



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

Risk Ydrogéó

«Risques hydro-géologiques en montagne : parades et surveillance »

Rapport final

Investigations, Instrumentation et parades en matière de risques hydro-géologiques : état des connaissances dans l'Arc alpin

Partenaires et financeurs :



En collaboration avec :




Pôle Grenoblois
Risques Naturels



SOMMAIRE

Présentation du projet.....	1
Activité 1. Les Ateliers.....	5
Avant-propos	
A. Liste des interventions.....	5
B. Exemple de synthèse : l'atelier 3.....	8
C. Conclusions / Confrontations.....	12
Activité 2. Instrumentation des sites pilotes.....	19
A. Introduction : les 6 sites instrumentés.....	19
B. Exemple de fiche – Site pilote 2. Becca di Nona.....	20
Activité 3. Systèmes de télésurveillance : évaluation des systèmes en usage sur le territoire des partenaires.....	25
Préambule	
A. Objectifs et démarches.....	25
B. Principaux résultats.....	26
C. Conclusions.....	29
Activité 4. Systèmes d'instrumentation.....	31
Préambule	
A. Conception générale – modèle de surveillance.....	31
B. Modèles d'interprétation – diagnostic.....	32
C. Méthodes de surveillance.....	33
D. Instrumentation.....	33
E. Exploitation.....	35
Activité 5. Systèmes de parades.....	37
A. Introduction	
B. Liste des fiches – parades	
C. Liste des annexes	
D. Exemple de fiche parade : Parade 9 – Les ancrage.....	38
Conclusions et perspectives.....	45

Présentation du projet

INTERREG IIIA ALCOTRA			
Projet n 179 (ex 046 avant extension)	Risques hydro-géologiques en montagne : parades et surveillance « RiskYdrogeo »		
Partenariat	Chef de file : Direction de la prévention des risques hydro-géologiques Assessorat du Territoire RAVA	Partenaires transfrontaliers :	RTM délégation nationale – Grenoble
			CETE Lyon
		En collaboration avec	Canton du Valais
			Pôle Grenoblois des Risques Naturels
			CREALP

Secrétariat du projet : Fondation Montagne Sûre, Courmayeur - Vallée d'Aoste.

Localisation géographique

Région Autonome Vallée d'Aoste	Région Rhône-Alpes (Haute-Savoie, Savoie)
Canton du Valais	Territoire adjacent : département de l'Isère

Contexte - Objectifs

Soutenu par la convention cadre « RiskNat en montagne » (Vallée d'Aoste, Haute-Savoie, Savoie et Valais) ce projet vise, par le biais d'une concertation transfrontalière, à *améliorer la prise en compte des dangers naturels dans le cadre de l'aménagement du territoire alpin*. Lors des récentes catastrophes qui ont affecté l'espace alpin, nombre de lacunes ont en effet été constatées dans les modes de prise en compte des risques naturels par les collectivités territoriales. Les résultats de ce projet s'inscrivent dans la poursuite d'une coopération transalpine soutenue, seule possibilité à terme d'assurer un même niveau de protection pour l'ensemble des populations de montagne et leurs hôtes saisonniers.

Les dangers hydro-géologiques [au sens italien d'*idrogeologico*; voir § Terminologie *ci-après*] les plus courants dans l'arc alpin sont les chutes de pierres, éboulements, glissements de terrain et coulées de boue. Les facteurs clés qui régissent ces types d'instabilité sont la pente et les eaux météoriques. Les initiateurs du projet ont estimé que seule une plate-forme commune permettrait d'évaluer l'opportunité des instrumentations et parades instaurées à ce jour.

Comparativement au projet « jumeau » Rockslidetec, le projet Riskydrogeo a été **orienté en direction des « praticiens »** : son objectif n'est pas de mener des recherches scientifiques, mais de tenter de valider tout ce

qui est couramment pratiqué dans ce domaine par les partenaires -- méthodes d'auscultation, types de parades, équipements de surveillance et modes de prise en compte du risque par les collectivités territoriales concernées- - afin de proposer à l'autorité politique le plus petit dénominateur commun de ces pratiques.

Activités du projet

Le projet s'est concentré sur cinq grandes activités, sous l'impulsion du GPrisk, groupe de pilotage transfrontalier composé dès le début du projet (Coordinateur J.-D. Rouiller – Géologue du canton du Valais).

Activités	Description synthétique
1) <i>Ateliers</i>	4 ateliers transfrontaliers ont été organisés par le projet (2 en France, 1 en Vallée d'Aoste, 1 en Valais) afin de faire partager aux participants une grande variété de cas d'instabilité de terrain en milieu alpin, tout en confrontant les sensibilités et pratiques de chacune des régions partenaires en matière d'investigation, analyse et prise en compte des dangers naturels.
2) <i>Instrumentation de sites pilotes</i>	Les partenaires CETE et Vallée d'Aoste ont équipé respectivement 1 et 5 sites d'instabilité de terrain, soit pour étalonner et comparer des instruments déjà éprouvés dans des contextes différents, soit pour effectuer des tests de prototypes (télé-surveillance et génération automatique d'alertes).
3) <i>Evaluation des systèmes de télé-surveillance</i>	Le CREALP a réalisé une évaluation des systèmes de télé-surveillance utilisés par les trois régions partenaires : GeSSRI (CETE, Région Rhône-Alpe), EYDENET (Vallée d'Aoste) et GUARDAVAL (VALAIS).
4) <i>Méthodes et systèmes d'instrumentation</i>	Trois documents ont été réalisés pour aider les services opérationnels dans le choix et la définition d'un système de surveillance de versant instable adapté au problème rencontré : un inventaire des méthodes et systèmes d'instrumentation, une base de données « <i>Capteurs</i> » directement utilisable sous Access et un glossaire lié à l'instrumentation.
5) <i>Catalogue des parades</i>	Un catalogue de 14 parades utilisées contre les mouvements de terrain a été rédigé, à partir de la mise en commun et de la formulation des pratiques des différents partenaires.

Valorisation des résultats et diffusion de l'information :

Guide pratique

Le rapport final a la forme d'un guide pratique intitulé « Investigations, Instrumentation et parades en matière de risques hydro-géologiques (RiskYdrogeo) : état des connaissances dans l'Arc alpin ». Il comprend :

- les synthèses des ateliers ainsi que leurs conclusions ;
- les fiches des 6 sites pilotes avec les principaux résultats de l'instrumentation mise en place ;
- l'évaluation des trois systèmes de télé-surveillance ;
- l'inventaire des méthodes et systèmes d'instrumentation et la base de données « Capteurs », accompagné d'un glossaire
- le catalogue des parades (15 fiches) ;
- un glossaire précisant la terminologie adoptée en matière de risques hydro-géologiques.

Ce guide est livré sous forme de **CD-ROM** et téléchargeable.

Le présent document fait de nombreux *renvois* à ce CD-Rom (en bleu, gras, italique dans le texte).

Conférence finale

Un colloque rassemblant les partenaires du projet ainsi que des invités a eu lieu à Courmayeur à la fin du projet initial (juin 2006) afin de valider les résultats obtenus et de les approfondir.

La conférence finale, organisée du 24 au 26 octobre 2006 au centre des congrès de St Vincent (Vallée

d'Aoste), a pour but d'exposer les résultats du projet et de prolonger les échanges des ateliers transfrontaliers, en mettant en évidence les limites atteintes et les questions soulevées. Les interventions d'experts-techniciens internationaux doivent apporter une ouverture sur d'autres pratiques, un état de l'art plus général, des réponses ou une reformulation aux questions posées.

Terminologie

Dans toute coopération transnationale, l'utilisation d'un vocabulaire technique commun est un problème récurrent. Des ambiguïtés apparaissent entre les différentes régions ou même à l'intérieur d'une même région où le langage usité lors des études de terrain peut différer de celui de la démarche complète d'analyse du risque. Afin de lever toute ambiguïté, il faut recentrer la terminologie. Un travail important ayant déjà été réalisé dans ce sens lors du projet Interreg IIC Falaises, il s'est agit ici de compléter l'essentiel du glossaire établi à cette occasion.

En particulier, au sein de ce projet, il a été décidé de regrouper sous le terme « idrogeologico » - traduit en français par *hydro-géologique* [avec trait d'union]- les phénomènes naturels traduisant la réaction du sol à l'action de l'eau. On y trouve l'ensemble des phénomènes gravitaires affectant les terrains de montagne : glissements de terrain, chutes de pierres, éboulements, et en particulier des coulées de boue qui résultent de la solifluxion du sol, et qui dans certains cas rejoignent le réseau hydrographique pour participer à la formation des laves torrentielles. Y sont aussi rattachés les tassements de versant liés à la liquéfaction des roches en profondeur. Si ce terme recouvre parfaitement l'usage qui en est fait en Italie, on parle plutôt de « danger géologique » en Suisse et de « mouvement de terrain » en France.

Le [glossaire](#) complet est disponible sur le CD-Rom du projet.

Activité 1 - Les ateliers

Avant-propos

Le projet RiskYdrogé a organisé quatre ateliers de deux journées et demi. L'objectif était de montrer aux participants la plus grande variabilité de cas d'instabilité de terrain en milieu alpin, tout en confrontant les sensibilités et pratiques de chacune des régions partenaires en matière d'investigation, analyse et prise en compte des dangers naturels. Ces ateliers ont réuni à chaque fois plus d'une cinquantaine de spécialistes représentant les services départementaux concernés, les bureaux d'étude et les universités / Hautes Ecoles. Le programme était toujours bâti sur le même schéma: présentations en salle (y compris présentations des cas ensuite visités), visites sur le terrain et colloque de synthèse auquel étaient invitées les autorités locales. L'agenda des ateliers a été articulé comme suit :

Atelier 1 Sion (Valais, CH). 5-7 mai 2004. *Exemples de dangers naturels en milieu alpin : problématiques, mesures d'investigation et de gestion.*

Atelier 2 La Mure (Isère, F). 13-15 octobre 2004. *Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur Trièves-Beaumont.*

Atelier 3 Albertville (Savoie, F). 7-9 juin 2005. *Exemples de risques hydro-géologiques affectant les infrastructures linéaires de la Savoie : problématique, surveillance, sécurité des usagers et protection.*

Atelier 4 Aoste (Vallée d'Aoste, I). 13-15 septembre 2005. *Surveillance et gestion du territoire en Vallée d'Aoste.*

Quatre synthèses ont été réalisées : elles résument pour chacun des ateliers les présentations des intervenants, dont la liste exhaustive est fournie ci-dessous (§A) et dont l'intégralité de la contribution est fournie en annexe (cliquer sur le lien). Le lecteur peut ainsi prendre rapidement connaissance de l'information et si nécessaire la consulter par le détail dans le CDrom. Ces synthèses sont structurées de façon identique, à savoir 4 paragraphes qui regroupent les principales problématiques abordées, enrichies par les discussions soulevées lors des présentations et visites :

1. Introduction (présentation de la thématique centrale de l'atelier)
2. Caractérisation du risque
3. Suivi / surveillance
4. Gestion du risque / Gestion du territoire.

Des renvois aux documents de référence, sous la forme **AXPY**, sont proposés dans le texte [X étant le numéro de l'atelier et Y le numéro d'ordre de la présentation dans chacun des ateliers]. Les synthèses des ateliers 2, 3 et 4 sont complétées par un tableau récapitulatif présentant les caractéristiques principales des sites présentés.

La synthèse de l'atelier 3 est présentée à titre d'exemple dans la partie B.

A. Liste des interventions

Pour chaque atelier, toutes les interventions sont listées ci-après. Les présentations qui ont fait l'objet d'une visite de terrain sont indiquées en gras : pour les documents comportant plusieurs auteurs, seul l'auteur ayant réalisé la présentation est indiqué (liste complète sur les documents du CD Rom)

Atelier 1. (Sion, Valais 5-7 mai 2004) - Exemples de dangers naturels en milieu alpin: problématiques, mesures d'investigation et de gestion

Présentation 1. *Le glissement des Peillettes*, G. BIANCHETTI, CREALP - Alpgéo, Sierre (**A1P1**).

Présentation 2. *Le glissement de la Frasse/Vaud*, Ch. BONNARD, EPFL, Lausanne (**A1P2**).

Présentation 3. *La surveillance de falaise par interférométrie*, H. RAETZO, OFEG, Berne (**A1P3**).

Présentation 4. *Le glissement de Montagnon*, G. BIANCHETTI, CREALP - 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 (**A1P6**).
- Présentation 7. *Surveillance de falaise par méthode LASERSCAN*, L. BORNAZ, Politecnico di Torino, Turin (**A1P7** et **A1P7résumé**).
- Présentation 8. *Application des modèles Resoblok et 3Dec à la falaise d'Arnad/VdA*, I. VOYAT, Università Parma, Parme (**A1P8** et **A1P8résumé**).
- Présentation 9.** *Présentation et visite du site de Gondo*, J.-D. ROUILLER, Etat du Valais, Sion & Ch.-L. JORIS, Bureau O. Schmid, Brig (**A1P9** et **A1P9complément**).
- 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** et **A1P11complément**).
- Présentation 12. *Présentation du système de surveillance à distance EYDENET*, A. TAMBURINI, Enel.Hydro-Isma, 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**).

Atelier 2. (La Mure, Isère 13-15 octobre 2004) : Les risques liés aux glissements de terrain dans les secteurs Trièves-Beaumont

- Présentation 1. *Les glissements de terrain du Trièves ; typologie – géomorphologie*, L. Lorier, SAGE Ingénierie. (**A2P1**)
- Présentation 2. *Apports du géoradar pour la caractérisation des fractures sur sites instables : exemples et perspectives*, S. Garambois, LIRIGM. (**A2P2**)
- Présentation 3.** *Le glissement de la Salle en Beaumont*, C. Chapeau (CETE Lyon). (**A2P3**)
- Présentation 4.** *Suites opérationnelles à la catastrophe de La Salle-en-Beaumont*, C. Moulin, RTM Isère. (**A2P4**)
- Présentation 5.** *Route Nationale 85, glissement de La Salle-en-Beaumont, 8janvier 1994, DDE38.* (**A2P5**)
- Présentation 6.** *Commune de Cognet ; glissement au village*, N. Ducastel (Alpes Geo Conseil). (**A2P6**)
- Présentation 7. *Pathologie et maintenance des travaux de drainage*, C. Chapeau, CETE Lyon. (**A2P7**)
- Présentation 8. *La prise en compte des glissements de terrain dans la maintenance des infrastructures routières*, F. Gaillard, DDE38. (**A2P8**)
- Présentation 9. *Le drainage, arme universelle pour stabiliser les glissements de terrain : l'exemple du Trièves*, Y.H. Faure, LIRIGM. (**A2P9**)
- Présentation 10.** *Glissement de l'Harmalière sur la commune de Sinard*, L. Lorier, SAGE Ingénierie. (**A2P10**)
- Présentation 11.** *Glissement du Mas d'Avignonet, commune d'Avignonet*, L. Lorier, SAGE Ingénierie. (**A2P11**)
- Présentation 12.** *Glissement du Mas sur la commune d'Avignonet, Etat de la gestion du risque en octobre 2004*, J.P. Réquillart, RTM38. (**A2P12**)
- Présentation 13. *Evolution des méthodes de suivi géodésique pour la connaissance des zones naturelles instables*, I. Prévitali, Sintégra. (**A2P13**)
- Présentation 14. *Construction dans les zones en glissement*, P.Martin, Betrec. (**A2P14**)
- Présentation 15. *Urbanisme et construction dans les zones en glissement, gestion des constructions très exposées*, JP. Réquillart, RTM38. (**A2P15**)

Atelier 3. (Albertville, Savoie, 7-9 juin 2005) : Exemples de risques hydro-géologiques affectant les infrastructures linéaires de la Savoie : problématique, surveillance, sécurité des usagés et protections.

- Présentation 1. *L'évaluation du risque d'éboulement rocheux ; Quelques réflexions tirées de l'expérience ; Exemples savoyards*, L. ROCHET, ROCHET & ROCHET Consultants (**A3P1**).
- Présentation 2.** *Eboulement de Combelouvière (Savoie)*, L. Lorier, SAGE Ingénierie (**A3P2**).
- Présentation 3.** *Glissement de Combelouvière, Note de synthèse*, B. Laïly, RTM Savoie (**A3P3**).

- Présentation 4.** *Commune de La Léchère (73), site de Combelouvière, suivi géodésique*, J.P. Duranthon, CETE Lyon ([A3P4](#)).
- Présentation 5.** *Mouvement de versant du Siaix*, L. Effendiantz, CETE Lyon ([A3P5](#)).
- Présentation 6.** *Eboulement du Siaix, Les consignes de sécurité*, J.P. Duranthon, CETE Lyon ([A3P6](#)).
- Présentation 7.** *Apport de l'imagerie multi-sources à la compréhension de la dynamique des mouvements de versants*, J. Kasperski, CETE Lyon / Université Lyon I ([A3P7](#)).
- Présentation 8.** *Versants instables ; Corrélation débits / mouvements*, M. Livet, CETE Lyon / LRPC Clermont-Ferrand ([A3P8](#)).
- Présentation 9.** *Risque d'obstruction des cours d'eau et de débâcles brutales*, D. Laigle, Cemagref Grenoble ([A3P9](#)).
- Présentation 10.** *Les gorges de l'Arly, RN 212 – Liaison Ugine – Mégève ; Etude géologique et géomorphologique du secteur instable du tunnel des Cliets ; Données instrumentales ; Application au diagnostic de stabilité*, P. Potherat, CETE Lyon ([A3P10](#)).
- Présentation 11.** *Les systèmes de surveillance par capteurs sismiques*, F. Guyoton, Géolithe ([A3P11](#)).
- Présentation 12.** *Systèmes de détection sur le réseau ferré français*, P. Grandsert, SNCF Paris, et C. Le Pontois, SNCF Chambéry ([A3P12](#)).
- Présentation 13.** *Risques hydro-géologiques et circulation routière*, Th. Alexandre, DDE 73 ([A3P13](#)).
- Présentation 14.** *Principaux sites de grande ampleur affectant les routes départementales de Savoie*, A. Lescurier, Conseil Général 73 ([A3P14](#)).

Atelier 4. (Aoste, Vallée d'Aoste 13-15 septembre 2005) : Surveillance et gestion du territoire en Vallée d'Aoste

- Présentation 1.** *Falaise de la route de Cogne (route n°47) entre les Km 8+600 et 16+700 ; Etude structurale et géomécanique ; Elaboration de la carte de danger*, F. Baillifard, Crealp ([A4P1](#)).
- Présentation 2.** *Route régionale de Cogne : problèmes et difficultés dans la rédaction des projets / études*, M. Pasqualotto, RAVA ([A4P2](#)).
- Présentation 3.** *Route régionale de Cogne : infrastructures de protection réalisées et en cours de réalisation*, S. Glarey, Assessorat du territoire – RAVA, Direction des ouvrages routiers ([A4P3](#)).
- Présentation 4.** *Les grands mouvements de masse sur le territoire valdôtain et les systèmes de surveillance installés*, M. Broccolato, Assessorat du territoire – RAVA ([A4P4](#)).
- Voir aussi [Chapitre 2, Sites pilotes : 2-Becca di Nona, 3-Bosmatto, 4-Citrin, 5-Vollein](#)
- Présentation 5.** *L'éboulement de masse de Chervaz ; description du site et évolution du mouvement de terrain en cours de surveillance*, E. Rabbi, soc. Geodata ([A4P5](#)).
- Présentation 6.** *L'éboulement de masse de Citrin : description du site de visite*, M. Bersano Begey, soc. Hydrodata ([A4P6](#)).
- Présentation 7.** *L'éboulement de masse de Citrin : ground SAR*, D. Macaluso, Ismes, Université de Florence ([A4P7](#)). Voir aussi [Chapitre 2 Site pilote 4 Citrin](#)
- Présentation 8.** *Eydenet : a real time decision support system*, A. Tamburini, CESI ([A4P8](#)).
- Présentation 9.** *Runout of large rockfall and debris avalanches prediction for assessing their hazard : the Bosmatto landslide cas study (Gressoney, Val d'Aosta)*, A. Tamburini, CESI ([A4P9](#)).
- Présentation 10.** *Landslide motion and displacement monitoring survey using Satellite radar interferometry*, R. Mayoraz, Crealp ([A4P10](#)).
- Présentation 11.** *Travaux d'aménagement du torrent de Comboé dans les communes de Pollein et de Charvensod*, I. Cerise, ing. des forêts ([A4P11](#)). Voir aussi [Chapitre 2 Site pilote 3 Bosmatto](#)
- Présentation 12.** *Travaux de consolidation et de protection du village de Bosmatto sur l'éboulement de Mussolier*, G. Béthaz, ing. Aoste ([A4P12](#)).
- Présentation 13.** *Evaluation des trois systèmes de télésurveillance Eydenet*, GeSSRI, Guardaval, P. Ornstein, Crealp ([A4P13](#)).
- Présentation 14.** *Exemple d'une carte de risque d'une commune de la Vallée d'Aoste en relation à la présence d'un système de surveillance sur le territoire*, M. Pasqualotto, Assessorat du Territoire – RAVA + E. Subet, maire de Charvensod et A. Comé, maire de Gressoney St Jean ([A4P14](#)).

B. Exemple de synthèse : Atelier 3 d'Albertville

1. Introduction

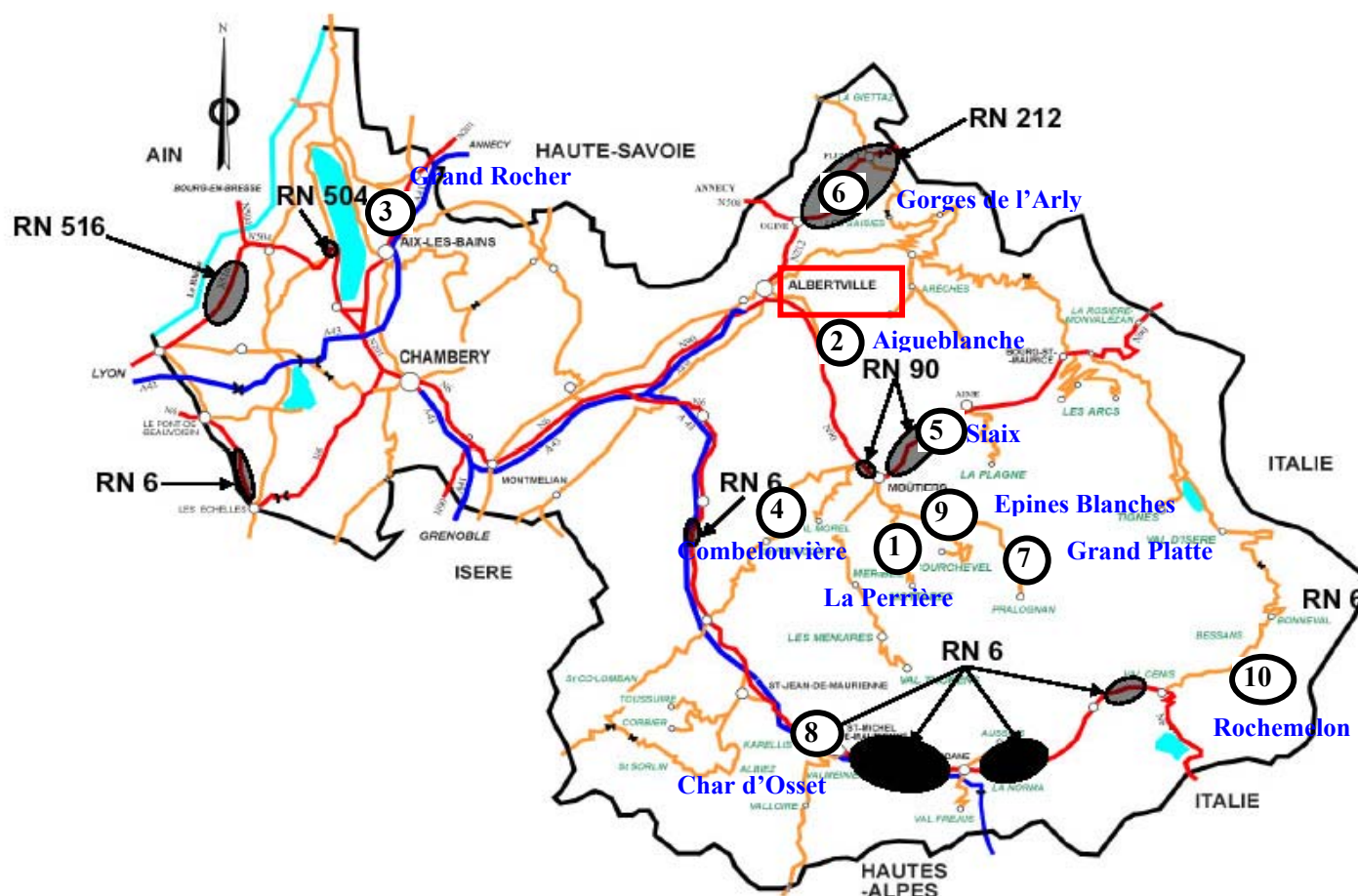


Figure.1. 1. Localisation de l'atelier et des sites présentés

2. Caractérisation du risque

2.1. Caractérisation de l'aléa

Nous parlons principalement ici des études prospectives, les études a posteriori ayant peu été abordées. Le long d'infrastructures linéaires, la localisation et la caractérisation des zones à risque présente des contraintes particulières, du fait de l'extension des secteurs à sécuriser (A3P1, p.2-7). Sur les itinéraires savoyards, les secteurs exposés sont découpés en tronçons affectés chacun d'un niveau de risque (exemple du Val d'Arly, A3P13 p.30-31).

Reconnaitances

Les reconnaissances se font beaucoup à partir de photos aériennes et de photos obliques prises d'hélicoptère. La reconnaissance détaillée des tronçons classés à risque inclut une étude géologique, géomorphologique et géomécanique (A3P1 p.6-7, A3P10 p.7-10) et éventuellement une auscultation complémentaire : études géophysiques (exemple de profil sismique A3P10, p.12, campagne sismique-électrique-sondages A3P5, p.7-8), suivi du mouvement par géodésie, extensométrie... (voir paragraphe 3). L'utilisation de techniques d'imagerie multi-source est explorée pour réaliser des campagnes prospectives de détection de mouvements sur de grands linéaires (A3P7).

Remarque : Contrairement à ce qui se fait en Italie, les services géologiques ne sont pas spécifiquement en contact avec les professionnels de la montagne pour la détection et/ou le suivi de sites instables.

Mécanisme.

La modélisation cinématique d'une instabilité rocheuse est souvent délicate car les mécanismes en jeu sont complexes (A3P1, p. 8). Dans le cas de Combelouvière, c'est un vaste phénomène de fauchage qui aurait été mis en évidence (A3P2, p.4). La compréhension du mécanisme de l'instabilité est une étape importante dans l'estimation de son évolution, avec par exemple une probable auto-stabilisation du mouvement de Combelouvière ou au contraire une évolution continue vers la rupture à la Perrière (voir paragraphes Alerte et Gestion de crise).

2.2. Enjeux

Le document A3P13 met en avant les contraintes et les enjeux spécifiques sur les itinéraires qui desservent de nombreuses stations de ski, notamment la vallée de la Tarentaise. L'accès à la majorité des stations étant unique, la fermeture d'une route est très lourde de conséquences, en particulier en période hivernale, tant sur le plan économique que pour la gestion des flux de skieurs (3600 véhicules / jour à la montée sur l'ensemble de la vallée). Les enjeux sur cette vallée se sont vus décuplés en 1992, à l'occasion des Jeux Olympiques d'hiver d'Albertville ; de nombreux aménagements de sécurisation et de fluidification du trafic routier datent de cette période.

Dans la vallée de la Maurienne, les transports de marchandises via le tunnel du Fréjus, par la route et par le rail, représentent des enjeux majeurs.

3. Surveillance

De nombreux cas présentés lors de l'atelier ont été ou sont encore instrumentés à des fins de suivi des mouvements et/ou de détection d'événement. Les principaux types d'instrumentation exposés sont (voir pour les définitions techniques **P'Inventaire Méthodes et Instrumentation**) :

a) Pour le suivi de mouvement :

- les extensomètres et fissuromètres, à mesure manuelle ou automatique : capteurs extensométriques du Siaix et du Char d'Osset, reliés au centre de gestion du trafic routier OSIRIS (respectivement A3P5, p.8-9 et A3P14, p.14-19) ou de la Perrière, relié à un terminal de mesure à la mairie, A3P1 p.14) ;
- les repères géodésiques, à mesure ponctuelle (Combelouvière en début de crise, Arly, tunnel des Cliets) ou continue par une station de mesure automatique : celle de Combelouvière est opérationnelle depuis 1998 (A3P4), avec un terminal de site qui enregistre sur place les cycles de mesures et les envoie au centre d'exploitation de Lyon par réseau commuté ;
- le scanner laser (TLS ou LIDAR) : cette nouvelle méthode permet une couverture spatiale et temporelle des mouvements, avec obtention des champs de déplacements ; l'intérêt est d'accéder à la compréhension des mécanismes d'instabilité pour les versants reconnus instables (1^{ère} acquisition de mesures réalisée sur le site du tunnel des Cliets (A3P7), prochaine prévue dans l'été 2005).

b) Pour la détection :

- les filets détecteurs, largement utilisés par la SNCF sur son réseau ferré (A3P12) : principe du tout ou rien, une alarme est déclenchée lorsqu'un bloc traverse un filet ; les problèmes de maintenance sont liés à la longueur des filets, qui rendent difficile la localisation du point de rupture ; les filets SNCF sont pour cela en cours de fractionnement par tronçons ; le pourcentage de déclenchement intempestif est de l'ordre de 20% ;
- les capteurs sismiques (A3P11) : un réseau de géophones enregistre en continue le bruit de fond et en particulier les ondes sismiques provoquées par des impacts de blocs rocheux ; la difficulté consiste à placer le seuil d'alerte (voir paragraphe suivant) et à discriminer les signaux parasites ; un tel système est actuellement utilisé à Rochaille (A3P11, p.7-8), en Savoie sur le site de Grande Platte (A3P14, p.2-12) et de nouveaux essais sont actuellement en cours pour la SNCF, où la discrimination des bruits de passage de train pose encore problème.

Pour les glissements de terrain, les études de corrélation entre débit d'un cours d'eau en pied de pente et mouvements semblent permettre d'affiner les résultats piézométriques classiques, dans le but de prévoir le déclenchement des mouvements (A3P8); dans la configuration géologique étudiée, typique du Centre et du bassin parisien, elles pourraient lever des incertitudes dans la frange où une même valeur piézométrique donne plusieurs réponses en déplacements.

Remarque : Les présentations ont montré la quantité importante de données acquises dans le cadre de la surveillance des sites instables en Savoie. Leur utilisation est pour l'instant limitée à la gestion du risque, alors qu'elle pourrait être étendue notamment à la recherche. Il est souligné le caractère sensible, voire confidentiel, de ces données sur certains sites à fort enjeu ; si le CG 73 ne s'oppose pas à leur utilisation à fin scientifique, dans un contexte bien défini, a priori une fois la crise passée, il faut noter que c'est toujours le propriétaire des données instrumentales qui décide si celles-ci peuvent être diffusées.

Seuils d'alerte

Dans certains cas, le seuil d'alerte est fixé par avance et les procédures de sécurité sont enclenchées automatiquement. C'est cas des filets détecteurs, dont le seuil est directement la rupture d'un élément de filet (A3P12), ou des capteurs sismiques, dont le seuil est établi après une période d'observation, indépendamment pour chaque capteur d'un même site en fonction du niveau de bruit de son entourage (A3P11).

Dans d'autres cas c'est l'accélération des déplacements observés (rupture de pente sur une courbe) qui alerte les géologues et les responsables, qui prennent les décisions en fonction de l'évolution du phénomène (A3P14 p.25).

Les exemples ci-dessous illustrent bien la variabilité des seuils d'alerte possible :

- Sur le site de Combelouvière (A3P2), les vitesses de déplacements sont passées de négligeable à 1,5-2mm/j en oct.97 (décision de fermeture de la route), puis 15-30mm/j début nov. (1^{er} éboulement le 10/11) et jusqu'à 500-600 mm/j en déc. (dernier éboulement le 20/12) ;
- Pour l'Eperon de la Becqua (La Perrière) (A3P1, p.14), les vitesses d'ouverture des fractures passent de 4 mm/an en 1975-80 à 35mm/an en 1996-98 et le seuil de vigilance alors défini de 1mm/j est dépassé le 01/03/1999 ; le seuil d'alarme pour la procédure d'évacuation est fixé à 10mm/j ; la veille de la rupture la vitesse dépasse 40mm/j ;
- Pour le mouvement du Siaix (A3P6), le seuil de préalerte est défini à 5mm/j pour au moins un des capteurs, le seuil d'alerte à 7 mm/j pour les 4 capteurs simultanément.

La difficulté d'établir ces seuils d'alerte et de proposer une réponse appropriée est un des points essentiels de la problématique de gestion du risque.

4. Gestion du risque / Gestion du territoire

4.1. Gestion de crise

Face à l'occurrence d'un événement de risque rocheux, plusieurs approches sont mises en œuvre en Savoie, fonction du caractère prévisible ou non du phénomène, de l'existence ou non d'une surveillance du site et du type de surveillance.

- Pour des sites surveillés, où les seuils d'alerte (d'alarme) sont prédéfinis, la procédure de gestion de crise peut, elle-aussi, être prédéfinie et s'enclencher automatiquement dès le dépassement du seuil. C'est le cas sur le site du Siaix (A3P6, description de la procédure p.1-2) ou de la Rochaille (A3P11, description de la procédure p.8).
- Pour des sites surveillés à évolution lente, lorsque la procédure n'est pas pré-établie, l'accélération des mouvements peut engendrer la constitution d'une cellule de crise, incluant des géologues, experts techniques (CETE, bureaux d'étude, DDE, CG) et autorités chargées de la sécurité (élus de commune, préfecture, gendarmerie). A La Perrière, l'existence de courbes de mesures sur plusieurs années a permis de tester différents modèles de prévision de la rupture (A3P1, p.14-18) : les prévisions sont réalisées par les experts mais les décisions qui en découlent sont prises en concertation au sein de la cellule, soit l'évacuation de la population exposée dans ce cas (durée de la crise 24 jours). A Combelouvière la cellule de crise (A3P3, p.3) a été amenée à envisager différents scénarios d'évolution du risque (paragraphe suivant).
- Lorsque le phénomène naturel se produit de façon impromptue, les services techniques doivent réagir au plus vite, comme dans le cas de l'éboulement du tunnel des Cliets : dégagement des voies de

circulation, évaluation des risques résiduels, travaux de sécurisation, réouverture des voies de circulation (**A3P10**).

4.2. Scénarios

Sur le site de Combelouvière des scénarios de formation d'un barrage de l'Eau Rousse avec risque de rupture brutale ont été envisagés (**A3P3**, p.3-4).

La prise en compte de ce risque d'obstruction des cours d'eau avec débâcle brutale se base sur des cas connus (**A3P9**, p.1-4). Les mesures de réduction du risque sont limitées (**A3P9**, p.6) ; on peut avoir recours à des études de propagation de l'onde de rupture pour affiner les scénarios à l'ava, mais celles-ci sont dépendantes, d'une part d'hypothèses sur l'hydrogramme de rupture (**A3P9**, p.7-20), d'autre part de données topographiques précises, non forcément disponibles en temps de gestion de crise.

4.3. Mesures de protection

Le long des infrastructures linéaires, les mesures de protection permettent de sécuriser les itinéraires face aux événements courants (chutes de pierres, de blocs), la première préoccupation étant d'éviter le « coup au but », l'impact direct d'un bloc sur un véhicule.

Les différentes parades mises en place sur les sites ont été brièvement présentées. On ne retiendra ici que les points marquants ayant donné lieu à discussion.

(Pour plus de détails voir **Activité 5 Systèmes de parades**)

Site du Siaix (**A3P5**) :

- les drains profonds (**Parade 14**) réalisés en pied de pente n'ont jamais rendu beaucoup d'eau, mais leur mise en place correspond à un ralentissement des mouvements ;
- système de tranchées (non étanches : ?) en haut de pente pour dévier l'eau superficielle en dehors de site instable + couverture en tôles des fractures les plus larges pour limiter les infiltrations d'eau.

Filets haute capacité (**Parade 3**) : l'expérience prouve leur efficacité face à des blocs isolés jusqu'à 8-10 m³ ; par contre ils sont couchés par un éboulement en masse (**A3P14**, p.10). Ils sont également pliés par la chute d'un bloc au droit d'un poteau : on peut recommander le doublage systématique des haubans. La fréquence de surveillance de ces filets est liée à leur accessibilité et aux qualités « tout terrain » des agents de maintenance. Le CG tente de mettre en place un système de surveillance tous les 2 ans ; la SNCF planifie une visite annuelle de tous ses ouvrages.

4.4. Sécurité des usagers

Lorsque les mesures de protection sont inadaptées (phénomène trop conséquent, pas d'emprise au sol pour implanter les protections), il faut réguler le trafic en fonction de l'occurrence d'un événement. A la Rochaille (**A3P11** p.8) ou à Grande Platte (**A3P14**, p.4-12) une chute de pierre déclenche automatiquement, via le système de surveillance et d'alerte, le fonctionnement de feux tricolores et d'une barrière de fermeture de la route. Au Siaix (**A3P6**) et au Char d'Osset (**A3P14**, p. 14-19) un tel système est aussi en place, relié en plus au centre de gestion du trafic routier OSIRIS, installé à Albertville. Ce centre, qui gère le trafic sur tout le département de la Savoie, a mis en place des systèmes particuliers de régulation dans la vallée de la Tarentaise, différents les jours de circulation classique et les week-end de fort trafic hivernal : la fermeture d'une route, suite à un éboulement ou un autre phénomène naturel, enclenche le système RECITA (Régulation de la Circulation en Tarentaise, **A3P13** p.19-20) avec des feux tricolores et une information sur la situation très loin en amont et en aval de la zone bloquée. La priorité est de pouvoir stocker les véhicules en attente dans des secteurs sécurisés, hors des tunnels.

Une procédure d'exploitation de la RN212 existe également dans les gorges de l'Arly (**A3P13**, p.32), avec patrouilles régulières de la DDE, consignes à suivre en cas d'événement. Sur cet itinéraire les risques hydro-géologiques conduisent régulièrement à la fermeture temporaire de la route (420 jours sur 5 ans) ; fermeture provisoire également à Grand Platte, aux Epines Blanches.

Les risques résiduels jugés trop importants ont conduit à Combelouvière à la fermeture définitive de la route reliant Celliers à Valmorel.

Pour la sécurité des zones habitées, les autorités peuvent avoir recours à l'évacuation (éboulement d'Aigueblanche, **A3P1** p.3-5). Le cas de la Perrière illustre à la fois l'anticipation du risque nécessaire à cette mise en œuvre et la difficulté de maintenir la procédure d'évacuation lorsque la crise semble s'atténuer mais n'est pas à son terme (**A3P1**, p.14-18).

C. Conclusions / Confrontations

L'ensemble de ces ateliers peut être considéré comme l'un des points forts du projet RiskYdrogeo. Un grand nombre d'aspects de la gestion des risques hydro-géologiques ont été abordés, permettant de dresser un tableau assez exhaustif des pratiques en la matière. Par-dessus tout, c'est la confrontation entre spécialistes et non-spécialistes d'horizons variés, tant géographiques que professionnels, qui a été particulièrement appréciée. La multiplication des points de vue, suisses, français et italiens d'une part, d'autre part entre représentants de bureaux d'études, d'organismes d'états, d'universités et grandes écoles ainsi qu'élus locaux, a abouti à des discussions d'une grande richesse. De ces échanges ont émergé plusieurs tendances ; des points communs à toutes les pratiques locales sont apparus alors que d'autres demeurent relativement divergents. Ce paragraphe essaie de mettre en évidence aussi bien les premiers que les seconds.

Les ateliers ont validé de façon plus ou moins implicite les procédures propres à chaque type de risque hydro-géologique. Un consensus s'est notamment bien dégagé en ce qui concerne les méthodes d'auscultation des instabilités rocheuses et de cartographie du danger qui en découle. Et cela bien que la même importance n'est pas toujours accordée aux différentes étapes selon les sites étudiés et les pratiques locales.

1. Systèmes de suivi / surveillance

Rappel :

Dans la pratique on parle de *suivi* d'un site lorsque au cours de la phase d'auscultation il s'avère nécessaire de mesurer le comportement de l'aléa – à savoir en général son mode et sa vitesse de déplacement – en réponse aux facteurs de dégradation de la roche et de déclenchement de l'événement. Les valeurs de ces mesures sont souvent déterminantes pour construire le modèle (hydro)géologique. On parle aussi de *suivi* lorsque, après un événement, on continue à suivre un site pendant un certain temps par mesure de sécurité « résiduelle » ou par intérêt scientifique.

La notion de *surveillance* - avec sa connotation d'alerte/alarme – est une mesure de protection mise en place sur un site actif soit comme mesure de sécurité unique soit en complément d'autres mesures de protection. Toutes les variantes sont possibles (**Activité 4, § 2**).

Le projet Riskydrogeo a été l'occasion de faire le point sur les systèmes de suivi / surveillance des sites instables. Des sites suivis, surveillés ou mixtes ont été présentés lors des ateliers. Les visites de terrain ont permis de voir fonctionner de nombreux équipements, dont les systèmes de télésurveillance propres à chacune des régions, respectivement Guardaval en Valais (**Atelier 1**), Gessri en Rhône-Alpes (**Atelier 3**) et Eydenet en Vallée d'Aoste (**Atelier 4**). La comparaison de ces trois systèmes particuliers fait l'objet du chapitre 3 de ce document, tandis que la définition / description de l'ensemble des systèmes d'instrumentation est disponible dans le chapitre 4, sous la forme d'une base de donnée accompagnée d'un guide technique.

Au-delà des descriptions techniques consultables dans les deux chapitres en question, trois éléments de discussion sont revenus de façon récurrente au cours des ateliers :

1. Les premières mesures de déplacement effectuées sur l'instabilité sont souvent des mesures de surfaces (méthodes géodésiques, radar, extensomètres...), ponctuelles puis élargies à un enregistrement continu. Or il apparaît comme primordial pour la caractérisation de l'instabilité, et donc pour la préconisation des mesures à prendre, de disposer également de mesures de déplacements en profondeur (**Atelier 2, atelier 4**) ;
2. Les gestionnaires de systèmes de suivi / surveillance s'accordent à reconnaître la quantité très importante de données acquises sur les sites instrumentés en continu. S'il est évident que la destination première de ces données est leur exploitation directe pour la gestion opérationnelle du site, elles pourraient également être fortement valorisées par une mise à disposition des organismes de recherche. Cela constituerait un apport précieux à la recherche appliquée dans le domaine des mouvements de terrain,

susceptible de permettre le développement de nouvelles méthodes et d'outils d'aide à la décision. Les modalités d'utilisation des données restent à définir de façon claire, les enjeux représentés par de tels enregistrements, notamment sur les sites toujours en cours d'évolution, étant importants. Le problème paraît moins délicat pour les phénomènes passés, où la rupture a déjà eu lieu (**Atelier 3**).

3. Difficulté d'établir des seuils d'alerte : Le point le plus fréquemment soulevé par les gestionnaires de systèmes de surveillance est l'établissement des seuils d'alerte. Il n'existe pas de seuil prédéfini, le choix est fait par les experts en fonction des caractéristiques de chaque site et de leur expérience sur d'autres sites ; un temps de calage est généralement nécessaire et le seuil peut être révisable en fonction de l'évolution du phénomène. Des exemples chiffrés sont synthétisés dans le **récapitulatif des sites de l'atelier 3**. En Vallée d'Aoste, des seuils de pré-alerte et d'alerte ont été d'autre part définis, non pas sur les mesures de déplacement de l'instabilité, mais sur les prévisions météorologiques (**Atelier 4**). Cette approche permet a priori un plus grand temps d'intervention entre le dépassement du seuil et la rupture effective de l'instabilité, avec l'inconvénient de multiplier les fausses alertes.

Les systèmes d'alarme basés sur la détection active de chute de pierres ou de coulées de boue par des géophones ou autres capteurs s'affranchissent de cette notion de seuil (principe du tout ou rien). En général ces systèmes sont conçus pour déclencher automatiquement des mesures préventives de protection (enclenchement de feu rouge, abaissement de barrière...)

2. Gestion du risque / Gestion du territoire

La prise en compte du risque dans la gestion du territoire implique plusieurs phases qui vont de la prévention jusqu'à la gestion de crise en cours d'événement.

On peut essayer de les hiérarchiser de la manière suivante, en gardant à l'esprit que l'ordre de réalisation de ces différentes démarches dépend de nombreux facteurs, dont l'urgence à traiter le risque, les enjeux à protéger...

- Si le risque est évalué suffisamment à l'amont, des mesures de prévention peuvent être mises en place, en particulier en matière d'aménagement et d'urbanisme ; la surveillance de site est également une mesure de prévention ;
- Lorsque cela est possible, des ouvrages de protection sont réalisés pour réduire le risque ;
- Lorsque cela n'est pas possible (phénomène de trop grande ampleur, probabilité d'occurrence trop faible, délai d'intervention trop court...) il s'agit de gérer le risque tel qu'il est, de manière générale en mettant en place une politique de gestion de crise : cellule de crise, plans d'évacuation (basés sur des scénarios d'évolution)...

En pratique, plusieurs de ces démarches sont souvent menées de front.

2.1. Mesures d'aménagement :

Lorsque le risque est évalué suffisamment à l'amont, la mesure de prévention principale consiste en l'établissement de documents d'urbanisme, qui réglementent l'utilisation du sol en fonction du risque / du danger affiché. Les restrictions d'utilisation peuvent aller dans certains cas jusqu'au déplacement de population.

Les quatre ateliers ont montré que les pratiques en la matière sont très différentes d'une région à l'autre. Ces différences de choix, entre les mesures de prévention ou entre prévention et protection, peuvent s'expliquer en partie par le cadre législatif propre à chaque région, en partie par le contexte historique et culturel (voir ci-après § 3. Eclairages)

Du côté helvétique, la responsabilisation de la population, le souci d'intervenir sur les phénomènes et la culture de « vivre avec » (liée à une forte implication des communes dans la décision, appuyée par des procédures facilitées de financement supra-communal) sont dans l'ensemble privilégiés. A l'inverse, l'usage en France est plutôt de classer en zone inconstructible (voir § 3. Eclairages) une grande partie des territoires des communes concernées par des risques forts, voire moyens (en particulier en l'absence d'études préalables ayant permis de préciser la connaissance de l'aléa et de définir les travaux de protection à mettre en œuvre avant une éventuelle ouverture à l'urbanisation). En cas de menace grave pour les personnes et s'il n'y a pas de moyen de protection et de sauvegarde moins coûteux (travaux y compris maintenance, dispositif fiable de surveillance, d'alerte et d'évacuation), les biens peuvent être expropriés, parfois sur un lotissement entier (**atelier 2**). En RAVA, des sommes très importantes peuvent être engagées sur des travaux de

protection pour permettre aux habitants de rester sur place et éviter l'expropriation d'habitants (**atelier 4**).

Lorsque des études font apparaître qu'une zone est soumise à un risque important, cette zone peut donc être rendue inconstructible : on évite ainsi une augmentation de la population exposée, mais les bâtiments existants restent habitables et leurs occupants sont toujours soumis au même risque. Dans certains cas, des mesures de protection peuvent être réalisées pour réduire le risque (2.2 Ouvrages de protection). Dans d'autres cas, il est possible d'assurer l'évacuation temporaire de la population avant que le phénomène ne se produise (2.4 Gestion du risque résiduel). Lorsque aucune de ces solutions n'est possible, il peut être nécessaire, pour assurer la sécurité de la population, de mettre en oeuvre une procédure d'expropriation des habitants.

En France, cette procédure est facilitée par la loi du 03-02-1995, dite loi Barnier. Elle inclut une procédure d'indemnisation originale, basée sur la création d'un fond de prévention des risques naturels majeur. Une telle démarche, très étatisée, reste longue et contraignante, mais a été appliquée à plusieurs reprises (**atelier 2**), dans des cas où le rapport enjeu / coût des travaux est défavorable (inférieur à 1).

En Valais et en RAVA cette procédure est juridiquement possible mais n'a jamais été appliquée (en VDA, *loi régionale 24 juin 2002, voir Cadre législatif*). L'omniprésence des risques sur ces territoires très montagneux, et par conséquent la difficulté de reloger la population expropriée dans une zone non dangereuse, semble là un facteur essentiel.

2.2. Ouvrages de protection

Les ouvrages de protection, parades actives ou passives mises en oeuvre pour protéger les zones d'activité humaine ou voies de communications contre les mouvements de terrain, sont sensiblement les mêmes dans les trois régions partenaires. L'**Activité 5** de ce projet y est consacré. Elle se décline sous forme de fiches descriptives sur les différentes parades existantes, qui intègre l'expérience de tous les partenaires abordée lors de ces ateliers.

Un large éventail des parades contre les instabilités rocheuses sont présentées dans les ateliers 3 et 4. Pour le traitement des glissements de terrain, ce sont plutôt les techniques de drainage qui sont privilégiées (ateliers 1 et 2). Des ouvrages de correction de torrent et de protection contre les crues ont été présentés lors des atelier 1 et 4.

2.3. Gestion de crise

La notion de *gestion de crise* couvre l'ensemble des actions à mener et des décisions à prendre lors d'un événement, qu'il se réalise brutalement en quelques minutes (éboulement, coulée de boue, etc.) ou très lentement sur plusieurs jours ou mois (inondation, glissement de terrain, phases d'éboulement, etc.). Les 4 ateliers ont présenté diverses situations d'imminence d'événements réalisés ou potentiels. Sur le principe les démarches adoptées pour assurer la sécurité des personnes sont les mêmes dans les trois régions, elles peuvent différer dans leur application.

Face à un phénomène soudain, la mise en place d'une cellule de crise est systématique en France: celle-ci est constituée des principaux responsables des services techniques concernés, voire d'experts, sous la responsabilité, selon les cas, du maire ou du préfet (**atelier 2** - glissement de La Salle en Beaumont, **atelier 3** - éboulement de **Combelouvière**). En Vallée d'Aoste, la communication existe entre les différentes instances, mais sans la constitution effective d'une telle cellule : le maire se retrouve alors plus isolé sur le terrain (**atelier 4** – coulée boueuse de Pollein). En Valais, la cellule cantonale en cas de catastrophe (CECA) n'intervient que lorsque les infrastructures cantonales sont directement concernées ou lors d'un événement exceptionnel couvrant plusieurs communes, comme cela s'est passée lors des intempéries d'octobre 2000. La procédure habituelle veut que la commune touchée par un phénomène naturel mette en place sa propre cellule de crise, la CECA n'étant mobilisée que par subsidiarité.

La région Rhône-Alpes est riche d'expérience quant à la régulation du trafic routier en fonction de l'occurrence d'éboulements rocheux - chutes de blocs (exemples dans l'**atelier 3**)

Outre le phénomène soudain, il existe d'autres cas où il n'est pas possible ou souhaité de mettre en place des mesures de protection ni de prévention :

- phénomène trop conséquent, non traitable par des mesures de protection : ex. Séchilienne en Rhône-Alpes, Citrin en Vallée d'Aoste (**atelier 4**) ;
- probabilité d'occurrence jugée trop faible : Becca di Nona (atelier 4) ;
- rapport défavorable entre le coût des travaux de protection et le bénéfice retiré : sur ce point la discussion a été engagée à propos des travaux de protection réalisés sur les torrents de Comboé et Letze en Vallée d'Aoste (**atelier 4**). Le Valais essaie quant à lui de privilégier des solutions de gestion du risque résiduel dans le cas où l'engagement financier lié aux mesures de protection est trop important. En France, la loi Barnier facilite l'expropriation des habitants lorsque le coût des travaux dépasse le coût de l'expropriation ;
- pas d'emprise au sol pour implanter les protections nécessaires ;

La gestion d'un tel risque « résiduel » connu, dans les zones habitées, se fait principalement par le biais de plans de secours ou d'évacuation (**atelier 4, atelier 3**), couplés avec un système de surveillance. Les responsables de sites à risque (maires et experts géologues) soulignent la difficile mise en pratique de ces plans :

- Difficulté de sensibiliser la population à la permanence du risque : ex. exercices d'évacuation très suivis à Pollein les 2-3 premières années, puis forte démobilitation ;
- Difficulté de maintenir l'évacuation d'une population lorsque le phénomène d'instabilité semble se stabiliser : ex. éboulement de La Perrière, atelier 3.
- ...

3. Quelques éclairages sur les différences de pratique

Une partie des différences de pratique constatées au cours des ateliers entre les trois régions partenaires tient au contexte géographique, historique et culturel propre à chaque région, ainsi qu'à son cadre législatif spécifique. Ce paragraphe tente d'apporter quelques éclairages succins, tout en renvoyant le lecteur à des textes et documents existants pour approfondir la question.

3.1. Contexte géographique, historique et culturel

La notion de risque naturel, et a fortiori de risque acceptable, semble ne pas être perçue de la même manière dans les trois régions partenaires, ce qui, en plus du cadre juridique, a de fortes incidences sur les politiques de gestion du territoire. L'aspect géographique entre également en compte, puisque par exemple en Valais et en Vallée d'Aoste, la quasi-totalité du territoire, très montagneux, est sujette à des risques naturels liés à la pente, qu'ils soient géologiques, hydrologiques ou nivologiques.

Dans le Canton du Valais, l'importance et l'omniprésence des risques constatés et, parallèlement, la nécessité de permettre aux habitants de s'installer, conduit à « vivre avec le risque ». La population elle-même semble davantage consciente de cette notion de risque, peut-être mieux ancrée culturellement, qu'en RAVA, ou en Région Rhône-Alpes, où la population des zones de montagne a connu un important brassage, avec l'installation massive de résidents non porteurs d'une culture montagnarde.

Ainsi la notion de risque acceptable n'est pas intégrée par les magistrats italiens ; la forte augmentation des recours en justice, avec mise en examen des responsables administratifs, a conduit à une politique qui privilégie la réalisation de travaux de protection, quel qu'en soit le coût. Cette pression juridique existe de la même manière en France, où un principe de précaution est par exemple appliqué dans l'établissement des PPR ; l'évolution de la jurisprudence a ainsi conduit à un durcissement du zonage, avec pour conséquence la qualification de portions parfois importantes de communes en « zone rouge » inconstructible (voir paragraphe suivant). En Suisse, les responsables locaux et les techniciens sont davantage couverts par la hiérarchie (le géologue cantonal sert de référent pour la protection des infrastructures cantonales et donne des préavis aux communes pour les constructions en zones dangereuses).

3.2. Cadre législatif

Le tableau ci-dessous reprend les points principaux des documents cartographiques officiels prenant en compte les risques hydro-géologiques dans les différentes régions.

	RAVA	Rhône-Alpes	Valais
Législation	<p>Cadre normatif régional : Loi Régionale n°11 du 6 avril 1998 art. 35 à 38, modifiée par la Loi Régionale n° 01 du 20 janvier 2005 art. 16. + Délib. du gouv't régional n. 422 du 15/02/1999 + Délibération du gouvernement régional n. 5002 du 30/12/1999.</p> <p>Cadre normatif italien : Autorità di bacino del fiume Po-Parma. Atti del Comitato Istituzionale. Deliberazione 11 maggio 1999, n. 1/99. Adozione del progetto di piano stralcio per l'assetto idrogeologico (art. 17, comma 6 ter e art. 18, comma 10, della legge 18 maggio 1989, n. 183). Décret-loi 11/06/1998 n. 180 (Décret Sarno) converti dans la Loi n. 267 du 03/08/1998. Loi cadre sulla difesa del suolo n.183 del 18/5/1989.</p>	<p>Loi du 3 janvier 1992 (dite loi sur l'eau). Loi nationale 95-101 du 02 février 1995, dite loi Barnier, Art.16 à 22 Code de l'Urbanisme (1955) Dans les communes où l'Etat a prescrit un « Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles connus », celui-ci s'appuie sur une carte d'aléas qui distingue les types de danger (éboulement/chute de pierres, glissements terrain, laves torrentielles, etc.). Les communes où l'Etat ne prescrit pas de PPR peuvent se doter d'une carte d'aléas naturels et l'annexer à leur Plan Local d'Urbanisme pour appuyer les décisions qui seront prises en vertu du Code d'Urbanisme (art R-111.2) pour prendre en compte les risques naturels.</p>	<p>Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT) du 22.06.1979 et celle cantonale (LcAT) du 23.01.1987. Cette dernière attribue de facto aux communes la responsabilité de la protection des biens et personnes vis-à-vis des risques naturels</p>
Base technique : carte danger <u>ou</u> carte d'aléas (F)	Carte de danger établie par la commune et validée, avec possibles modifications, par la Région.	Carte d'aléas naturels établie par des bureaux privés ou des services techniques de l'Etat (ONF-RTM) sous mandat de la commune, et validée par l'Etat dans le cas de PPR.	Carte de danger établie, selon les directives cantonales, par un bureau privé sur mandat de la commune.

<p>Zonage Elevé : rouge Moyen : bleu Faible : jaune</p>	<p><u>Danger élevé</u> : construction interdite, sauf certains travaux d'aménagement</p> <p><u>Danger moyen</u> : restauration et agrandissement du bâti existant sans augmentation de la capacité d'accueil</p> <p><u>Danger bas</u> : construction possible après vérification des conditions de sécurité</p>	<p><u>Zone rouge</u> : inconstructible sauf avec certains travaux d'aménagement</p> <p><u>Zone bleue</u> : constructible sous condition d'études et de conception</p> <p><u>Zone blanche</u> : constructible sans condition particulière</p>	<p><u>Danger élevé</u> : inconstructible sauf en cas de changement avéré de l'état du danger (sur base d'étude portant sur l'ensemble du périmètre dangereux).</p> <p><u>Danger moyen</u> : constructible à condition que soient prises des mesures collectives de réduction du risque et complétées éventuellement par des mesures individuelles sur les immeubles.</p> <p>Toute requête d'autorisation de construire doit être accompagnée d'une expertise.</p> <p><u>Danger faible</u> : constructible à condition que soient prises des mesures individuelles de réduction du risque.</p>
<p>Ouvrages de protection existants</p>	<p>La délimitation des zones inconstructibles considère la présence des ouvrages de protection, qui peuvent diminuer le degré de danger sans toutefois l'annuler. (L.R. 11/98)</p>	<p>Très faiblement pris en compte, car efficacité considérée comme non garantie à long terme. L'objectif est de réduire le risque en protégeant l'existant, pas d'ouvrir de nouvelles zones à l'urbanisation (ce qui pourrait entraîner une augmentation finale du risque par l'augmentation des enjeux exposés)..</p>	<p>La constructibilité dépend de l'existence ou de la réalisation de mesures de protection (ouvrages et/ou système de surveillance). Bien qu'elles diminuent le degré de danger, ces mesures ne permettent pas de modifier le degré de danger originel (par ex. correction en jaune d'un périmètre cartographié en bleu). Dans ce cas une superposition de hachures sur la couleur originelle marque la diminution du danger.</p>
<p>Validation et homologation de la carte de danger</p>	<p>Non soumise à enquête publique car proposée par les Administrations locales (pas ou peu de concertation avec la population)</p>	<p>Soumise à enquête publique, après concertation avec les élus locaux.</p> <p>Une fois approuvée par arrêté préfectoral, vaut servitude d'utilité publique, opposable au tiers.</p>	<p>Validée par l'autorité cantonale compétente [AAC] et mise à l'enquête publique par la commune (depuis 2006). Après traitement des recours, homologuée par le Conseil d'Etat et reportée à <i>titre indicatif</i> sur le plan communal d'aménagement des zones (PAZ).</p>

Révision de la carte danger	Modifiable sur la base d'une étude spécifique ou après la réalisation d'ouvrages de protection. Procédure administrative semblable à celle de l'approbation des cartes de risque.	Dans le cadre d'un PPR : modifiable uniquement par une révision totale, aussi lourde que l'approbation initiale. Hors PPR : modifiable sur la base de nouvelles études.	Modifiable sur la base d'une étude validée par l'AAC. Nouvelle mise à l'enquête et nouvelle homologation.
Réglementation	Loi régionale n.13 du 10 avril 1998, portant approbation du plan territorial paysager de la Vallée d'Aoste (PTP). Plan d'urbanisme communal (PRGC= Piano Regolatore Generale Comunale).	PPR : Annexé au Plan Local d'Urbanisme avec valeur de servitude d'utilité publique L'application des dispositions constructives est de la responsabilité des maîtres d'ouvrage. Hors PPR (ou en attendant son approbation : 2 à 5 ans), c'est l'article R-11.2 du Code de l'Urbanisme qui permet de prendre en compte la connaissance du risque dans un cadre réglementaire.	La procédure d'autorisation de construire à l'intérieur d'un périmètre de danger est assujettie à la loi cantonale sur les constructions (1996). L'autorisation de construire est soumise à l'approbation de l'AAC. En matière d'urbanisation, la construction est régie par un article spécifique du règlement communal des constructions et des zones (RCCZ) qui fixe les conditions de constructibilité en fonction du degré de danger.

En France, les collectivités ont par ailleurs l'obligation de prendre en compte les risques naturels dans leurs documents d'aménagement et d'urbanisme : c'est ainsi que par exemple les communes non couvertes par des PPR intègrent directement dans leur Plan Local d'Urbanisme, généralement à la demande du Préfet, les documents informatifs existants ou qu'elles font réaliser (cartes d'aléas), en délimitant en conséquence les différentes zones, constructibles ou non, et en définissant des règles d'urbanisme adaptées aux risques prévisibles.

En Vallée d'Aoste, la Loi régionale n° 5 du 18 janvier 2001 portant mesures en matière d'organisation des activités régionales de protection civile réglemente les activités de prévision, prévention et secours en matière de risques hydro-géologiques.

En Suisse, la LAT permet à tout citoyen de faire la preuve de la constructibilité d'une parcelle classée en zone de danger.

Expropriation

En France, l'expropriation à titre préventif est rendue possible par la loi dite Barnier du 03-02-1995 (Art. 11 à 15), désormais codifiée dans le Code de l'Environnement, complétée par un décret n° 95-1115 du 17-10-1995 modifié (décret 2005-29) et par une circulaire ministérielle du 10-07-1996 abrogée (circulaire du 23-02-2005); une indemnisation est prévue grâce à la création d'un fond de prévention des risques naturels, alimenté par les polices d'assurance. Le Décret n° 2005-29 du 12 janvier 2005 relatif à l'expropriation des biens exposés à certains risques naturels majeurs menaçant gravement des vies humaines ainsi qu'au fonds de prévention des risques naturels, modifiant le précédent, rend également possible l'acquisition amiable des biens menacés.

En Vallée d'Aoste, la Loi régionale n° 11 du 24 juin 2002, portant réglementation des mesures et des instruments visant à la délocalisation des immeubles situés dans des zones soumises à un risque hydro-géologique, permet juridiquement l'expropriation mais n'a à ce jour jamais été appliquée.

En Suisse, cette mesure n'est pas explicitement prévue dans la loi sur les expropriations. Elle est en effet très peu usitée dans le cadre des dangers naturels et se règle au cas par cas à l'amiable en s'appuyant, dans la mesure du possible, sur cette loi.

Documents législatifs consultables :

Voir Activité 1 – [Conclusions/Confrontation](#) et le projet Interreg IIIA n°098 « Prinat ».

Activité 2 - Instrumentation des sites pilotes

A. Introduction

Six sites de mouvement de terrain ont été équipés par les partenaires CETE et RAVA. L'équipement, soit initial soit complémentaire de ce qui existait déjà, a deux buts distincts :

- soit étalonner et comparer des instruments éprouvés dans des situations de danger différentes ;
- soit de multiplier les tests in situ d'appareillages prototypes en matière de surveillance ou de gestion du risque à distance avec génération d'alerte.

Le tableau ci-dessous reprend, pour chaque site, l'instrumentation spécifiquement mise en place dans le cadre du projet.

Organisme pilote	Site	Instruments installés
CETE	1. Sallèdes (Massif central, France)	2 piézomètres 1 pluviomètre 1 débitmètre 1 centrale d'acquisition
RAVA	2. Becca di Nona (Commune de Charvensod, Vallée d'Aoste)	7 repères GPS manuels + 3 automatiques 4 Extensomètres 1 station météo 1 centrale d'acquisition
	3. Bosmatto (Commune de Gressoney St.Jean, Vallée d'Aoste)	6 repères GPS manuels + 4 automatiques; 4 extensomètres à fil 1 station météo 2 centrales d'acquisition
	4. Citrin (Commune de St.Rhémy-en-Bosses, Vallée d'Aoste)	8 repères GPS manuels 1 station météorologique 3 extensiomètres 1 centrale d'acquisition interférométrie radar terrestre
	5. Vollein (Commune de Quart, Vallée d'Aoste)	1 station totale + 15 prismes 8 repères GPS manuels 1 station météo 1 hydromètre 1 centrale d'acquisition Interférométrie radar satellitaire (déjà réalisée, les résultats seront présentés fin 2006) Laser scanner (en cours de réalisation)
	6. Mont de La Saxe (Commune de Courmayeur, Vallée d'Aoste)	5 forages avec inclinomètres et piézomètres

Tableau 2. 1. Résumés de l'instrumentation en place sur chaque site pilote

Chaque site fait l'objet d'une fiche détaillée, qui précise la localisation, le contexte géologique et l'historique du site, la problématique en terme de surveillance, l'instrumentation en place et l'analyse des premiers résultats. Des renvois sont faits sur les descriptions des sites présentées lors de l'atelier 4 d'Aoste : photos des événements, de l'instrumentation en place, détail des enjeux.

Ce rapport ne présente ci-après qu'une seule fiche site, à titre d'exemple.

B. Exemple de fiche Site

Site pilote 2 Becca di Nona

Communes de Charvensod et Pollein (Vallée d'Aoste)

1. DESCRIPTION DU SITE

1.1. Localisation

Le secteur de la Becca di Nona se trouve dans la moyenne Vallée d'Aoste, en rive droite de la Dora Baltea, sur la commune de Charvensod. Le mouvement de terrain est situé en rive droite du Torrent Comboué, sur le versant nord-ouest de la Becca di Nona, entre 1550 m (lieu-dit Ponteille) et environ 2300 m. La pente est en moyenne de 34 à 45°.

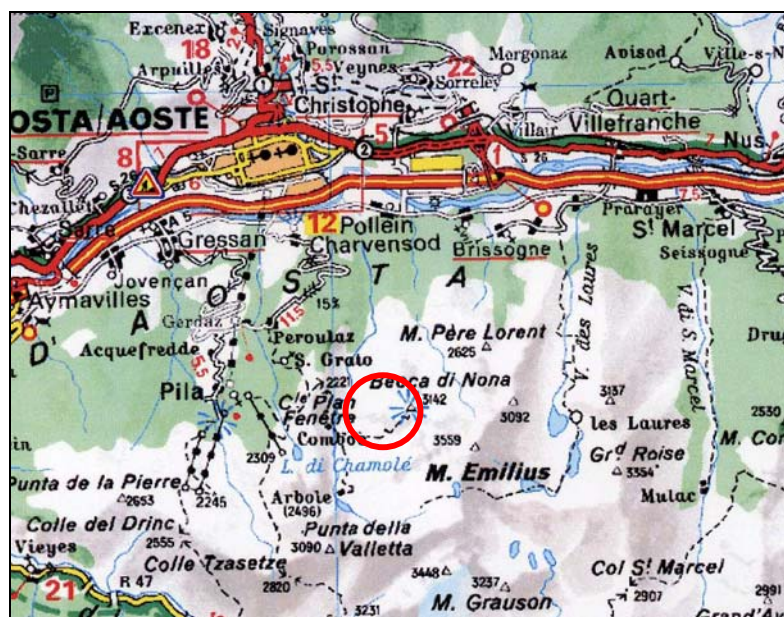


Figure.2. 1. Localisation du site

1.2. Contexte géologique

La niche principale du glissement sépare le substratum en place, à l'amont, et les dépôts de couverture, à l'aval.

Pour ce qui est du substratum, le secteur se trouve à la limite entre les Ophiolites et schistes lustrés de la Zone Piémontaise s.l. et les gneiss du klippen du Mont-Emilius (Nappe de la Dent Blanche). Plus précisément :

- 1) Nappe de la Dent Blanche:
 - Complexe de « micascisti eclogitici »
 - Complexe de « gneiss minuti ».
- 2) Zone Piémontaise s.l.
 - Prasinites avec metagabbre ;
 - Schistes lustrés ;
 - Serpentes et serpentinoschistes.

Parmi les dépôts de couverture on distingue:

- dépôts alluviaux, dans le lit du torrent Comboué, sur la portion à l'aval des cascades du même nom;
- dépôts de versant (cônes de débris et nappes), sur les deux rives du torrent Comboué ; ils se développent à partir du pied des socles rocheux ;
- dépôts d'éboulement, en excluant la zone spécifique de cette étude, résultant d'effondrements localisés ou étendus des escarpements rocheux ;
- dépôts glaciaires, distribués sur les versants, liés à la fonte des glaciers qui se trouvaient au pied des falaises de la Becca di Nona ;
- dépôts de coulées boueuses, accumulés sur les côtés des couloirs d'écoulement ou bien à leur

débouché.

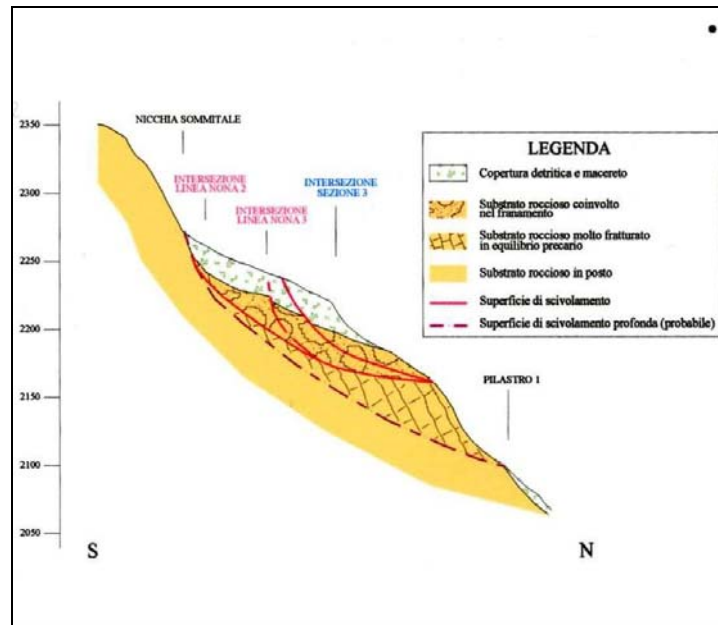


Figure.2. 2. Coupe géologique

Le mécanisme de l'instabilité peut être interprété comme composite. Même si l'apparence générale est celle d'un glissement unitaire, comme en témoigne l'unique niche d'arrachement principale (Fig.2.3), les processus et les vitesses d'évolution sont différents dans les divers secteurs de la masse instable.

Le volume des matériaux en mouvement est calculé avec la formule empirique suivante :

$$V_i = \pi/6x(L_r x W_r x D_r) \text{ (WP/WLI, 1990),}$$

V_i = volume initial ;

L_r = distance, en mètres, entre le point sommital de la niche et le point inférieur de la surface de rupture;

W_r = largeur la plus grande entre les flancs de l'éboulement, en mètres, mesurée perpendiculairement à L_r ;

D_r = profondeur la plus grande supposée, en mètres, de la surface de rupture mesurée perpendiculairement au plan qui contient L_r et W_r .

Référence :

WP/WLI (International Geotechnical Societies=UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), 1990. A suggested method for reporting a landslide. Bulletin International Association for Engineering Geology, 41: 5-1

En considérant une surface de glissement à 50 m de profondeur, le volume est évalué à environ 1.950.000 m³ ; dans l'hypothèse la plus optimiste, il se réduirait à environ 1.100.000 m³.

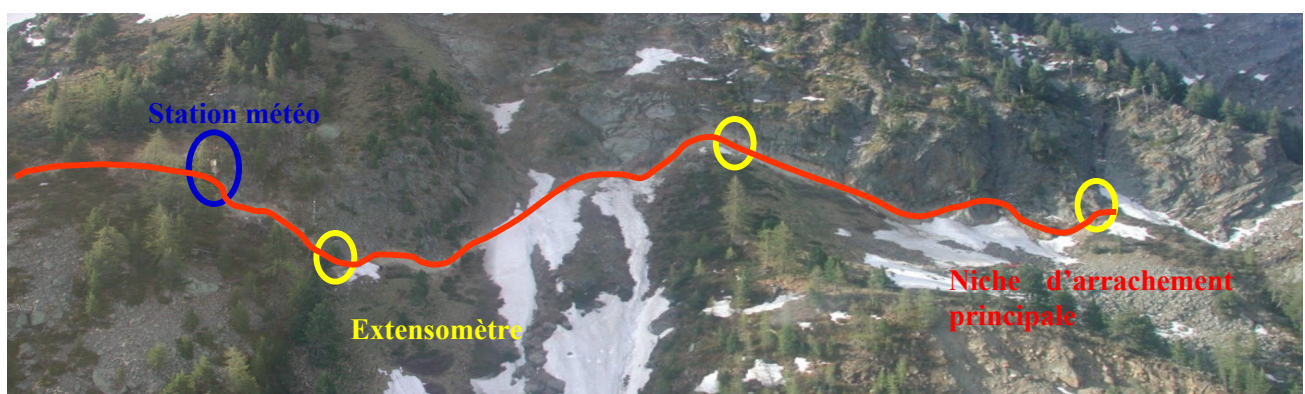


Figure.2. 3. Vue de la partie haute du versant, avec la niche principale et une partie de l'instrumentation

1.3. Historique du site

- 1976: les photos aériennes signalent de petits mouvements de terrain. Il y a déjà sur le secteur des escarpements, un à droite et l'autre à gauche, un peu plus bas que l'actuelle niche d'arrachement ;
- 1996 : première mise en évidence de la niche principale, développée au contact entre le substratum et la couverture, sur une longueur de 345 mètres ; 4 extensomètres sont posés ;

Suite aux intenses précipitations d'octobre 2000, l'éboulement s'est réactivé. Environ trois jours après le début de l'épisode de pluie, les 4 extensomètres, posés sur la niche d'arrachement qui délimite le haut du secteur en mouvement, ont montré une rapide augmentation des vitesses de déplacement, qui atteignent des valeurs proches de 6 mm/h.

La réactivation de l'éboulement lui-même a été précédée par la mise en mouvement d'une zone de dépôt à l'aval, au niveau d'un pilier rocheux (niche d'arrachement basse – alt.1990m- Fig2.4. Le matériel s'est distribué en partie sur les cônes et en partie sur l'aire de Ponteille.

2. PROBLEMATIQUE

2.1. Problématique du site

Les enjeux :

Le site surplombe les communes de Charvensod et de Pollein, sur lesquelles respectivement 130 et environ 900 habitants sont impliqués directement dans le plan de secours de la Protection Civile, mis en place pour évacuer les personnes en temps voulu.

Deux scénarios de rupture de l'instabilité sont envisagés :

SCENARIO 1: L'éboulement de masse est unitaire : les matériaux mobilisés dans leur ensemble provoquent le barrage du torrent Comboué et la formation d'un lac, très rapidement rempli et débordé, avec pour conséquence l'inondation des villages à l'aval (communes de Pollein et Charvensod).

SCENARIO 2: Des éboulements progressifs impliquent, par étapes successives, différentes portions de volume instable; adaptation du lit du torrent, à l'aval, aux modifications induites par l'apport de matériaux et .risques de lave torrentielle sur Pollein et Charvensod

Les motivations pour mettre en place une instrumentation

La stabilisation du mouvement de terrain n'est pas possible, d'une part car les volumes en mouvement sont considérables, d'autre part car le secteur d'intervention n'est pas accessible aux véhicules mécaniques. Les travaux de protection réalisés (**A4P11**) ne sont pas suffisants, surtout face au scénario 1. Après les événements d'octobre 2000, l'Assessorat au Territoire, à l'Environnement et aux Travaux Publics avait mandaté une société pour proposer des travaux sur le site de Ponteille, qui éviteraient la formation d'un barrage (scénario 1) ; les coûts trop élevés et les difficultés logistiques en ont déconseillé la réalisation.

Or, l'évolution du mouvement de terrain (scénarios 1 et 2) peut intéresser les zones habitées de la plaine de la Doire. Les moyens de surveillance permettent donc de contrôler le phénomène et de déclencher les alarmes en cas de besoin.

2.2. Objectifs de l'instrumentation

La présence de l'eau, suite à d'intenses épisodes pluvieux, semble un facteur de déclenchement du mouvement. Un pluviomètre a donc été installé, en plus d'extensomètres et de repères GPS à lecture automatique qui suivent les mouvements de l'éboulement.

L'objectif essentiel de ce système de surveillance est d'assurer l'activation du plan d'évacuation de la protection Civile, c'est-à-dire la sécurité des habitants des zones situées l'aval:

- dans un premier temps, on a cherché à bien comprendre les caractéristiques morphologiques et dynamiques du mouvement, afin d'établir les seuils d'alerte ;
- depuis, une surveillance en continu est assurée pour pouvoir déclencher des alertes, gérées par le système de surveillance situé à la Protection Civile (**Atelier 4**).

3. INSTRUMENTATION EN PLACE

Le site est équipé de 7 repères GPS manuels, 3 repères GPS automatiques et 4 extensomètres à fil de production ISMES, ainsi qu'une station météo qui comprend pluviomètre et thermomètre.

Le réseau GPS, installé initialement en juillet 1997 et complété par la suite, est composé actuellement de 7 repères GPS manuels positionnés dans le secteur en mouvement, dont deux installés début juin 2001, pour contrôler le secteur à l'aval de l'éboulement (BN7 et BN8).

Tous les instruments de surveillance sont reliés à la centrale opérationnelle située au siège de la Protection Civile, où se trouve le système de surveillance Eydenet, qui interprète les données et gère la gestion des alarmes (**Atelier 4, Activité 3 Télésurveillance**). En cas de besoin, on peut interroger les instruments depuis cette centrale pour contrôler le bon fonctionnement du système.

Les caractéristiques techniques des instruments de surveillance sont décrites dans le paragraphe 6 de l'**Inventaire Méthodes et Instrumentation** de l'Activité 4.

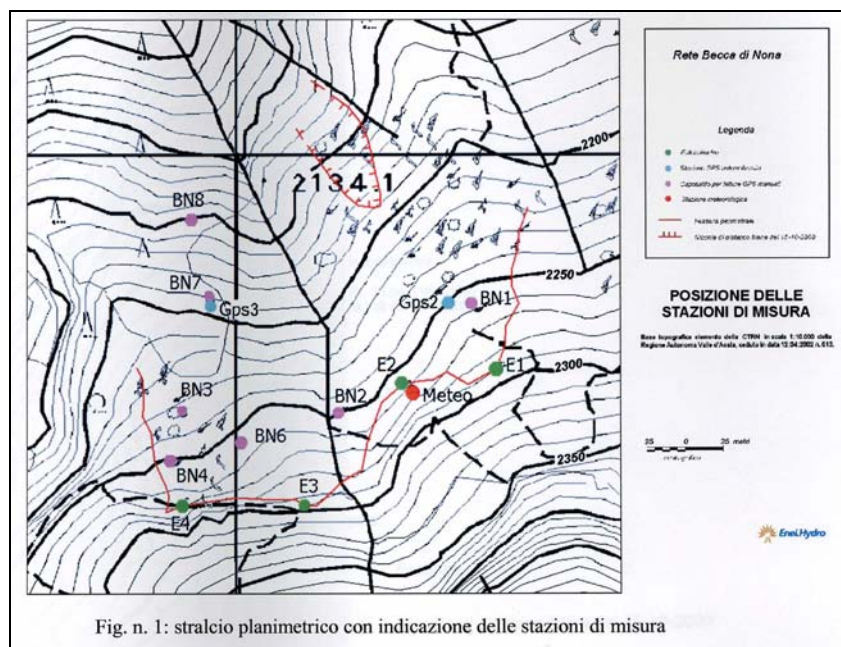


Figure .2. 4. Extrait planimétrique avec indication des stations de mesure

fréquence des mesures :

extensomètres: horaire;
 météo: horaire;
 GPS manuels: 2 fois par an (juin et octobre);
 GPS automatiques: une lecture chaque les 6 heures.

connexion à la centrale d'acquisition:

extensomètres: câble;
 météo: câble;
 GPS automatiques: chacun a une station d'acquisition.

Transfert des données vers la centrale opérationnelle de la protection civile:

extensomètres: radio-modem;
 météo: radio-modem;
 GPS automatiques: radio-modem.

Les mesures ayant débuté en 1997, les données sont actuellement de l'ordre des mesures standards, puisque la phase de test / d'expérimentation a été faite dans les premières années de surveillance de l'éboulement.

4. RESULTATS ET PREMIERES ANALYSES

Les données concernent la tendance de la température, la pluie cumulée, les déplacements des 4 extensomètres, des 3 repères GPS automatiques et des 7 GPS manuels. Les résultats disponibles sont rapportés dans les diagrammes présentés au cours de l'atelier d'Aoste (**A4P4**).

De façon générale, les données obtenues par les 7 repères GPS manuels confirment l'évolution du mouvement de terrain observée lors des études préliminaires, soit en terme de direction et de sens des déplacements, soit en terme de valeur absolue de déplacement. On a enregistré des déplacements allant jusqu'à plus de 10 cm par an, liés aux conditions locales et au fait qu'on traite un éboulement constitué par des détritux, avec des variations locales de comportements dynamiques.

De même pour les données des GPS automatiques, les valeurs obtenues confirment l'évolution du mouvement de terrain, soit en terme de direction et de sens des déplacements, soit en termes de valeur absolue de déplacement. Dans un régime de précipitations saisonnières, les déplacements enregistrés par le réseau GPS

automatique varient de 0 à quelques centimètres (< 5 cm par an).

En ce qui concerne les données pluviométriques, les valeurs seuil utilisées dans les procédures de Protection civile ont été dépassées une fois au cours de l'année 2003 et deux fois en 2004, à l'occasion d'évènements orageux brefs mais intenses. Ces évènements n'ont pas engendré d'instabilités spécifiques dans le corps de l'éboulement ; les réseaux d'extensomètres et de GPS automatiques n'ont pas enregistré de valeurs de déplacement particulières.

Les données des extensomètres, posés sur la niche d'arrachement principale, concordent avec celles des repères GPS automatiques, avec des valeurs de déplacement qui varient durant l'année. En général, les extensomètres E2 et E3, enregistrent une composante verticale du déplacement beaucoup plus importante que les composantes horizontales, caractéristique due à des situations morphologiques locales particulières (la pente est particulièrement raide).

Déplacements :

Juin-octobre 2003: E1 (Extensomètre 1) = 20 mm ; E2= 20 mm; E3= 392 mm ; E4= 11 mm.

Juillet-novembre 2004: E2= 172 mm; E3= 81 mm; E4= 12 mm.

La représentation graphique des données annuelles met en évidence des déplacements causés par la neige, en début et en fin d'année. L'allongement des fils des extensomètres est dû au manteau neigeux, qui avec son poids peut aller jusqu'à provoquer la rupture des fils (exemple: le fil de l'extensomètre 2 en février 2003). Les résultats sont considérés "virtuels" et le bon fonctionnement des instruments est rétabli dès que le site redevient accessible en toute sécurité, lorsque le manteau neigeux a complètement disparu, c'est à dire normalement dans la deuxième quinzaine de juin, période où sont réalisées les activités d'entretien programmées pour tout le système.

Outre les problématiques liées à la présence de la neige, l'instrumentation de surveillance doit considérer d'autres aspects, comme l'exposition du versant au rayonnement solaire et la chute des blocs. Les stations d'acquisition et de transmission des données sont alimentées par des panneaux solaires et des piles batteries. Au cours de la surveillance, les panneaux solaires ont été augmentés de puissance, parce que le versant est exposé au nord et le rayonnement solaire est insuffisant.

Durant l'année 2004, la station météo avec les appareillages d'acquisition et de transmission des données a été complètement détruite par une chute de blocs. De même, il faut de temps en temps remplacer le fil des extensomètres, endommagé par la chute des blocs du versant.

Activité 3 – Systèmes de télésurveillance

Préambule

Avec l'avènement, depuis une dizaine d'années, des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) d'une part, des nouveaux moyens et méthodes d'instrumentation d'autre part, la télésurveillance est devenue une composante à part entière de la stratégie de mitigation des risques liés aux instabilités de terrain. En régions alpines, les contraintes topographiques associées à des environnements de mesure exigeants et généralement à ressources limitées font de la télésurveillance souvent le seul moyen permettant de réduire objectivement la vulnérabilité des biens et des personnes au droit des sites jugés à risque (potentiel ou avéré) jusqu'à ce que des mesures de protection durables puissent être réalisées. De récents exemples ont montré qu'en cas de dommages, notamment aux infrastructures de transport, l'interruption, ne serait-ce que durant quelques semaines des liaisons routières et/ou ferroviaires, qui constituent l'épine dorsale des vallées alpines, peut avoir d'importantes répercussions sur l'économie des régions frontalières et transfrontalières. A ce titre, la télésurveillance constitue aujourd'hui un moyen fiable et économiquement intéressant pour prévenir ou limiter ces pertes d'exploitation au travers d'une gestion plus efficace du risque. Les [renvois](#) font référence à l'[Activité 3](#) du Guide Pratique.

A. Objectifs et démarche

A travers la confrontation des solutions implémentées sur leur territoire respectif (cf. tab. 3.1) et par la mise en commun des expériences acquises via la conception, le développement et l'exploitation de ces systèmes, les initiateurs du projet RiskYdrogeo, CETE, Valais et Vallée d'Aoste, souhaitent fournir aux maîtres d'oeuvre et futurs chefs de projet chargés de la mise en œuvre d'un dispositif de télésurveillance

- I) les éléments de réflexion nécessaires à l'analyse et l'expression précise de leurs besoins ainsi qu'à l'élaboration d'un cahier des charges,
- II) des critères de dimensionnement techniques et économiques,
- III) des orientations pour les choix de conception et les options technologiques s'offrant à eux.

Au final, cette étude doit permettre de dégager les composantes communes participant à l'architecture générale d'un système de télésurveillance dédié à la gestion des risques hydro-géologiques en région montagneuse.




Système	Conception - Développement	Exploitation : Maître d'œuvre – mandataire	mise en service
EYDENET 	ISMES, 1996	RAVA - Département de l'aménagement du territoire, de l'environnement et des ressources hydriques - Direction de la protection du territoire. Mandataire : ISMES	2000
GESSRI 	CETE Lyon, 1988-1999	CETE Lyon – LRPC Rhône-Alpes	1988
GUARDAVAL 	CREALP, 2001	Canton du Valais – DTEE – Géologue cantonal. Mandataire : CREALP	2003

Tableau 3.1 : Caractéristiques des 3 systèmes de télésurveillance évalués dans le cadre du projet RiskYdrogeo

Cette évaluation s'appuie sur une analyse détaillée des trois systèmes et vise à mettre en évidence les choix de conception, les technologies retenues, les spécifications fonctionnelles, les stratégies et procédures de gestion intégrées ainsi que le champ d'utilisation de chaque solution, indépendamment de tout jugement de valeur. La démarche mise en œuvre repose sur une comparaison multicritères prenant en compte les

différentes composantes faisant partie intégrante d'un dispositif de télésurveillance (voir §2, figure 3.1 pour les détails)

- | | | | |
|---|---------------------------|---|-----------------------------------|
| ✓ | Le site de mesure | ✓ | La gestion des alarmes |
| ✓ | L'acquisition de mesures | ✓ | Les systèmes d'aide à la décision |
| ✓ | L'architecture du système | ✓ | La plateforme de développement |

B. Principaux résultats

Sites sous surveillance

Il ne saurait y avoir de surveillance sans sites exposés à un risque potentiel ou avéré. La caractérisation des sites supervisés par un dispositif de télésurveillance est révélatrice des capacités du système en termes :

- *d'intégration de dispositifs de mesure concurrents et hétérogènes (instrumentation)*
- *d'adaptabilité vis-à-vis des contraintes de site (topographie, taille du site) et des exigences de mesure (fréquence et fiabilité de mesure)*
- *de sûreté de fonctionnement (contraintes de fiabilité imposées par les enjeux)*
- *de longévité (durée effective et/ou prévisionnelle du monitoring)*

En vue d'établir la comparaison, les sites contrôlés par chacun des trois systèmes ont été décrits en termes de :

- *Phénomène : type d'instabilité affectant le site*
- *Volume : volume de la masse rocheuse potentiellement mobilisable*
- *Enjeux : objets du territoire exposés à l'aléa*
- *Instrumentation : dispositif(s) de surveillance installés sur le site*
- *Durée du monitoring : date à laquelle la télésurveillance du site a été mise en oeuvre*

La localisation géographique et le comparatif détaillé des différents sites sous surveillance sont disponibles §3.1, figure 3.2.

Acquisition de mesures

La problématique de l'acquisition des données constitue indéniablement la clé de voûte d'un système de télésurveillance. Elle conditionne dans une très large mesure :

- *le développement matériel et logiciel du système*
- *son architecture générale : complexité, niveau d'intégration, modularité*
- *son exploitation notamment en terme de sécurité de fonctionnement : fiabilité et vulnérabilité*
- *son affinité vis-à-vis des différents matériels (capteurs et des dispositifs de transmission des mesures, etc.) : polyvalence et versatilité*
- *son évolutivité : intégration de nouveaux dispositifs de mesure et/ou capteurs, gestion de nouveaux types et/ou formats de données*
- *les coûts d'investissement, de déploiement, d'exploitation et de maintenance du système.*

Le comparatif réalisé (§ 3.3) fait notamment ressortir la polyvalence de EYDENET en termes d'intégration de dispositifs de mesure hétérogènes (unités d'acquisition, capteurs) et de modes de transmission des données.

Architecture des systèmes

L'architecture globale d'une solution de télésurveillance dépend étroitement des choix de conception et des contraintes fixées au niveau des phases d'implémentation et d'intégration du système (modularité, évolutivité adaptabilité, réactivité, sécurité). La prise en compte de ce critère dans la procédure d'évaluation a nécessité la définition préalable d'un mode de représentation unifié exprimant de manière symbolique mais suffisamment fidèle l'architecture de chacun des trois systèmes. Cette schématisation permet de mettre en évidence les choix de conception ainsi que les spécificités fonctionnelles et techniques de chaque dispositif (cf. fig. 3.1).

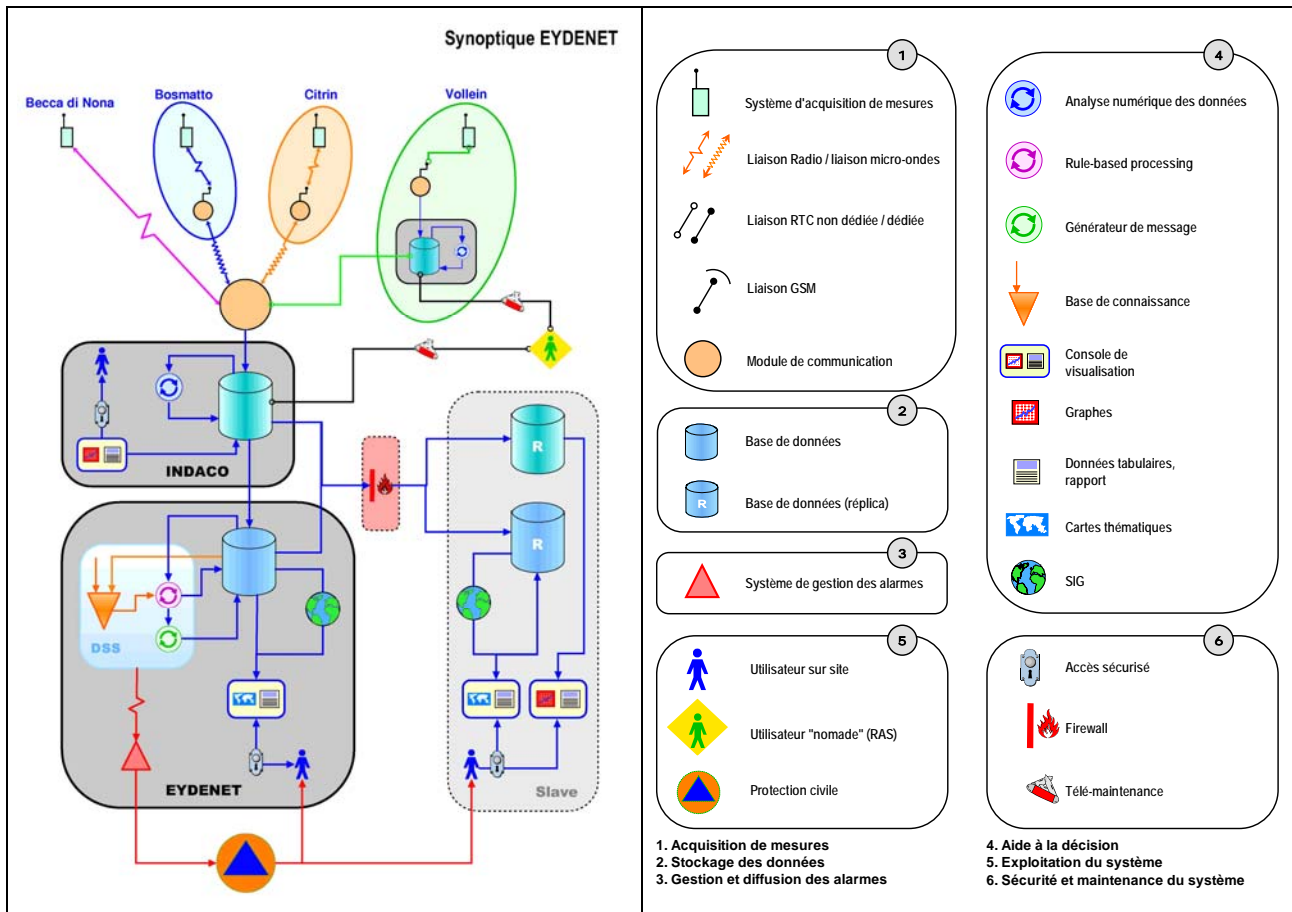


Figure 3.1 : Architecture schématisée de EYDENET et composants fonctionnels utilisés pour la représentation symbolique des systèmes.

L'architecture comparée des trois systèmes et les spécificités fonctionnelles qui en découlent sont fournis dans la version CD-Rom de ce document (§ 3.2).

Aide à la décision (§ 3.4).

L'aide à la décision a pour objectif d'assister le ou les responsables en charge de la surveillance dans le processus qui mène de la mesure vers la formulation, si nécessaire, d'une décision. Les systèmes d'aide à la décision (SAD) fournissent un environnement conçu pour faciliter et optimiser la prise de décision en tirant parti des données acquises ou produites par le monitoring. Les SAD implémentés dans chacun des trois systèmes prennent des formes diverses et associent divers outils ainsi que différents modèles de connaissance et de représentation de l'information. GESSRI et plus encore EYDENET combinent des outils et des technologies relativement sophistiquées :

- système expert à base de connaissance (règles de production)
- système de Raisonnement Basé sur les Cas (RBC) associé à une Base Historique.
- fonctions d'analyse multicritères
- système d'information géographique (SIG)
- générateur de messages en « langage naturel »

Plateforme de développement (§ 3.5).

Le choix des plateformes de développement et d'exploitation est déterminant en termes de conception, d'intégration, d'évolutivité et de portabilité du système. Autant d'aspects qui conditionnent fortement le cycle de vie d'un système informatique. En matière de télésurveillance, rares voire inexistantes sont les solutions clé en main (« off-the-shelf » software) susceptible de couvrir l'intégralité des besoins sans qu'il soit nécessaire d'y apporter adaptations, modifications ou développements informatiques complémentaires. Ces coûts de développement participent également dans une large mesure au choix de l'environnement logiciel associé au système. Dans ce contexte, différentes alternatives sont envisageables :

- Développement de composants logiciels spécifiques s'appuyant sur les outils et langages de programmation standard du marché : cas de EYDENET et GUARDAVAL. En terme de maîtrise des coûts, les solutions logicielles libres (« open source ») constituent aujourd'hui des alternatives économiquement intéressantes et techniquement éprouvées notamment pour les outils de publication Web et les systèmes de gestion de base de données.
- Implémentation basée sur l'utilisation d'outils intégrés de développement d'applications industrielles et/ou scientifiques spécifiquement dédiés à la réalisation de systèmes d'information, de contrôle ou de supervision : cas de GESSRI dont le développement s'appuie largement sur le progiciel PANORAMA.

Gestion des alarmes (§ 3.6)

Au même titre que l'acquisition des données, la gestion des alarmes constitue une composante cruciale de tout dispositif de télésurveillance. Sa mise en œuvre a des implications multiples allant du développement à l'exploitation du système. La prise en compte de cette problématique dépasse largement le simple cadre technique. Elle implique également de considérer le cadre opérationnel dans sa globalité (cf. fig. 3.2). Le processus de gestion des alarmes doit s'intégrer de manière cohérente dans le dispositif de télésurveillance d'où la nécessité d'identifier clairement les différentes étapes de traitement, les interactions avec les autres procédés et les composants requis (§ 3.6.1). Cette analyse doit précéder l'implémentation des outils et l'élaboration des consignes de gestion propres au traitement des alarmes.

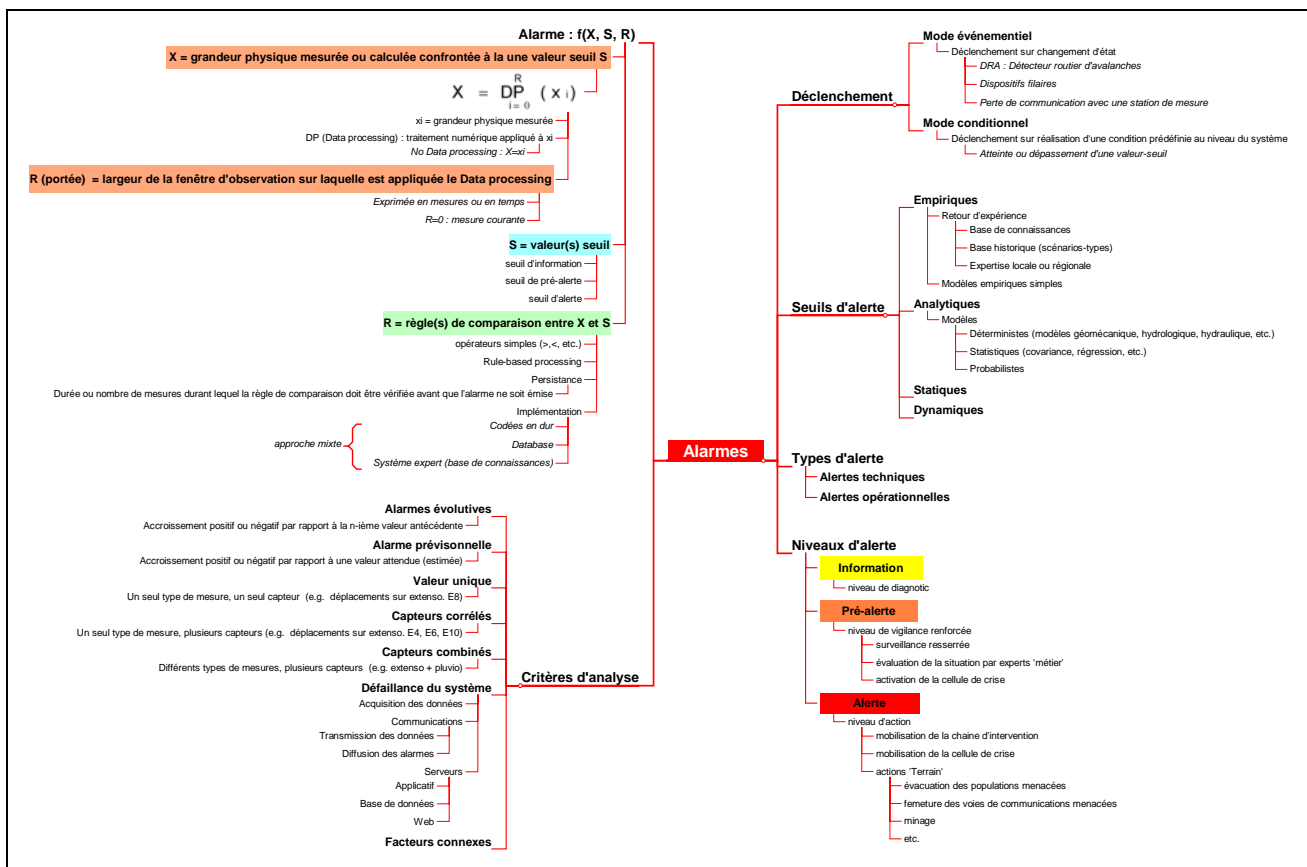


Figure 3.2 : Cadre général de la problématique de gestion des alarmes au sein d'un système de télésurveillance.

Types d'alertes

La gestion rationnelle des alertes au sein d'un système de télésurveillance impose de sérier précisément les différents types d'alertes prises en charge, de préciser les niveaux d'activation associés à chaque type ainsi que les consignes d'exploitation et de gestion associées à chaque niveau. Les alertes sont principalement de deux types :

- **L'alerte technique** relative au fonctionnement général du système. Elle est associée à un dysfonctionnement du dispositif de surveillance et nécessite une intervention de maintenance plus ou moins urgente. Ces alertes peuvent concerner l'ensemble du dispositif de surveillance depuis l'acquisition des mesures en passant les communications jusqu'aux ressources informatiques.

- *L'alerte « métier » atteste d'une évolution sensible du phénomène sous observation pouvant déboucher sur un accroissement significatif du risque. En fonction de la criticité de la situation, différents niveaux d'activation peuvent être différenciés :*
- *l'état de pré-alerte correspondant à un seuil de vigilance renforcée consécutif à une recrudescence de l'activité du site.*
- *L'état d'alerte correspondant au vu de l'évolution des paramètres de suivi à une situation de risque potentiel ou avéré.*

Seuils d'alertes (§ 3.6.2)

Dans le principe, les alarmes sont déclenchées consécutivement au dépassement des valeurs seuils fixées pour les variables d'alerte du système. S'il est des domaines où la question des seuils d'alerte est relativement bien maîtrisée (qualité de l'air, qualité des eaux, hydrométrie, etc.), il n'en va pas de même pour les instabilités de terrain où la complexité des mécanismes mis en jeu et la multiplicité des variables, mesurées ou non, imposent une réflexion au cas par cas. Ici, l'approche basée sur le retour d'expérience est encore très largement privilégiée. Cette connaissance empirique est implémentée dans chacun des systèmes évalués de manière plus ou moins sophistiquée :

- *base de connaissances (EYDENET)*
- *base historique compilant des scénarios-types (EYDENET, GESSRI)*
- *Valeurs seuils fixées sur la base de l'expertise locale ou régionale (EYDENET, GESSRI, GUARDAVAL)*

Types et critères d'analyse (§ 3.6.4)

L'activation d'une alarme « métier » est basée sur l'analyse des données acquises par le système de télésurveillance. Selon le type de mesures effectuées, le degré d'expertise du site, les modèles d'évolution prédéfinis, le nombre de variables associées au comportement du phénomène et les possibilités d'implémentation offertes par le système, les règles d'analyse mises en œuvre peuvent être plus ou moins complexes. Les stratégies intégrées aux trois systèmes de télésurveillance EYDENET, GESSRI et GUARDAVAL combinent différents types et critères d'analyse (alarmes d'évolution ou de prévision, mesures uniques, corrélées ou combinées). Outre les données directement issues du monitoring, l'analyse peut également intégrer des critères connexes externes qui - compte tenu de l'environnement géologique, hydrologique et météorologique local ou régional - peuvent être considérés comme des facteurs d'aggravation ou au contraire de confortation de la stabilité du site (conditions météo-climatiques, piézométrie, activité sismique, etc.).

C. Conclusions

La présente étude a permis de confronter les trois dispositifs de télésurveillance actuellement opérationnels sur le territoire des partenaires du projet RiskYdrogeo. L'évaluation qui en a été faite a permis d'identifier les caractéristiques et spécificités de chaque système. Elle doit permettre, dans une certaine mesure, de profiler un « système-type » offrant le meilleur compromis entre les avantages et inconvénients des solutions mises en œuvre (cf. tab. 3.2) ceci compte tenu des objectifs recherchés et des moyens à disposition.

L'implémentation de ces trois systèmes s'est étalée sur près d'une quinzaine d'années (1988-2003). Cette donnée vaut également d'être prise en compte dans la présente évaluation en termes de :

- *Know-How : expérience des problématiques associées à la surveillance à distance (p.ex. communications, consommation des instruments), ainsi qu'en matière d'instrumentation et des moyens et méthodes à mettre en œuvre*
- *Technologies utilisées : solutions technologiques, matérielles et logicielles, disponibles ou prévalant au moment du développement du système*
- *Maturité du système : fiabilité et sûreté de fonctionnement du système*

	EYDENET	GESSRI	GUARDAVAL
+	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aide à la décision ▪ Gestion évoluée des alertes (types et critères d'analyse) ▪ Polyvalence (versatilité) ▪ Sécurité - fiabilité 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestion évoluée des alertes (types et critères d'analyse) ▪ Sécurité – fiabilité ▪ Polyvalence (versatilité) ▪ Interopérabilité 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intégration à Internet ▪ Réactivité, adaptabilité ▪ Exploitation centralisée ▪ Évolutivité, portabilité ▪ Champ d'utilisation
-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Architecture (infrastructures, maintenance, ressources requises) ▪ Procédure de traitement des alertes (gestion décentralisée) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Architecture (infrastructures, maintenance, ressources requises) ▪ Champ d'utilisation ▪ Réactivité 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sécurité du système ▪ Gestion simplifiée des alertes (types et critères d'analyse)

Tableau 3.2 : Comparatif des 3 systèmes de télésurveillance évalués dans le cadre du projet RiskYdrogeo

Le développement, le déploiement et la mise en exploitation d'un système de télésurveillance dédié aux sites instables est une démarche exigeante impliquant :

- Des compétences 'métier' multiples: géologie, géotechnique, métrologie, informatique, télécommunications, etc.
- Des choix multiples : conceptuels, technologiques et économiques (solution « clé en main » et/ou développement spécifique)
- Des contraintes multiples : sécurité du système (fiabilité, vulnérabilité), cycle de vie (évolutivité, adaptabilité)

Le choix d'une solution existante ou l'implémentation d'un nouveau système de télésurveillance implique enfin, outre les choix conceptuels et techniques, de préciser également les objectifs visés par la mise en oeuvre du système qu'ils s'agissent des buts généraux et particuliers aussi bien que des objectifs actuels et futurs. Ces choix de dimensionnement vont déterminer le champ d'utilisation du système (cf. fig. 3.3).

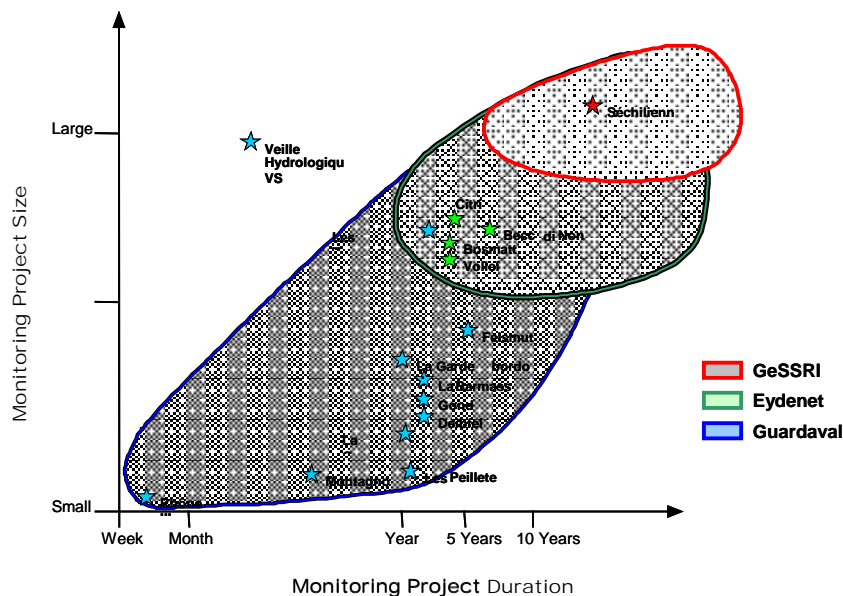


Figure 3.3 : Évaluation des champs d'utilisation potentiels de EYDENET, GESSRI et GUARDAVAL (voir § 3.7 pour le détail des paramètres pris en compte).

Ces différentes exigences soulignent l'importance de l'établissement préalable d'un cahier des charges ayant pour but de dimensionner précisément le système et de dégager les contraintes liées à sa réalisation et à son exploitation. (Activité 4, § 2.2 ci-après).

Activité 4 - Systèmes d'instrumentation

Ce chapitre a pour objectif de fournir aux bureaux d'étude, aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre confrontés à un problème de surveillance de versant instable des éléments pour le choix et la définition d'un système adapté au problème posé : mise sous surveillance d'un site décidée après une étude complète (notamment lorsque la protection des populations ou des biens menacés paraît techniquement ou financièrement impossible) ou bien installée en urgence sur un site instable très récemment déclaré (amélioration et adaptation du dispositif une fois les études de reconnaissance et de caractérisation réalisées).

Sur le CD-Rom, trois documents distincts rendent compte du travail effectué dans le cadre du projet RiskYdrogeo :

- Un **Inventaire des Méthodes et Instrumentation (IMI)**, dont les grandes lignes sont reprises ci-dessous ;
- Une **base de données « Capteurs »** qui formalise les parties 4 et 5 de cet inventaire ;
- Un **glossaire** qui explicite les principaux termes liés à l'instrumentation.

Préambule

Parmi les différents acteurs impliqués dans la surveillance d'un site, le géotechnicien ou le géologue spécialiste de stabilité des pentes en est le véritable opérateur ; il est lié contractuellement au maître d'ouvrage (maire de la commune concernée, gestionnaire de l'ouvrage menacé...), effectue les mesures (ou sous-traite à des techniciens spécialistes), interprète les mesures, alerte s'il le juge nécessaire le responsable de la sécurité (maître d'ouvrage ou toute personne ayant sa délégation) qui décide de l'alarme et gère la crise (évacuation, etc.).

L'instauration d'une surveillance de versant instable ne se réduit pas à l'installation d'appareils sur le site par des techniciens. Il faut aussi absolument :

- prévoir **dès l'origine** l'exploitation des informations fournies par le système : transmission des alertes et suites à donner (scénarii d'action formalisés sous la forme d'un plan de secours) ;
- de la part du Maître d'Ouvrage, prévoir les moyens nécessaires à assurer le fonctionnement et la pérennité du système (entretien, personnels d'astreinte, etc.).

Définitions préalables (définitions détaillées dans l'**IMI**).

Le terme "surveillance" est souvent pris dans un sens large, recouvrant des notions différentes par leurs objectifs et leurs implications. Au « sens strict », la surveillance recouvre les aspects les plus opérationnels, avec un **objectif directement appliqué de gestion de la sécurité** (par opposition à l'auscultation qui relève davantage de l'étude phénoménologique, au suivi ou à l'observation).

En fonction des caractéristiques du site, le mode de surveillance peut être périodique, permanent discontinu, continu ou temps réel

A. Conception générale – Modèle de surveillance

1. Définition des objectifs, formalisation et adaptation du projet de surveillance au site

Il n'existe pas de bonne ou de mauvaise méthode de "surveillance"¹, mais des méthodes ou des moyens adaptés ou non à un objectif ou à des conditions d'application données. Il importe donc de bien identifier les domaines et les limites d'application des différents outils mis en œuvre.

Une action cohérente et coordonnée des différents acteurs d'une stratégie de "surveillance" est indispensable. Cela nécessite une définition claire des **objectifs**, des modalités d'application qui en découlent et des contraintes correspondantes, au travers d'un **cahier des charges** qui doit être porté à la connaissance des acteurs concernés : spécialistes chargés de la "surveillance", experts consultants, services gestionnaires, autorités responsables de la sécurité, service de secours, populations exposées.....

¹ Dans la suite de ce document le terme "surveillance" est pris au sens large

2. Définition d'un cahier des charges

Selon la nature des actions de "surveillance" considérées, la teneur du cahier des charges est variable, et sa complexité croissante avec le degré d'implication dans le plan de secours.

Sept éléments de réflexion, qui doivent **nécessairement** être pris en considération (Fig. 4.1), sont détaillées dans la version CDRom de ce document (*IMI*).

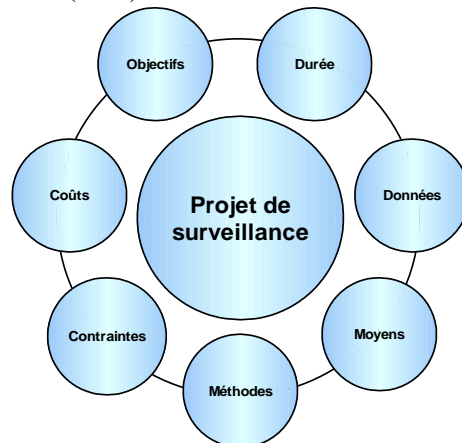


Figure 4.1. Composantes du cahier des charges d'un projet de surveillance.

Ce cahier des charges et ses modalités d'application doivent être actualisés en fonction de l'évolution du phénomène et des circonstances.

3. Modèle de surveillance

Un modèle de surveillance regroupe de manière structurée les éléments relatifs aux points suivants :

- Objectifs généraux et spécifiques ;
- Définition des moyens et méthodes mis en œuvre ;
- Architecture du dispositif instrumental et de traitement ;
- Définition des modalités de fonctionnement ;
- Définition des méthodes de traitement ;
- Définition des modèles d'interprétation ;
- Formalisation des produits élaborés.

Il rappelle par ailleurs les contraintes auxquelles il doit satisfaire et qui doivent être prises en compte au niveau de la phase de conception.

B. Modèle d'interprétation - Diagnostic

Les modèles d'interprétation mis en œuvre dans le cadre des actions de surveillance sont évidemment liés aux modèles de comportement issus de l'étude des mécanismes.

Dans le cas de l'auscultation, il est possible de mettre en œuvre une modélisation relativement complexe, étroitement associée aux modèles de comportement = *Modèle géomécanique* : relations entre variables mesurées, caractéristiques géomécaniques du milieu et variables de commande, qui peuvent s'exprimer de manière directe (calcul de type analyse de stabilité) ou indirecte (modèle de type corrélation) ;

Par contre pour la surveillance (au sens strict), le caractère systématique du traitement et les contraintes liées au temps de réponse conduisent à privilégier le traitement de séries chronologiques = *Modèle cinématique* : relations entre des variables mesurées, le temps et éventuellement des paramètres de commande. Ce type de modèle "boîte noire" ignore les phénomènes physiques contrôlant le comportement ; ces mécanismes sont supposés demeurer constants et identiques à eux-mêmes au cours du temps, et en particulier au cours de l'évolution du site. Cette hypothèse est sans doute justifiée en première approximation, tant que le massif ne subit pas de modification mécanique importante. Il n'en est plus de même à l'approche de la rupture.

Période d'initialisation

Une période d'initialisation est indispensable pour caler les modèles d'interprétation. Pour les modèles cinématiques, la durée de cette période est intrinsèque et irréductible : compte tenu de la fréquente commande hydraulique dont dépendent les mécanismes de rupture elle doit couvrir **deux cycles annuels au minimum** afin d'identifier la composante cyclique liée au climat. D'une manière générale, les difficultés de mise au point et de calage des modèles géomécaniques conduisent également à prévoir une période d'initialisation comparable.

Problématique de la prévision – Évaluation prévisionnelle

La démarche prévisionnelle concerne d'une part le *pronostic de la rupture*, possible dans certains cas limités (difficultés liées aux modifications internes du massif au cours du temps : utilisation et limites d'un "modèle glissant"², *IMI §4.5*), mais surtout *l'évaluation prévisionnelle à court terme* de la dégradation de la situation, dont dépend le déclenchement des différentes phases du plan de secours dans les délais indispensables à leur application. Des scénarios d'évaluation prévisionnelle permettent d'établir ces *délais de préavis* (*IMI, §4.5 et 4.6*) qui peuvent aller de 24 heures à quelques jours.

C. Méthodes de surveillance

Les grandeurs physiques mesurées et analysées en général dans le domaine de la surveillance des versants instables et les différentes méthodes de surveillance existantes sont citées ci-après. Leur description technique est consultable sur le Guide pratique, dans **P'Inventaire Méthodes et Instrumentation**. L'ensemble des éléments analysés pour chaque méthode doit permettre de déterminer de manière aussi objective que possible leur domaine d'application respectif en fonction des objectifs considérés (évaluation des points forts et des points faibles). Il permet également de dégager des orientations suivant lesquelles des progrès seraient éventuellement nécessaires

	Variable mesurée	Méthode
Positions et déplacements	Déformations superficielles	Extensométrie ; Photogrammétrie Géodésie ; Radar Interférométrie ; Topographie Laser ; Vidéogrammétrie
	Déformations profondes	Extensométrie Réflectométrie
	Rotations de la verticalité profonde et superficielle	Inclinométrie
Efforts	Pressions intersticielles	
	Niveaux piézométriques	Piézométrie
	Pressions totales	Pressiométrie
Endommagement	Propagations de fissures	Emission acoustique
	Hauteur des précipitations (eau et neige) ;	Météorologie
	Température	
	Humidité	
	Vitesse du vent	

D. Instrumentation

Ce paragraphe "instrumentation" (sens large) considère l'ensemble des outils mis en œuvre dans une action de surveillance : système de mesure, équipements de traitement et outils logiciels.

La définition et conception d'un système de surveillance, en fonction des grandeurs caractéristiques du phénomène, des *corrélations* nécessaires à rechercher est toujours complexe. Afin d'aider l'utilisateur à

² Par analogie avec la notion de moyenne glissante

sélectionner l'instrumentation qui convient le mieux à chaque application, nous proposons une classification des instruments disponibles sur le marché.

1. Description technique des instruments de mesure

Une description synthétique de 108 instruments actuellement disponibles sur le marché est consultable dans le Guide Pratique (*Inventaire Méthodes et Instrumentation, § 6*). La même démarche d'analyse structurée que pour les méthodes est appliquée à l'instrumentation. Compte tenu de la complexité des sujets, le choix a été fait de se placer du point de vue de l'utilisateur, les aspects techniques devant rester subordonnés aux objectifs et aux contraintes de l'application.

On définit d'abord des catégories générales (« instruments »), qui présentent des appareils servant au même type de mesure. Elles se déclinent ensuite en catégories basées sur le « principe de fonctionnement » (par ex.: inclinomètre doté de sonde amovible ou de sonde fixe), qui à leur tour peuvent se différencier en fonction du type de « transducteur/capteur » qu'elles incorporent éventuellement (par ex.: inclinomètre doté de sonde amovible avec capteurs servo-accélérométriques monoaxiaux, capteurs potentiométriques biaxiaux, etc.). Ces catégories se différencient par des facteurs tels que installation, configuration, système et modalité de mesure, etc., ce qui permet de les comparer et de préciser leurs avantages et inconvénients respectifs.

Une fois l'instrument choisi, il reste indispensable d'analyser en détail les limites intrinsèques et les caractéristiques métrologiques contenues dans les **fiches techniques des capteurs fournies par les fabricants** (*Domaine de mesure, résolution, précision, répétabilité*, définitions dans l'IMI §6.1)

2. Base de données « Capteurs » et glossaire

Une *base de données* disponible dans le Guide Pratique (version français – italien), formalise la démarche évoquée ci-dessus. Elle définit pour chaque type d'instrument (**108 capteurs actuellement implémentés**) une grille d'analyse qui recouvre l'essentiel des éléments constitutifs de l'instrumentation dans le domaine des mouvements de versants.

La rubrique « Requête » de cette base permet à l'utilisateur de trouver le ou les instruments de mesure les plus adaptés à son problème, en fonction des critères d'entrée suivant :

- Type de méthode (selon définitions du § 5) ;
- Vitesse estimée d'évolution du phénomène (classes adoptées par Cruden et Varnes, 1994) ;
- Grandeur mesurable ;
- Type de fonctionnement ;
- Domaine de surveillance (selon définitions du § 2).

Chaque instrument issu de la requête est décrit par ses caractéristiques principales :

- Méthodes auxquelles il se rattache (selon définitions du § 5) ;
- Domaine d'application ;
- Grandeur mesurable ;
- Type de sortie (numérique, analogique, interface spécifique) ;
- Type de fonctionnement (manuel ou automatique) ;
- Nécessité ou non d'une pré-élaboration des données ;
- Caractéristiques techniques du capteur ;
- Influence des conditions environnementales ;
- Type d'alimentation ;
- Vulnérabilité ;
- Points forts et points faibles génériques ;
- Avantages et inconvénients spécifiques ;
- Coût ;
- Autre.

Les quatre premières rubriques de la base (Unités de mesures UDM, Avantages-Inconvénients, Types d'instruments- Principes de fonctionnement et Classement des instruments) permettent à l'utilisateur d'incrémenter la base avec ses propres capteurs.

Un **glossaire** complet des termes techniques utilisés dans le domaine de l'instrumentation accompagne cette base de données. Il doit permettre au non spécialiste de lever toute ambiguïté quant au vocabulaire et aux abréviations employés.

E. Exploitation

Consignes d'exploitation

D'une manière générale, toute action de surveillance doit être accompagnée de la définition de consignes d'exploitation, soit destinées au service mettant en œuvre la surveillance (définition des procédures mises en application dans les différents types de situations), soit destinées au service responsable de la sécurité et de la gestion du risque naturel (en particulier lorsqu'il n'y a pas de plan de secours).

Procédures d'auto adaptation

Le dispositif de surveillance et son fonctionnement doivent pouvoir être modifiés et adaptés en fonction de l'évolution du site et de circonstances extérieures. Ces modifications peuvent porter sur la fréquence des mesures ou du transfert des fichiers de données, la répartition spatiale des capteurs ou des points de mesure, la configuration des cycles d'acquisition, les seuils d'alerte, ...

Dans des situations correspondant à des scénarios identifiés, certaines procédures peuvent être mises en œuvre par auto adaptation du système.

Procédures de diagnostic

Il s'agit de mettre en œuvre des modèles d'interprétation et fournir des informations interprétées permettant une évaluation de la situation par le spécialiste responsable (variables cinématiques caractéristiques, déplacements cumulés, conditions aux limites, variables de commande).

Les procédures de diagnostic sont déclenchées soit de manière automatique à partir de la définition de seuils d'alerte, soit à l'initiative du responsable de l'exploitation du système. Les éléments issus de ces procédures font l'objet d'une interprétation donnant lieu à une évaluation prévisionnelle de la situation.

Gestion des alertes

On peut distinguer plusieurs types d'alertes et pour chaque type plusieurs niveaux. Chacun doit faire l'objet d'une gestion très stricte dont les modalités, actualisées en fonction de la situation et de la connaissance du comportement du versant, doivent être définies dans les consignes d'exploitation.

A titre d'exemple, les notions suivantes sont celles utilisées par le CETE de Lyon et adoptées par la Région Autonome Vallée d'Aoste.

Les alertes techniques identifient un dysfonctionnement ou un besoin de maintenance du dispositif de surveillance: **Niveau 1** (intervention de maintenance préventive), **Niveau 2**, **Niveau 3** (défaillance majeure nécessitant une intervention d'urgence).

Les alertes opérationnelles correspondent au dépassement des seuils fixés pour les variables d'alerte du système : **Niveau 1** (état préparatoire, préalerte des services techniques gestionnaires), **Niveau 2** (aggravation de la situation détectée par le niveau 1, stade de vigilance renforcée), **Niveau 3** (après validation d'une alerte de niveau 2, niveau de préoccupation sérieuse : permanence renforcée au centre d'exploitation et sur le site, transmission aux autorités responsables de la sécurité, application de l'état de pré alerte ou d'alerte du plan de secours)

Procédures de liaison avec les autorités

L'identification des destinataires, les procédures de liaison et la nature des informations à transmettre doivent avoir été clairement définies au stade du cahier des charges et répertoriées dans les consignes d'exploitation : communications régulières des éléments du suivi au Maître d'Ouvrage, listes téléphoniques des personnes en charge tenues à jour et régulièrement diffusées...

Activité 5 - Systèmes de parades

Introduction

Ce chapitre présente les parades utilisées contre les mouvements de terrain, essentiellement les instabilités rocheuses. Certaines parades peuvent parfois s'appliquer à des mouvements de sol meuble / mouvements de versant, en particulier les deux fiches sur le drainage, superficiel et profond. Le traitement des laves torrentielles n'est pas spécifiquement abordé (même si certains filets utilisés contre les chutes de blocs peuvent également servir à retenir des laves).

Les fiches proposées sont en partie issues du guide technique du L.C.P.C. « Parades contre les instabilités rocheuses », mais elles comprennent de nombreux apports, compléments et mises à jour, et certaines ont été entièrement refondues. L'expérience des partenaires valaisans et valdôtains est en particulier intégrée, les spécificités techniques utilisées dans chaque région étant détaillées notamment à travers des exemples locaux. S'ils ont évolué depuis l'édition de 2001 du L.C.P.C., les éléments normatifs et les coûts sont également mis à jour.

Il ne s'agit pas d'une étude bibliographique exhaustive, mais plutôt de la formulation et de la mise en commun des pratiques des différents partenaires du projet.

A. Liste des fiches-Parade

Parade 1 – Merlons et digues

Parade 2a – Ecrans rigides

Parade 2b – Barrières fixes

Parade 3 – Ecrans de filets déformables

Parade 4 – Grillages et filets pendus

Parade 5 – Galeries de protection

Parade 6 – Boisement

Parade 7 – Suppression de l'aléa

Parade 8 – Soutènement

Parade 9 – Ancrages

Parade 10 – Béton projeté

Parade 11 – Grillages et filets plaqués

Parade 12 – Végétalisation

Parade 13 – Drainage de surface

Parade 14 – Drainage profond

B. Liste des annexes

Annexe 5.1.1. Exemple d'implantation d'un merlon dans une pente avec reprofilage du versant amont

Annexe 5.1.2. Dimensionnement d'une fosse de réception

Annexe 5.3.1. Essais de traction dans le plan sur modules de filets métalliques de dimension 4m x 4m

Annexe 5.3.2. Principe des essais réalisés en Suisse

Annexe 5.3.3. Principe des essais définis dans l'ETAG

Annexe 5.6.1. Classement relatif de la résistance des essences par rapport au hêtre

C. Exemple de fiche – Parade : les ancrages

Parade 9 : Ancrages

1. DESCRIPTION

1. Objectif

Parade active visant à la stabilisation de pentes en terrain meuble, de talus rocheux ou des parois d'une fouille.

2. Principe

Les ancrages agissent à la surface du massif rocheux. Une fois installés, ils contribuent à améliorer les caractéristiques géotechniques globales du versant. Ils transmettent les efforts auxquels ils sont soumis au terrain qui, pour sa part, fournit la résistance nécessaire pour la réaction à l'équilibre. Selon la typologie de l'ancrage (ponctuel ou réparti), la transmission des efforts de l'ancrage au terrain s'effectue à travers:

- Un système mécanique, réalisé avec des dispositifs d'expansion qui agissent lors du vissage de l'écrou. On parle alors d'**ancrages ponctuels**.
- Le scellement de l'espace situé entre le trou du forage et la barre d'ancrage. Le scellement de la barre peut être effectué soit seulement au fond du trou de forage, soit sur toute la longueur de la barre. On parle alors d'**ancrages répartis**.

3. Description technique

En fonction de leur typologie et du travail qu'ils vont exercer, les ancrages se classifient en clous, boulons et tirants d'ancrage.

Les clous et les boulons sont des barres métalliques insérées dans des trous forés dans le rocher ou directement fichés dans le terrain. Ils sont sollicités lors des efforts de cisaillement. Les clous et les boulons sont fixés à la surface extérieure par une plaque de répartition et un dispositif de blocage (écrou) et scellés au terrain à l'aide d'une cimentation (mélanges de ciment divers ou résines), ou par l'intermédiaire de moyens mécaniques. Les clous ont un diamètre inférieur à 25 mm, et peuvent parfois être construits en plastique renforcé de fibres de verre. Ils sont scellés sur toute leur longueur au terrain (Fig. 5.1). Les boulons ont un diamètre supérieur à 25 mm et des longueurs variables (maximum 12 m)(Fig. 5.2 et 5.3.)

Les tirants d'ancrage sont sollicités lors des efforts de traction. Ils sont capables de transmettre les forces résistantes au massif rocheux ou au terrain dans lequel ils sont insérés. Un tirant d'ancrage est constitué par une tête équipée d'une plaque de répartition et d'un système de blocage. Ces éléments sont liés à une partie libre, qui comprend la portion qui peut être mise en tension, et la gaine de revêtement, et à une fondation armée (Fig. 5.4). La tête du tirant est d'habitude cimentée à une structure de soutènement (mur, barrière ou poteau).

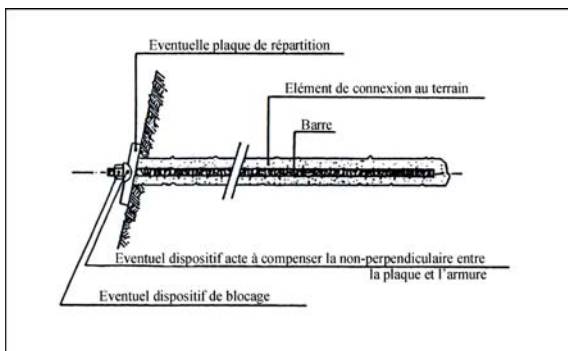


Figure 5.1: Clou d'ancrage (AICAP, 1993).

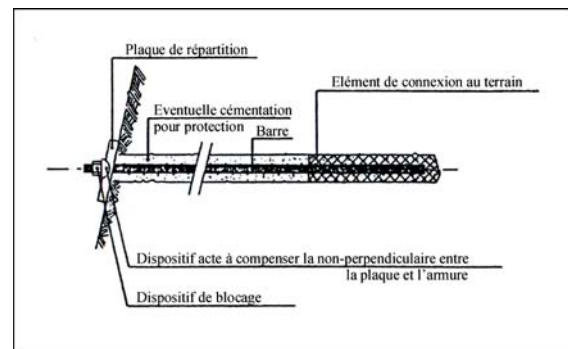


Figure 5.2: Boulon d'ancrage: ancrage par cimentation (AICAP, 1993).

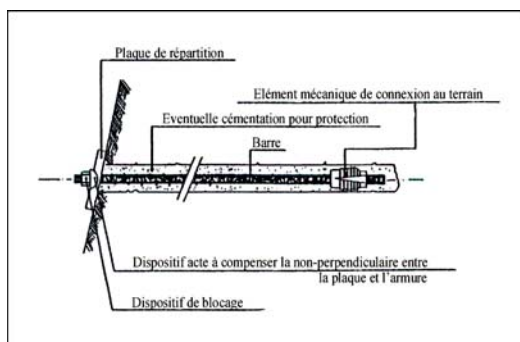


Figure 5.3: Boulon d'ancrage: ancrage par expansion mécanique (AICAP, 1993).

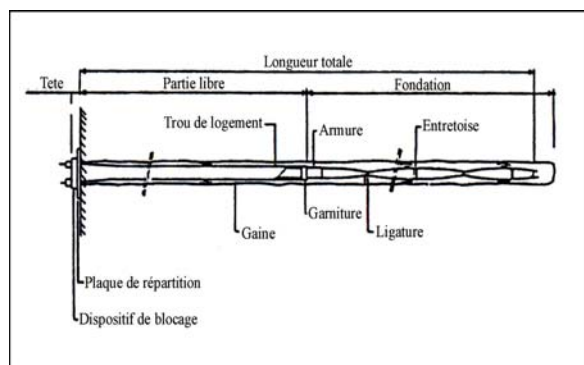


Figure 5.4 : Tirant d'ancrage (AICAP, 1993).

Les tirants d'ancrage peuvent être:

- **Présollicités** (ou actifs): quand ils sont mis en tension lors de la réalisation de l'ancrage.
- **Non présollicités** (ou passifs): quand ils sont sollicités par des efforts de traction liés à des mouvements ou des déformations du massif rocheux.
- **Partiellement présollicités**: quand ils sont mis en tension lors de la réalisation de l'ancrage, avec une tension inférieure à celle prévue durant le fonctionnement.

2. DOMAINE D'UTILISATION

Les ancrages sont largement utilisés pour la stabilisation et le renforcement des structures (murs de soutènement, barrières, quais portuaires, palplanches, digues, pylônes), des pentes et des talus rocheux, ainsi que des terrains meubles. En particulier, les ancrages sont efficaces dans:

- Des terrains naturellement cohésifs (argiles et silts à basse plasticité et donc peu déformables).
- Des terrains naturellement cimentés ou des sables et des graviers présentant une cohésion réelle (due à la fraction fine) ou apparente (fournie par l'humidité).
- Des roches disloquées.
- Des terrains situés au-dessus de roches de mauvaise qualité.

L'utilisation des ancrages est au contraire moins indiquée pour les interventions qui concernent la stabilisation des terrains meubles présentant un comportement cohésif.

2.1. Performances

Les performances des ancrages sont liées au diamètre des barres utilisées et à la résistance de l'acier. La résistance peut atteindre plusieurs centaines de kN. L'impact visuel des ancrages est généralement limité, à cause des caractéristiques intrinsèques de ce type d'ouvrage, qui se développe principalement à l'intérieur du massif rocheux ou du terrain meuble. L'impact visuel peut par ailleurs être facilement minimisé au travers de l'emploi des mêmes techniques utilisées pour les murs de soutènement.

Les limites des ancrages sont principalement:

- L'impossibilité de réaliser des forages dans des terrains saturés.
- Les difficultés associées à l'érosion des terrains peu cohésifs constitués principalement de sables et de graviers.
- Les problèmes liés à une grande densité de lignes souterraines (réseau électrique, téléphone, gaz, etc.).
- Des problèmes potentiels de fonctionnement optimal en terrain gelé.

2.2. Techniques associées

Cette technique est souvent associée à des interventions qui modifient la résistance mécanique du massif rocheux (emmallotage, béton projeté) et/ou à des mesures de soutènement (poutre et piliers en béton). Toutes ces mesures visent à la stabilisation de talus naturels ou artificiels constitués par des massifs rocheux fracturés et stratifiés, affectés par des glissements, des basculements et/ou des chutes des blocs. En outre, les

ancrages sont associés à des interventions destinées à empêcher l'initialisation de phénomène d'altération superficielle du massif rocheux (filets et grillages plaqués).

3. REALISATION

3.1. Conception

La conception d'ancrages se base sur des études qui concernent:

- La définition du modèle géologique et géotechnique du sous-sol.
- L'identification des conditions environnementales (agressives ou non) dans lesquelles seront mis en place les ancrages.

Les éléments de base à définir sont:

- La situation topographique, qui doit être préalablement définie à l'aide d'un relevé planimétrique et altimétrique.
- La situation géologique, à travers la définition des caractéristiques:
 - Géomorphologiques du milieu, contenant un repérage des éventuelles instabilités existantes ou potentielles et une estimation de leur évolution.
 - Lithologiques des terrains ou des roches.
 - structurales, autant à l'échelle du volume de sous-sol concerné par l'ouvrage à bâtir, que par celle du volume de terrain concerné par l'ancrage.
 - Hydro-géologiques générales du milieu, avec des indications sur les caractéristiques des aquifères (libre ou en pression).
- La situation géotechnique, avec définition des propriétés physiques et mécaniques des terrains (résistance au cisaillement, déformabilité et perméabilité) et des pressions hydrauliques dans le sous-sol.
- La situation environnementale, avec l'identification d'éventuelles conditions agressives (risque de corrosion) de l'environnement dans lequel seront mis en place les ancrages.

3.2. Mise en œuvre

Dans le cas de terrains à cohésion nulle ou faible ou dans le cas de roches disloquées, deux méthodes différentes de forage peuvent être utilisées:

- Le **chemisage des trous**: afin de stabiliser les parois du trou de forage, on réalise une chemise temporaire, à l'intérieur de laquelle seront introduites la barre et l'injection. Après avoir positionné correctement la barre à l'intérieur de la chemise, on extrait cette dernière.
- Le **Self Drilling Anchors (SDA)**: la barre de forage se comporte comme une barre installée et injectée. Ce système est constitué par une barre qui peut être utilisée soit pour le forage, soit pour l'injection à l'intérieur de terrains à faible cohésion sans l'utilisation d'un chemisage. Cette barre est caractérisée par la présence d'un trou longitudinal pour l'injection et un filetage pour le montage sur le matériel de forage standard.

3.3. Eléments de coût

Clou d'ancrage: fourniture et installation de clous d'ancrage, qui comprend l'enfoncement et la cimentation de barres de fer rondes type Fe 32K de 30 mm de diamètre, de longueur variable, à l'intérieur de forages de 40 mm de diamètre et de profondeur moyenne équivalente au 2/3 de la longueur de barres de fer rondes: 14,60 Euros/m'.

Tirant d'ancrage: fourniture et installation de tirants d'ancrage, qui comprend le forage par roto-percussion en terrains de n'importe quelle nature ou consistance, même en présence d'eau à une profondeur de 30 m, l'éventuelle utilisation de boues de bentonite, la fourniture et la mise en œuvre de l'armure en acier harmonique constituée de torons de 6,6" de diamètre revêtus à l'origine par des gaines en P.V.C. et le matériel anticorrosif. Sont en outre compris les têtes des ancrages complètes avec les dispositifs de blocage, les opérations d'enfoncement des câbles, les injections du mélange de ciment, la mise en tension du tirant à l'aide de marteaux oléopneumatiques et le scellement final de la tête du tirant. Selon la mise en tension du tirant (entre 60 T et 150 T), les prix sont variables:

- Mise en tension 60 T: 105,27 Euros/m'.
- Mise en tension 150 T: 176,46 Euros/m'.

4. ENTRETIEN

Les tirants d'ancrage se classifient, selon la durée d'exercice, en:

- **Provisoires:** tirants destinés à exercer leur fonction pendant une période inférieure à deux ans.
- **Permanents:** tirants destinés à exercer leur fonction pendant une période égale ou supérieure à deux ans. Pour cette catégorie, un plan de surveillance de l'ouvrage dans le temps doit être prévu. Ce plan doit faire partie du projet complet, qui doit en outre comprendre:
 - La typologie et la durée de fonctionnement du tirant.
 - Le nombre et la distance entre les tirants.
 - La longueur de la fondation et celle de la partie libre du tirant.
 - La position et inclinaison des tirants.
 - Le diamètre du forage.
 - Les mesures de protection anticorrosion.
 - Les caractéristiques des mélanges d'injection, etc.

5. EXEMPLES

5.1. RN 26 (Km. 70+750) près de Montjovet , vallée d'Aoste.

Ancrages passifs en clouage sur une dalle rocheuse (“*Zone des calcschistes avec pierres vertes*”) à fort pendage. Les clous sont disposés selon une maille rectangulaire, avec une distance horizontale d'environ 50 cm, et une distance verticale d'environ 80 cm (photo 5. 1). La partie gauche de la paroi a été recouverte par des grillages en acier inoxydable à double torsion à mailles hexagonales (60x80 mm), renforcés avec des câbles croisés entre eux et ancrés au massif.



Photo 5. 1: Vue d'ensemble de la paroi avec les ancrages passifs (au centre) et les grillages plaqués.

5.2. RN 26 Km (83+600), commune de Chambave, valle d'Aoste.

L'alluvion de novembre 1994 a complètement emporté la route nationale sur une longueur d'environ 100 m et partiellement détruit le mur de soutènement situé à l'amont de celle-ci; dans le même temps, cet événement a provoqué un tassement de l'ensemble du versant et en particulier des bâtiments situés 30 m en amont de la route. Afin d'éviter une éventuelle accélération du phénomène, un nouveau mur de soutènement (photos 5. 2 et 5. 3) a été réalisé en 2004. Ce mur a été ancré, à l'aide de tirants, au mur qui avait été reconstruit suite aux événements de 1994. A noter, au dessus du mur, la présence de la terre armée.



Photo 5.2: vue d'ensemble du mur de soutènement et des ancrages actifs (dans les trous).



Photo 5.3: Détail du tirant avec les trois torons et la plaque de répartition.

5.3. A21 Martigny – Grand Saint Bernard, commune de Sembrancher, Valais.

Après l'éboulement dramatique de 600 m³ de roche sur la galerie de la Monnaie en novembre 2001, la paroi instable a été stabilisée à l'aide de 46 ancrages passifs de 6 à 8 m de profondeur, composés de barres d'acier préinjectées de 32 mm de diamètre et équipées de chaussettes en coton. Les ancrages ont été implantés sur la base d'un modèle géomécanique et structural 3D obtenu par levé laser.



Photo 5.4: Mise en place (par hélicoptère) des ancrages passifs dans les parois surmontant la route Martigny – Grand Saint Bernard au lieu dit "Les Trappistes".

6. BIBLIOGRAPHIE

- A.I.C.A.P. (1993): "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce: raccomandazioni". Edigraf, Roma.
- Airoldi S. : "I bulloni d'ancoraggio nel consolidamento delle scarpate". Atti Convegno "Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio", Trento, 2004.
- Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (APAT, 2003): "Atlante delle opere di sistemazione dei versanti". Manuali e linee guida 10/2002, pp 71-73.
- Agostini R., P. Mazzalai, A. Papetti (1988): "Le reti metalliche a maglie esagonali nella difesa dei versanti". Officine Maccaferri S.p.A., pp. 25-31.
- Bidaut P., Durville J.-L., Guillemin P., Richard J.-C., Viktorovitch M.(2006). Essais de cisaillement sur discontinuités armées par ancrages passifs : utilisation d'une boîte de cisaillement de grandes dimensions. Bull. Labo. P. et Ch. n°spécial à paraître
- Brawner, C.O., 1994. Rockfall hazard mitigation methods, NHI course 13219, Participants workbook.
- Cravero M., Iabichino G., Oreste P.P., Teodori S.P.: "Metodi di analisi e dimensionamento di sostegni e rinforzi per pendii naturali o di scavo in roccia". Atti Convegno "Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio", Trento, 2004.

- Collectif (Mai 2004). *Guide technique : Protection contre les risques naturels – Ancrages passifs en montagne : conception, réalisation, contrôle*. MEDD, CEBTP et Cemagref. 146 p.
- Ente Nazionale per le Strade - Gruppo Tecnico per la Sicurezza Stradale (2001) – "*La protezione del corpo stradale contro la caduta massi*". ANAS.
- Hoek E. & D. Wood (1988): "*Rock support*". Article publié dans le magazine "*Gallerie e grandi opera sotterranee*", 4, pp. 39-44, 1990.
- Liste des prix de la Région Autonome Vallée d'Aoste, dernière mise à jour janvier 2006.
- Pelizza S., Peila D., Oggeri C.: "*Tipologie di intervento per la bonifica di versanti rocciosi*". Atti Convegno "*Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio*", Trento, 2004.
- Willie, D.C. and Norrish, N.I., 1996. Stabilization of rock slopes. In: A.K. Turner and R.L. Schuster (Editors), *Landslides, Investigation and Mitigation*. National Academy Press, Washington, D.C., pp. 474-504.

Conclusions et perspectives

En regard des résultats obtenus il ressort que les principaux objectifs ont été atteints par le projet.

L'inventaire et le fichage des méthodes de surveillance et des instrumentations de sites débouchent sur un outil exhaustif pour les praticiens appelés à intervenir dans l'équipement des sites instables (Activité 4, description technique de chaque méthode et instrument + base de donnée).

Si à l'heure actuelle l'évaluation de l'équipement d'observation des 6 sites pilotes équipés par RAVA le CETE ne permet pas de conclure à une adéquation validée de ces instruments à la problématique « instabilité » - surtout dû au fait de la faible période d'observation -, elle permet du moins de se faire une bonne idée sur les difficultés rencontrées dans la gestion de ces instruments (Activité 2).

L'établissement de la liste des parades les plus couramment utilisées sur le périmètre couvert par le projet (Activité 5) et la comparaison des trois systèmes opérationnels de télésurveillance à distance - Eydenet, GeSSRI et Guardaval - (Activité 3) ont été riches d'enseignements pour l'ensemble des partenaires. Les résultats augurent d'importantes potentialités d'échange et de tests croisés dans le but de travailler sur le développement en commun de systèmes de surveillance et de parades performantes contre les risques hydro-géologiques.

Il est cependant incontestable que l'apport le plus fructueux du projet est le mode d'échanges élaboré entre les partenaires, sous forme d'**ateliers** : 4 x 2,5 jours consacrés à un thème et répartis judicieusement entre les présentations en salle et le terrain. Voir, évaluer, discuter et critiquer ce que fait le voisin reste le meilleur moyen d'avancer vers des solutions communes, autant dans les méthodes, instrumentations et parades, que dans les procédures et réglementations administratives permettant à chaque région de prendre en compte les risques naturels vis-à-vis de la population, des biens et des infrastructures.

L'objectif final de Riskydrogeo était de proposer à l'autorité politique le plus petit dénominateur commun de ces pratiques : le volet « ateliers » a beaucoup avancé dans cette direction, même si cet objectif n'a pas été intégralement atteint pendant la durée du projet. **Ce mode de collaboration transfrontalière devra absolument être privilégié à l'avenir car il s'est révélé être le plus productif en la matière.**

L'équipe du projet est actuellement composée d'une quinzaine de personnes appartenant aussi bien à l'administration et aux sociétés paraétatiques qu'aux instituts de recherche et aux bureaux spécialisés. Ouvrant ensemble sur plusieurs projets Interreg depuis 2000, ces personnes ont l'avantage de bien se connaître, ce qui est un gage de réussite non négligeable pour atteindre les objectifs fixés.

S'il devait y avoir une suite à ce projet, les perspectives de collaboration ont en grande partie été identifiées :

- Concernant la télésurveillance, l'objectif serait d'œuvrer dans la direction d'un système uniformisé permettant d'accéder online aux données des stations de mesure via le Web, le tout étant couplé avec un système d'alerte/alarme ;
- Pour les parades pare-pierres, l'idée est
 - 1) de porter à 10'000 kJ la capacité d'absorption énergétique des filets et d'améliorer leur géométrie,
 - 2) de travailler sur les merlons cellulaires afin de diminuer les coûts de construction et d'entretien et
 - 3) d'innover en matière de résistance des galeries en travaillant sur la capacité de déformation plastique (amortisseurs) des piliers.
- Pour les parades en matière de glissement de terrain il s'agirait de tester sur des sites déjà étudiés l'apport de la géophysique pour implanter de façon optimale les forages drainants.