atelier 1.

1. Introduction

L'atelier de Sion a permis d'aborder une large palette de dangers naturels en milieu alpin. Pour la plupart des cas, des études prospectives ont été présentées. La majorité concerne des sites où des phénomènes ont déjà eu lieu, mais qui présentent encore un risque. Partant de l'hypothèse que "le passé et le présent sont les clés du futur", une large place est également dévolue à l'analyse *a posteriori* des événements:

- Les cas des Trappistes (**A1P6**, **A1P7**), de Randa (**A1P5**), des Ruines de Séchilienne (**A1P6**) et d'Arnad (**A1P8**) illustrent les **instabilités rocheuses**.
- Les **glissements de terrain** présentés sont affectés par des déplacements de 15 à 20 cm/an en moyenne. Ce sont les glissements de La Frasse (**A1P2**), de Montagnon (**A1P4**) et des Peillettes (**A1P1**). Le glissement de la Frasse a une superficie de 200 ha et est en mouvement quasi constant de l'ordre de 10 à 15 cm/an (**A1P2**). Il comprend une zone plus active, dans laquelle les déplacements atteignent 40 à 60 cm/an. Le glissement de Montagnon s'étend sur une superficie de 30 ha et a une pente moyenne de 18° (**A1P4**). Le glissement des Peillettes affecte une zone moyennement active de 160 ha, à l'intérieur de laquelle se situe une zone de 10 ha, montrant des vitesses pouvant atteindre 10 m/an (**A1P1**).
- Trois cas de **dangers hydrologiques** ont été exposés. Des laves torrentielles se déclenchent depuis la zone la plus active du glissement de terrain des Peillettes (**A1P1**). A l'occasion de ces phénomènes récurrents, près de 30'000 m³ de matériaux ont atteint la plaine depuis 1993. La crue de la Saltina (**A1P10**) et la coulée boueuse qui a dévasté le village de Gondo

(A1P9) sont quant à elles des phénomènes rares, liées à des événements météorologiques extrêmes.

Mis à part les cas documentés dans la présentation A1P13, qui ne sont pas discutés dans la présente synthèse, tous les sites étudiés sont situés en France, en Italie et en Suisse, principalement dans le **canton du Valais** (Figure 1). Ils permettent d'illustrer presque toutes les étapes de la gestion du risque, depuis la détection de l'aléa jusqu'à la mise en place des mesures de protection (Tableau 1). Deux aspects ont plus particulièrement été développés au cours de cet atelier:

- La caractérisation de l'aléa de rupture, et plus particulièrement l'élaboration d'un modèle géométrique tridimensionnel de l'instabilité au moyen d'**investigations profondes**.
- La gestion des **mesures de surveillance** et la mise en place des **mesures de protection**.

N° de la présentation	Détection de l'aléa	Caractérisation de l'aléa de rupture			Caractéristique de l'aléa de propagation	Calcul du risque	Surveillance	Mesures de protection
		Modélisation géométrique	Modélisation cinématique	Modélisation mécanique				
A1P1		+++	++				++	+++
A1P2		+++	+++	+++			+	+++
A1P3	+++						+++	
A1P4		+++	++				++	+++
A1P5							+++	
A1P6							+++	++
A1P7		+++					+	
A1P8	++	++	++	++				
A1P9		++	+++					+++
A1P10								+++
A1P11		+++						
A1P12							+++	
A1P13								

Degré de détail dans la présentation: +: Faible ++: Moyen +++: Elevé

Tableau 1.1.1: Les croix caractérisent les différentes étapes de la gestion du risque illustrées par chacune des présentations.

2. Caractérisation du risque

2.1. Caractérisation de l'aléa

Les présentations de cet atelier se sont focalisées sur la caractérisation de l'aléa de rupture. La propagation n'a pas été abordée.

2.1.1. Modélisation géométrique

La modélisation géométrique consiste à définir la **géométrie tridimensionnelle** de l'instabilité. Dans de nombreux cas, une grande précision n'est pas nécessaire: les incertitudes sur les paramètres contraignant le modèle cinématique (par exemple la répartition des perméabilités) et le modèle mécanique (par exemple la répartition des pressions hydrostatiques) sont souvent

beaucoup plus importantes que les incertitudes grevant la géométrie de l'instabilité elle-même. Néanmoins, l'établissement d'un modèle géométrique très précis est dans certains cas un préalable à l'élaboration d'un modèle cinématique, puis mécanique.

Dans le cas de la falaise d'Arnad (**A1P8**), la précision offerte par le levé structural classique a été jugée insuffisante: cette technique ne permet en effet pas de prendre en compte le recoupement des discontinuités. Afin de s'affranchir de cette limitation et de pouvoir hiérarchiser les discontinuités, un relevé photogrammétrique, ainsi qu'un relevé de type *Terrestrial Laser Scanning* (TSL ou LIDAR **Inventaire méthodes et instrumentations p.20**) ont été effectués. Un relevé TSL a également été effectué aux Trappistes (**A1P7**). La densité élevée des points mesurés par cette méthode permet de réaliser des modèles numériques de la **surface du terrain**. Plusieurs relevés TSL réalisés à divers intervalles de temps permettent également – de même d'ailleurs que les mesures géodésiques – de calculer des déplacements.

Une fois la surface du terrain déterminée, il est nécessaire de connaître les caractéristiques géométriques des terrains **en profondeur**. Dans le cas d'instabilités rocheuses, ces investigations servent par exemple à déterminer la continuité de certains des plans de glissement (**A1P8**). Pour des glissements de terrain, il s'agit principalement de déterminer la géométrie et la profondeur des surfaces de glissement (**A1P2**, **A1P4** et **A1P1**). Deux types de méthodes permettent d'acquérir ces données:

- La **géophysique** constitue une méthode d'investigation pas (ou peu) destructive (**A1P11**). D'une manière générale, pour l'étude des glissements de terrain, les méthodes électromagnétiques sont utilisées pour localiser les zones en mouvement; les méthodes sismiques sont privilégiées lorsqu'il s'agit de dessiner la géométrie des terrains en profondeur, alors que les méthodes géoélectriques servent à déterminer leur nature (**A1P11**). Ces diverses méthodes ont été mises en œuvre pour le glissement de terrain de Montagnon (**A1P4**): elles ont montré que la masse glissée avait une épaisseur variant de 20 m dans la partie haute du glissement, à près de 100 m au pied. Ces données ont également permis d'implanter des forages, dont les levés ont ensuite servi à caler les résultats des investigations géophysiques.
- Les **forages** sont utilisés soit dans le cas des instabilités rocheuses (**A1P8**), soit dans le cas des glissements de terrain (**A1P4** et **A1P1**). Sur le site d'Arnad (**A1P8**), les essais sur des carottes de forage ont permis d'établir les paramètres géotechniques. Pour le glissement de Montagnon (**A1P4**), les forages ont servi à déterminer la nature des diverses lithologies, leur épaisseur et leurs caractéristiques physiques et hydrogéologiques. Un modèle géométrique tridimensionnel du glissement a ainsi pu être développé. Il se compose d'une couche altérée et fissurée à perméabilité moyenne contenant un aquifère captif qui se situe entre deux niveaux à plus faible perméabilité: la masse glissée et le bedrock.

La création du modèle géométrique d'une instabilité doit être considérée comme une démarche itérative: le modèle s'affine au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données.

2.1.2. Modélisation cinématique et mécanique

Dans le cas de l'instabilité d'Arnad (**A1P8**), le modèle géométrique tridimensionnel du massif rocheux a été construit à l'aide du logiciel RESOBLOK. Un modèle cinématique a ensuite été réalisé suivant les principes de la théorie des blocs-clés. Enfin, le logiciel 3DEC a servi à établir un modèle mécanique.

Dans le cas des Peillettes (**A1P1**), les modèles cinématiques et mécaniques ont permis d'expliquer le déclenchement des laves torrentielles en deux étapes: 1) la sursaturation du terrain,

due au cumul des précipitations et à la fonte nivale, puis 2) le déclenchement proprement dit, provoqué par une pluie journalière de 20 mm seulement.

La modélisation géométrique, cinématique et mécanique sont d'une grande utilité pour la mise sur pied des **mesures de protection**. Pour le glissement de la Frasse (**A1P2**), pour lequel aucune relation certaine entre les mouvements et les précipitations (qui sont de l'ordre de 1'350 mm/an) n'a pu être établie, une modélisation mécanique par éléments finis a permis de calculer le comportement du glissement. Ce modèle a pu mettre en évidence une augmentation des pressions hydrauliques à la base de la masse instable. La modification des mouvements suite à la mise en place de diverses mesures de protection virtuelles ont pu être testées, permettant ainsi de choisir la plus efficace.

3. Suivi / Surveillance

Les systèmes de **surveillance** sont principalement utilisés dans le cadre de la gestion des sites rocheux instables. Après la première phase de l'éboulement de Randa (18 avril 1991), un système de surveillance a par exemple été mis en place (**A1P5**). Ce système, composé principalement d'extensomètres à piston et à mesures manuelles, ainsi que de géophones (système Vibrogard), a permis de prévoir la seconde phase de l'éboulement (9 mai 1991).

La technique classique de **suivi** d'une instabilité reste les mesures géodésiques (**Invent. Méthodes et Instrumentation p19**). Les deux types de mesures possibles, 1-D et 3-D, ont par exemple été effectués à Randa (**A1P5**). Depuis peu, les mesures de déplacement peuvent également s'effectuer à l'aide de relevés de type TSL (LIDAR, Invent. **Méthodes et Instrumentation p20**) ou par interférométrie radar terrestre (**A1P3**). Ces mesures ont l'avantage d'être surfaciques et non plus ponctuelles (**A1P7**, **A1P8**). La technique du radar terrestre permet, à partir d'un appareil monté sur rail, d'observer un glissement ou une falaise situés sur le versant opposé. Les mesures peuvent être effectuées jusqu'à une distance de 4 km avec une précision millimétrique. La précision des mesures effectuées à l'aide de relevés TSL est fonction de la distance à l'objet: plus la distance de visée est courte, plus la mesure est précise: elle est d'environ 5 mm à 250 m, mais atteint 15 mm à 800 m.

Plusieurs systèmes permettant de **gérer la grande quantité de données** acquises lors du suivi et/ou de la surveillance ont été présentés: ce sont les systèmes GeSSRI (Gestion de la Surveillance des Sites Rocheux Instables), (**A1P6**), Eydenet (**A1P12**), ainsi que Guardaval (**A1P6**) et RandaDB (**A1P5**) (voir aussi **Activité 3 Systèmes de télésurveillance**). L'application Guardaval (**A1P6**) permet de surveiller 20 sites instables (falaises rocheuses et glissements superficiels) menaçant des routes en Valais. L'option d'une liaison GSM a été privilégiée: elle permet d'interroger les stations avec un intervalle de temps court, ce qui ne serait pas possible en envoyant un opérateur sur le terrain. Guardaval sert à la fois à superviser les instabilités (par exemple, durant les travaux préparatoires à un reprofilage) et à diffuser des pré-alarmes ou des alarmes. Ainsi, dans le cas des Trappistes, l'alarme se déclenche à partir d'un mouvement de 0.8 mm/h (**A1P6**). Cette alarme est transmise aux autorités et provoque la fermeture automatique de la route. L'application RandaDB sert quant à elle à gérer les mesures 1-D et 3-D effectuées sur la niche d'arrachement de l'éboulement de Randa (**A1P5**). Elle comprend plusieurs modules qui permettent 1) la gestion du réseau de mesures (entre autres de ses caractéristiques descriptives), 2) la gestion des mesures elles-mêmes (historique des mesures, importation, exportation et édition des données et des métadonnées), ainsi que 3) la représentation graphique et 4) cartographique des données. Le module permettant l'analyse des données est encore en développement.

4. Gestion du risque

4.1. Mesures de protection

Les mesures de protection présentées tiennent compte à la fois des scénarios d'évolution temporelle de l'instabilité, déduites des modèles, et des objets menacés. Le pont sur la Saltina (**A1P10**) par exemple est soulevé automatiquement par le torrent en crue: passée la cote d'alerte, l'eau entre dans un réservoir à travers une ouverture pratiquée dans la digue située en amont du pont. Ce réservoir fait office de contrepoids: il devient progressivement plus lourd que le pont et le soulève.

Pour la stabilisation des glissements de terrain, les techniques exposées consistent principalement en des drainages profonds, par exemple à l'aide de pompes dans des puits ou à l'aide de tranchées drainantes (**A1P2**, **A1P1** et **A1P4**). Dans le cas du glissement des Peillettes (**A1P1**), le modèle montre deux aquifères différents. Chacun nécessite par conséquent un assainissement particulier: le drainage de l'aquifère profond, situé à plus de 40 m, a été réalisé au moyen de forages inclinés et a permis d'abaisser durablement la nappe de 8 m. Des drainages de surface servent quant à eux à minimiser l'infiltration dans la zone en glissement. Pour le glissement de la Frasse (**A1P2**), les mesures de protection retenues sur la base des simulations numériques consistent en la réalisation d'une galerie drainante, traversant la totalité du glissement. Des sondages drainants remontants seront réalisés à partir de cette galerie. En outre, des ouvrages réduisant l'érosion du pied du glissement (**A1P2**) seront construits.

4.2. Gestion du risque

Cet atelier a permis de mettre en évidence des différences notoires dans l'**appréhension de la problématique** entre la Suisse et la France. Du côté helvétique, la responsabilisation du public, ainsi que le souci de traiter les phénomènes quel qu'en soit le coût, sont privilégiés. A l'inverse, l'usage en France est plutôt d'exproprier des lotissements entiers plutôt que d'essayer de stabiliser le phénomène.