



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

## *RiskYdrogé*

«Risques hydrogéologiques en montagne : parades et surveillance »

### Activité 2. Sites pilotes

### Site 4 – Citrin

#### Partenaires et financeurs :



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



CANTON DU VALAIS  
KANTON WALLIS



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

#### En collaboration avec :



Pôle Grenoblois  
Risques Naturels



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

# SITE PILOTE 4

## Citrin

Commune de Saint-Rhémy-en-Bosses (Vallée d'Aoste)

### 1. DESCRIPTION DU SITE

#### 1.1. Localisation

Le mouvement de terrain de Citrin se trouve en moyenne Vallée d'Aoste, dans la Vallée du Grand-Saint-Bernard, sur la commune de Saint-Rhémy-en-Bosses. Le secteur se situe en rive droite du Torrent Citrin, sur les versants nord-occidentaux de la Testa de Cordella et la Tête du Bois de Quart, à environ 2350 mètres. Le versant a une pente moyenne comprise entre 30° et 45°.

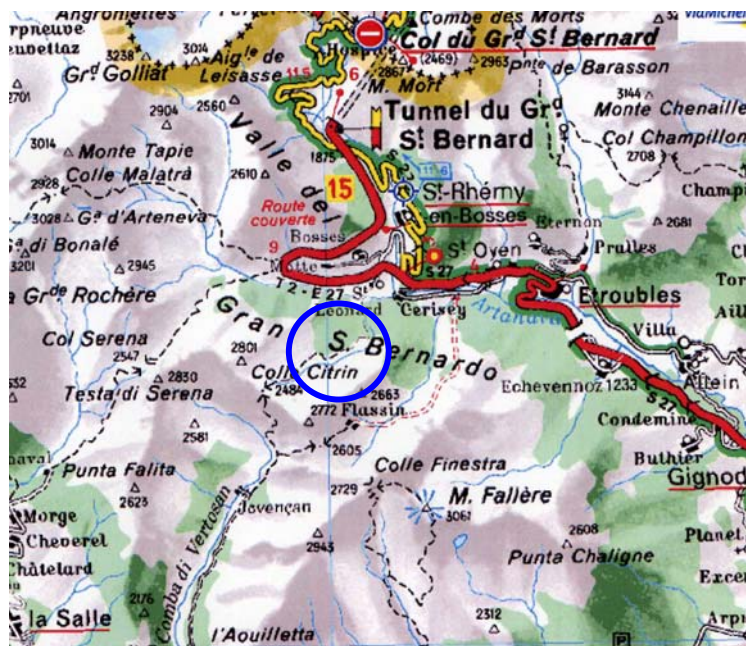


Figure 2.4. 1. Localisation du site de Citrin : voir [Carte générale](#)

#### 1.2. Contexte géologique

Le versant peut être divisé en trois secteurs:

- un secteur supérieur, rocheux avec une pente très forte (supérieure à 45°), qui va de la ligne de crête entre environ 2350 m et la Tête du Bois ;
- un secteur intermédiaire, constitué de dépôts d'éboulement (éboulis) disposés le long du versant avec une pente moyenne (30-45°), une longueur d'environ 250-300 mètres et une largeur d'environ 200 mètres; la surface des éboulis est estimée à 5-6 hectares ;
- un secteur inférieur, caractérisé par 3 couloirs marqués dans les dépôts entre des épaulements secondaires colonisés par la végétation et délimités latéralement par des escarpements rocheux. Ces trois couloirs confluent dans le torrent Citrin entre 1.820 m et 1.720 m (s.n.m.).

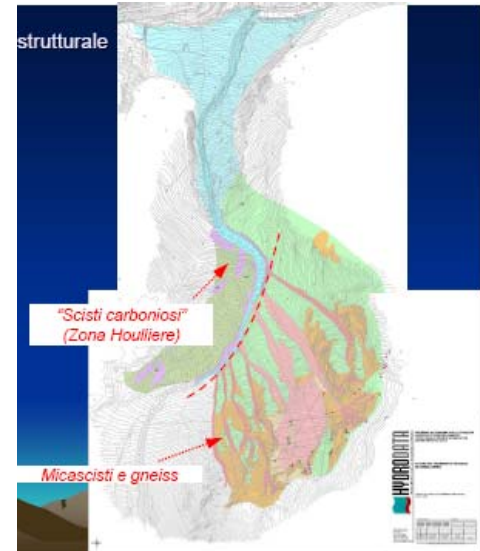
Pour ce qui concerne le substratum, le secteur se trouve à la limite entre la Nappe du Grand St Bernard et la Zone Houillère. Plus précisément

1) Nappe du Grand St Bernard:

- « micascisti e gneiss a relitti di paragenesi prealpina di alto grado »

- « micascisti a cloritoide e gneiss albitici, anfiboliti ».
- 2) Zone du Houiller :
- « scisti e arenarie micacee con livelli di antracite » .

Figure 2.4. 2 : Carte géologique et structurale du mouvement de Citrin (extrait de [A4P6](#)) : *cliquer pour agrandir*.



Parmi les dépôts de couverture on distingue:

- les dépôts liés à la dynamique fluvio-torrentielle, dans le lit et le cône du torrent Citrin ;
- les dépôts liés à la dynamique des éboulements rocheux , présents dans les couloirs à la base des rochers;
- les dépôts liés à la dynamique des glaciers, sur la gauche du torrent Citrin.

Pour définir la géométrie du corps de l'éboulement on a réalisé un étude géologique, un levé topographique de précision (à l'échelle 1:2000) et un profil de sismique réfraction long de 1500 m.

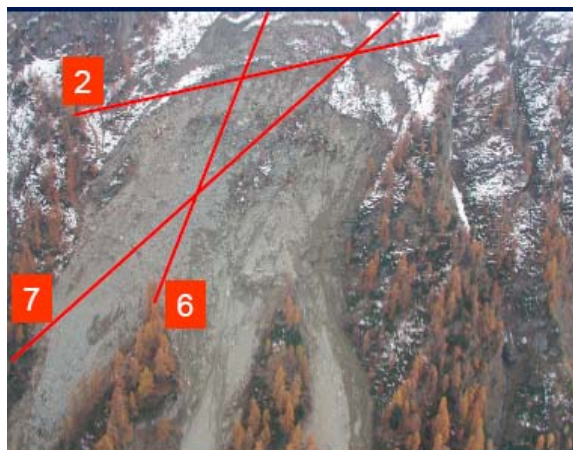


Figure 2.4. 3 : Profils de sismique réfraction ([A4P6](#), p.20) : *cliquer pour agrandir*.

A partir du levé géologique, avec les résultats des modèles tridimensionnels et de la sismique réfraction, le volume de la masse en mouvement, a été estimé à 1,5 millions de mètres cubes ([A4P6](#), p.18-24).

### 1.3. Historique du site

Pour obtenir des informations aussi complètes et exhaustives que possible, on a procédé à l'analyse multi temporelle des photos aériennes entre 1955-2001 ([A4P6](#), p11).

1955: présence d'un cône d'éboulis actif d'une étendue d'environ 5000 m<sup>2</sup> et d'un secteur, à l'aval, avec des indices de mouvement (gonflements, escarpements). A l'aval de ce secteur, on met en évidence deux couloirs d'éboulis marqués, qui correspondent pour l'essentiel à ceux qui seront agrandis lors de l'évènement d'octobre 2000; toutefois les deux laves torrentielles ne rejoignaient pas à cette date le lit du Torrent Citrin. En outre, on relève la présence d'un autre couloir, à l'est du secteur en mouvement, alimenté par les roches dominantes. Les observations aériennes laissent supposer que ces apports de matériaux peuvent être à l'origine de l'évènement alluvial de novembre 1951.

Le mouvement a une étendue d'environ 1,5 hectares.

1975-1991: pas d'indice de mouvement actif; les aires instables sont colonisées par la végétation.

### 2000

17/10: on observe un vaste phénomène de glissement rotationnel dans les éboulis actifs entre 2230 mètres et 2050 mètres, avec deux vastes laves torrentielles canalisées et subparallèles, qui ont rejoint le lit du torrent Citrin. Dans le secteur supérieur, à la limite entre roches et éboulis, s'ouvre une niche d'arrachement, sans qu'on puisse enregistrer d'indices particuliers de mouvement. Le mouvement a une étendue d'environ 2,4 hectares.

19/10: le corps de l'éboulement s'étend jusqu'à la niche d'arrachement repérée le 17, avec un accroissement du rejet vertical de celle-ci. Le mouvement a une étendue d'environ 2,6 hectares.

20/10: le corps de l'éboulement s'agrandit encore et atteint une configuration semblable à celle observable actuellement. Tout le secteur occidental est affaissé et il reste sujet à un vaste écoulement de détritrus, avec formation d'une lave torrentielle, jusqu'au lit du torrent Citrin. Le mouvement a une étendue d'environ 4,0 hectares.



Figure 2.4. 4 : Evolution du phénomène du 17 au 20 octobre 2000. [Cliquer pour agrandir.](#)



Figure 2.4. 5 : Evolution du phénomène : détail de la partie centrale. [Cliquer pour agrandir.](#)

## 2. PROBLEMATIQUE

### 2.1. Problématique du site

L'étude mandatée par la Région Vallée d'Aoste a déterminé deux scénarios, suite à l'élaboration de deux simulations:

*Les enjeux* : voir **A4P6** pour les détails et illustrations (p.29-40).

SCENARIO 1: La rupture du barrage temporaire du torrent Citrin formé par les matériaux de l'éboulement.

SCENARIO 2: Les laves torrentielles du torrent Citrin causent le barrage du torrent Artanavaz, avec formation d'un lac, très rapidement rempli et débordé avec pour conséquence l'inondation des villages à l'aval.

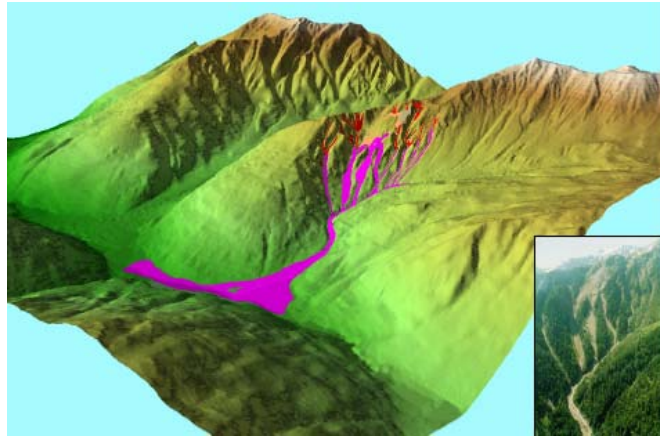


Figure 2.4. 6 : Scénario d'évolution du phénomène d'éboulement (**A4P6**, p.30) : [cliquer pour agrandir](#).

Selon l'étude mandatée par la Région Vallée d'Aoste suite aux événements d'octobre 2000, des phénomènes orageux particulièrement intenses et prolongés dans le temps pourront impliquer un volume maximal d'environ 1.500.000 mètres cubes de matériaux.

#### 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. Aucun ouvrage de protection n'a donc été réalisé.

Les événements ont été simulés pour une rupture soudaine des barrages et donc la condition la plus dangereuse par rapport à une rupture progressive, qui est cependant l'hypothèse la plus probable.

La rupture soudaine menace, en cas d'évènement pluvieux particulièrement intense, les ponts sur le torrent Artanavaz, le réseau routier et les centres habités de la plaine du torrent Artanavaz .

### 2.2. Objectifs de l'instrumentation

L'objectif essentiel de l'installation du système de surveillance est d'anticiper le déclenchement du mouvement de terrain, qui peut engendrer des laves torrentielles et provoquer le barrage du torrent Citrin à l'amont et, par la suite, du Torrent Artanavaz.

## 3. INSTRUMENTATION EN PLACE

Le système de surveillance du mouvement de terrain de Citrin a été réalisé suite aux événements d'octobre 2000 (**A4P4**).

Le site est équipé avec 8 repères GPS manuels (dont 2 fixes situés hors de l'éboulement), 3 extensomètres à fil, ainsi qu'une station météo qui comprend pluviomètre, thermomètre, baromètre, hygromètre, nivomètre et gonionomètre.

Tous les instruments de surveillance sont reliés à la centrale opérationnelle située au siège de la Protection Civile, dans laquelle se trouve le système de surveillance Eydenet, qui gère la gestion des alarmes (**A4P8, Activité 3 Télésurveillance**).

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

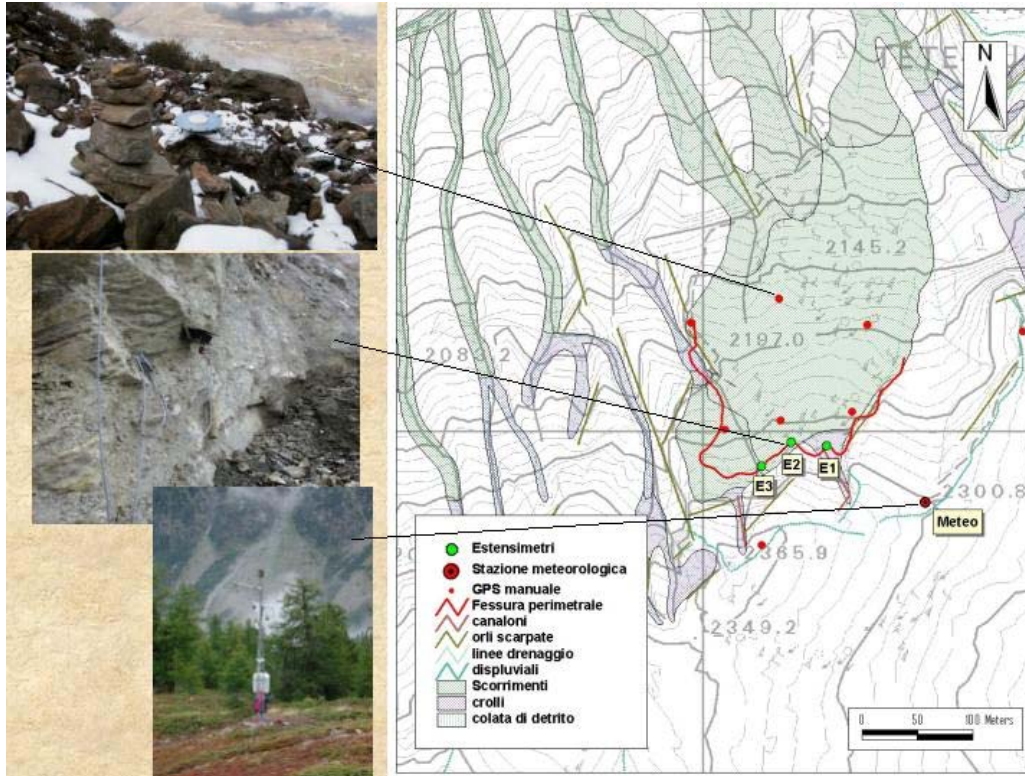


Figure 2.4. 7. Extrait planimétrique avec indication des stations de mesure : [cliquer pour agrandir](#).

Les données de pluviométrie, de température, de pression atmosphérique, d'humidité relative et de hauteur de la neige sont transmises au centre d'acquisition en exploitant le pont radio de Martinet et la dorsale radio à micro-ondes de la Protection Civile.

En outre, la RAVA a confié à une société extérieure la charge d'étudier les mouvements de l'éboulement par la technique du radar terrestre (**A4P7** et **Inventaire Méthodes et Instrumentation**). Depuis 2003 6 lectures ont été réalisées, soit 2 par an, une au printemps et l'autre à la fin de l'été.



Figure 2.4. 8. Acquisition scanner laser par hélicoptère

**Fréquence des mesures :**

extensomètres: horaire;  
 météo: horaire;  
 GPS manuels: 2 fois par an (juin et octobre);  
 extensomètres: horaire.  
 Radar terrestre : 2 fois par an.

**Connexion à la centrale d’acquisition:**

extensomètres: câble;  
 météo: intégré à la station;  
 GPS automatiques: intégré à la station;

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

extensomètres: radio (micro-ondes);  
 météo: radio (micro-ondes);  
 GPS automatiques: radio (micro-ondes).

Pour ce site, sur lequel les mesures ont démarré en 2001, on considère que les données sont actuellement de l’ordre des mesures standards, puisque que la phase de test/d’expérimentation a été faite dans les premières années de surveillance de l’éboulement.

**4. RESULTATS ET PREMIERES ANALYSES**

A l’automne 2001, le systèmes de surveillance a été uniformisé par rapport au système existant de la Becca di Nona, pour le rendre plus stable dans la transmission des données.

Les données enregistrées au cours de la surveillance montrent que la stabilité relative du versant est liée à un apport réduit d’eau de pluie et de fusion de la neige, comme au cours de l’année 2004.

Au cours de l’année, les niveaux de pluie enregistrés peuvent dépasser les valeurs seuil fixées dans les procédures de Protection civile, surtout lors d’évènements météorologiques à caractère orageux. En 2003 ces valeurs seuils n’ont été jamais dépassées, tandis qu’elles l’ont été deux fois en 2004, à l’occasion d’évènements orageux brefs mais intenses. Ces évènements n’ont pas déclenché d’instabilité particulière dans le corps de l’éboulement.

Soglia	Durata (h)	1	3	6	12	24	36
<b>Allarme</b>	Intensità (mm)	27.3	14.6	9.8	6.6	4.4	3.5
<b>Preallarme</b>	Intensità (mm)	17.1	9.2	6.2	4.2	2.9	2.3

*Figure 2.4. 9 : Seuils d’alerte et de pré-alerte sur les précipitation :  
 Voir [A4P6](#), p. 47-50 pour les détails d’établissement des seuils*

Les 3 extensomètres posés sur la niche d’arrachement principale enregistrent des valeurs de déplacement variables, de 5 à 18 mm / an.

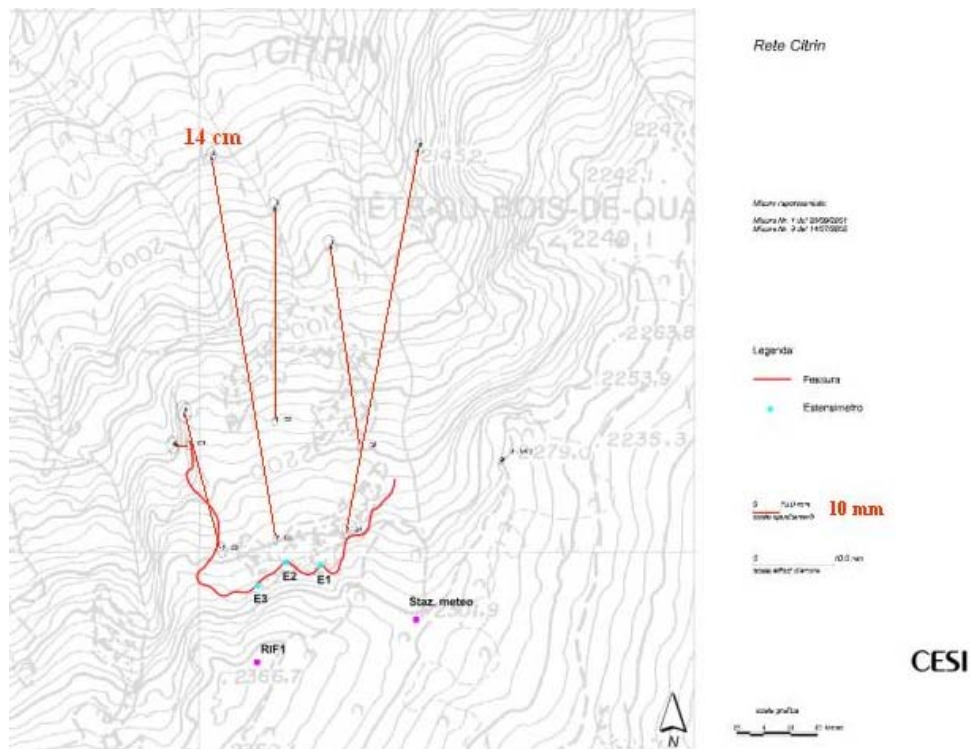


Figure 2.4. 10 Vecteurs de déplacement des repères GPS - Période 20/09/2001 - 14/07/2005 : cliquer pour agrandir.

A plusieurs reprises, la représentation graphique des données annuelles indique des déplacements causés par l'effet de la neige, au cours des premiers et derniers mois de l'année. Le manteau neigeux cause l'allongement des fils des extensomètres et peut même provoquer la rupture des fils ; les résultats sont alors considérés "virtuels" et le bon fonctionnement des instruments est rétabli dès que le site redevient accessible en toute sécurité et lorsque le manteau neigeux a complètement disparu, c'est-à-dire en général au mois de juin.

Les extensomètres (en particulier le n°3) et les câbles de liaison sont souvent endommagés par des chutes des blocs provenant du secteur à l'amont de la niche d'arrachement ; ils doivent être rétablis dans les meilleurs délais, ce qui engendre des dépenses importantes pour l'Administration régionale (environ 1.000 € pour l'automne 2005).

Apports de la surveillance par Radar terrestre :

Après analyse des résultats, les données SAR acquises depuis 2001 viennent confirmer les données du réseau GPS manuel : les vitesses de mouvement sont comparables, montrant des mouvements moyens annuels inférieurs à 2 centimètres, avec des valeurs locales plus fortes (toujours inférieures à 3 cm).

Par ailleurs, l'application de la technique a permis de :

- réaliser des tests sur les bandes de fréquence utilisées dans la surveillance des pentes instables : les résultats ont démontré que la bande C est la plus adaptée;
- valider la technique par confrontation avec les mesures GPS manuelles;
- démontrer que l'appareillage peut être utilisé pour des contrôles ponctuels irréguliers, alors que le SAR était utilisé jusqu'à maintenant pour du contrôle en continu;
- vérifier la possibilité d'éliminer les erreurs troposphériques au moyen d'application de la technique des permanent scatterers.



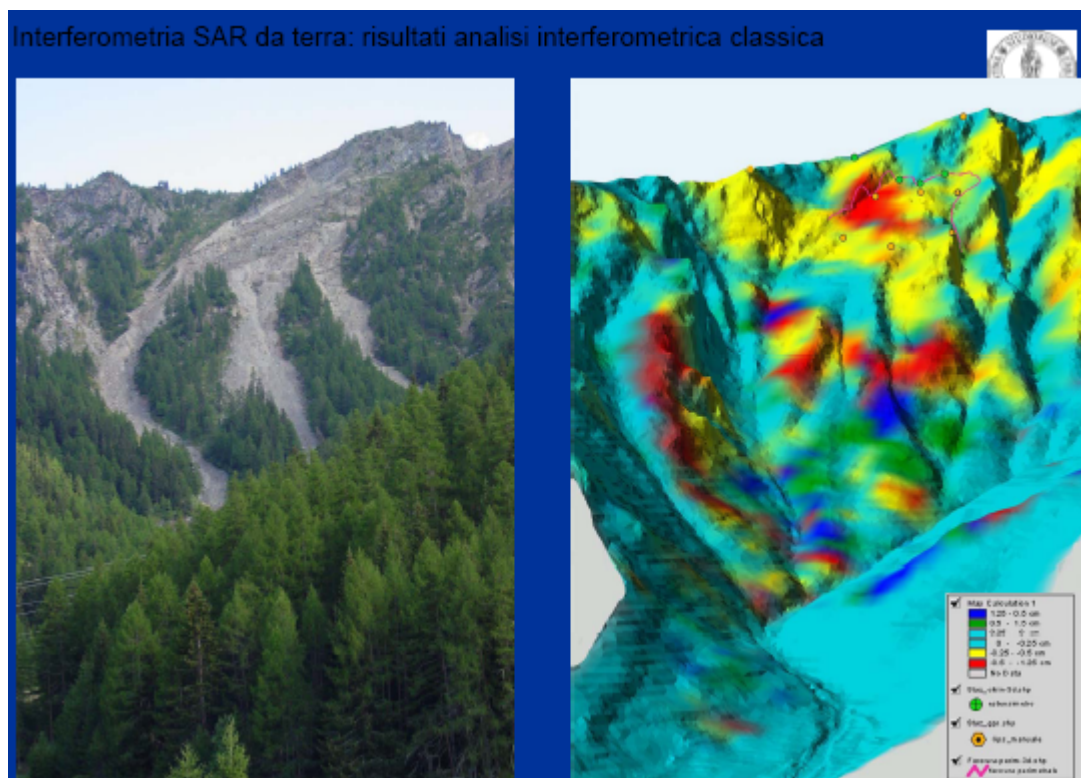


Figure 2.4. 11 : Résultats du SAR terrestre (analyse interférométrique classique, A4P7) : [cliquer pour agrandir](#).

Cette expérience montre donc la possibilité de réaliser des mesures de déplacement très précises à des distances élevées (jusqu'à 3 km) et en présence de couverture nuageuse. En outre, le SAR terrestre s'est révélé approprié pour :

- un contrôle périodique de mouvements à évolution lente, avec repositionnement de l'appareillage à chaque nouvelle lecture ;
- un contrôle en continu des mouvement à évolution rapide, surtout en conditions d'urgence.

Pour plus de détails sur la technique et ses apports, voir [Actes de la conférence finale](#), § 6.1.