

Surveillance géodésique du site de Randa (VS) : gestion des mesures 1-D et 3-D

Pascal Ornstein, Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP)
Michel Jaboyedoff, Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP)
Jean-Daniel Rouiller, Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP)

1. Préambule

Au cours du printemps 1991, le village de Randa, situé dans la vallée du Mattertal à environ 5 km en aval de Zermatt, a été le théâtre d'un des plus importants éboulements survenus en Europe au cours du 20^{ème} siècle avec celui de Val Pola (Valtelline, Italie, 1987). Au total, près de 30 millions de m³ de matériaux se sont écroulés en trois phases successives entre le 18 avril et le 9 mai 1991 (fig.1). Les dégâts occasionnés aux infrastructures routières et ferroviaires ainsi que ceux causés par les inondations dues à l'obstruction de la rivière Mattervispa par le cône d'éboulement se sont élevés à plus de 80 millions de francs. Sitôt après l'éboulement, un dispositif de contrôle et d'alarme a été mis en place afin d'appréhender le comportement du massif, de prévenir tout nouvel éboulement et d'assurer la sécurité des voies de communication ainsi que des travaux de déblaiement. Le système de monitoring mis en place en 1991 est toujours opérationnel et permet d'assurer depuis 10 ans une surveillance continue du massif du Grossgugfer. Le dispositif actuel intègre un réseau de mesure géodésique, un réseau de stations extensométriques et une station météorologique. En 1999, le CREALP a entrepris l'élaboration d'une application informatique devant permettre d'assurer la gestion intégrale des données acquises dans le cadre de la surveillance du site de Randa. Au stade actuel du développement, le système permet de gérer les caractéristiques descriptives du réseau d'observation ainsi que la totalité des mesures géodésiques 1-D et 3-D effectuées depuis 1991. Les développements futurs prévoient la gestion d'informations connexes (données extensométriques, météorologiques et sismiques), l'intégration de modèles de prévisions simples et l'application à d'autres cas d'études.



Figure 1 : Vue aérienne de l'éboulement de Randa, VS
(photo : revue "Les Alpes", CAS)

2. Cadre géographique et contexte géologique

Le village de Randa se situe dans la vallée du Mattertal. Cette vallée, qui relie Visp à Zermatt, correspond du point de vue morphologique à une étroite vallée glaciaire présentant un profil transversal asymétrique caractérisé par la présence de puissantes et abruptes falaises en rive gauche de la Mattervispa. L'éboulement de 1991 est survenu à proximité immédiate du village, en rive gauche de la Mattervispa au lieu-dit Grossgugfer. D'un point de vue géologique, le massif du Grossgugfer appartient au soubassement cristallin de la nappe de Siviez-Mischabel [1]. La partie inférieure du massif est constituée par une série d'orthogneiss ("Augengneiss von Randa") alors que la partie supérieure correspond à une série monotone de paragneiss (gneiss et micaschistes). Le contact entre ces deux unités lithologiques se situe à environ 2'000 m d'altitude et plonge de 20 à 30° vers l'Ouest.

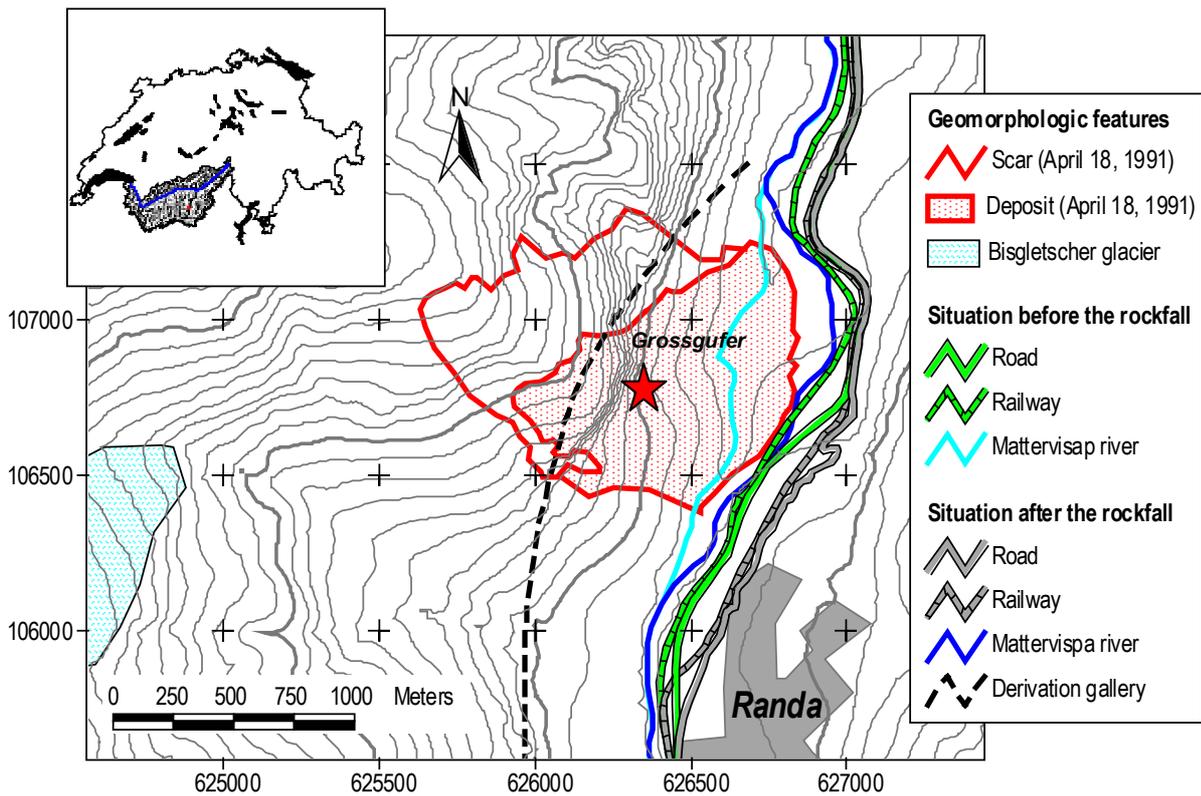


Figure 2 : situation schématique de la zone affectée par l'éboulement de Randa

3. Bref rappel des événements

L'éboulement de Randa est le résultat de trois événements consécutifs qui se déroulèrent entre le 18 avril et le 9 mai 1991 et générèrent au total un volume écroulé de près de 30 millions de m³. La première phase de l'éboulement a affecté la partie inférieure du Grossgufér (série des "Augengneis von Randa"). Elle a obstrué le cours de la MatterVispa et a partiellement enseveli le hameau de Unterlärch et la voie de chemin de fer du BVZ (fig.2). La seconde phase qui a affecté la partie supérieure du massif (séries des paragneiss) a recouvert le reste du hameau ainsi que la voie de chemin de fer et la route cantonale sur plusieurs centaines de mètres. Cet événement a eu par ailleurs un certain nombre de conséquences collatérales. C'est ainsi que l'obstruction de la Mattervispa par les matériaux éboulés a entraîné la formation d'un lac d'accumulation qui a partiellement inondé le village de Randa (fig. 3). Par ailleurs, les différents éboulements ont été accompagnés d'épais nuages de poussière qui se sont épanchés dans la vallée (fig. 4) formant des dépôts de plus de 15 cm d'épaisseur dans un rayon d'environ 800 m (fig. 5).

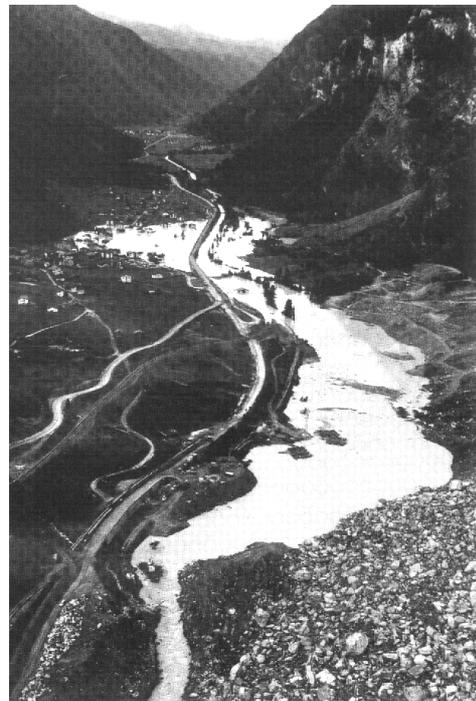


Figure 3 : Lac d'accumulation formé consécutivement au barrage de la Mattervispa par l'éboulement [2]. (Photo J.-D. Rouiller)



Figure 4 : Nuage de poussière consécutif à l'éboulement [2].



Figure 5 : Dépôts consécutifs à l'épanchement des nuages de poussière produits par l'éboulement [2].

4. Monitoring du site

4.1 Pendant la période active

Consécutivement au premier éboulement, un dispositif de surveillance et d'alarme a été mis en place afin d'appréhender le comportement du massif, de prévenir tout nouvel éboulement et d'assurer la sécurité des voies de communication ainsi que des travaux de déblaiement (tab. 1) [3].

Descriptifs des systèmes	Objectifs
Prévention des éboulements de masse par détection des accélérations (dès le 22.4.1991) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Réseau géodésique (réflecteurs répartis sur la couronne de l'éboulement) ▪ Stations extensométriques (mesures d'écartement des fissures) ▪ Réseau VIBROGUARD (mesures sismiques) 	CONTROLE général CONTROLE post-alarme ALARME d'évacuation
Prévention des chutes de blocs isolés (dès le début des travaux de déblaiement) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Réseau d'observateurs à demeure au pied de l'éboulement avec équipement d'observation et de communication. 	ALARME de mise à couvert temporaire
Contrôle des conditions météorologiques sur la couronne de l'éboulement (dès l'été 1991) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Station météorologique avec télétransmission 	CONTROLE général

Tableau 1: Dispositif de contrôle et d'alarme mis en place à l'issue de l'éboulement de Randa [3].

Ce dispositif a été réaménagé et redéployé au dessus de la nouvelle niche d'arrachement après chaque phase d'éboulement. De deux fois par jour à l'issue du premier d'éboulement, les contrôles géodésiques et extensométriques ont été progressivement ramenés à un rythme hebdomadaire puis bimensuel dans les semaines qui suivirent la phase III. Le système VIBROGUARD a par ailleurs été désactivé après l'éboulement du 9 mai 1991.

4.2 Dispositif actuel

Le dispositif actuel de surveillance est directement hérité du système de contrôle mis en place après l'éboulement de 1991. Il associe un réseau de mesures géodésiques, un réseau de mesures extensométriques (mesures automatiques et mesures manuelles sur fissures ouvertes) et une station météorologique (fig. 6).

		
<p style="text-align: center;">Réseau géodésique</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Appareillage de mesure : distance-mètre (EDM) infrarouge Leica DI2002 (précision 1mm+1ppm) ▪ Distance de visée : env. 1.3 à 2.3 km ▪ Réflecteurs géodésiques : 18 ▪ Fréquence de mesure (actuelle) : Mesures 1-D : 3-4 fois par année Mesures 3-D : 2 fois par année 	<p style="text-align: center;">Réseau extensométrique</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Appareillage de mesure : Extensomètres à piston Mesures manuelles sur fissures ouvertes ▪ Points de mesures : Stations automatiques : 7 Mesures manuelles : 12 ▪ Fréquence de mesure (actuelle) : Stations automatiques : 24h Mesures manuelles : annuelle 	<p style="text-align: center;">Station météorologique</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Appareillage de mesure : Station automatique avec télétransmission (hertzienne+RTC) ▪ Paramètres : Température de l'air Pluviométrie Humidité relative Ensoleillement Rayonnement solaire Température du sol Conductivité électrique du sol ▪ Fréquence de mesure (act.) : 1h.

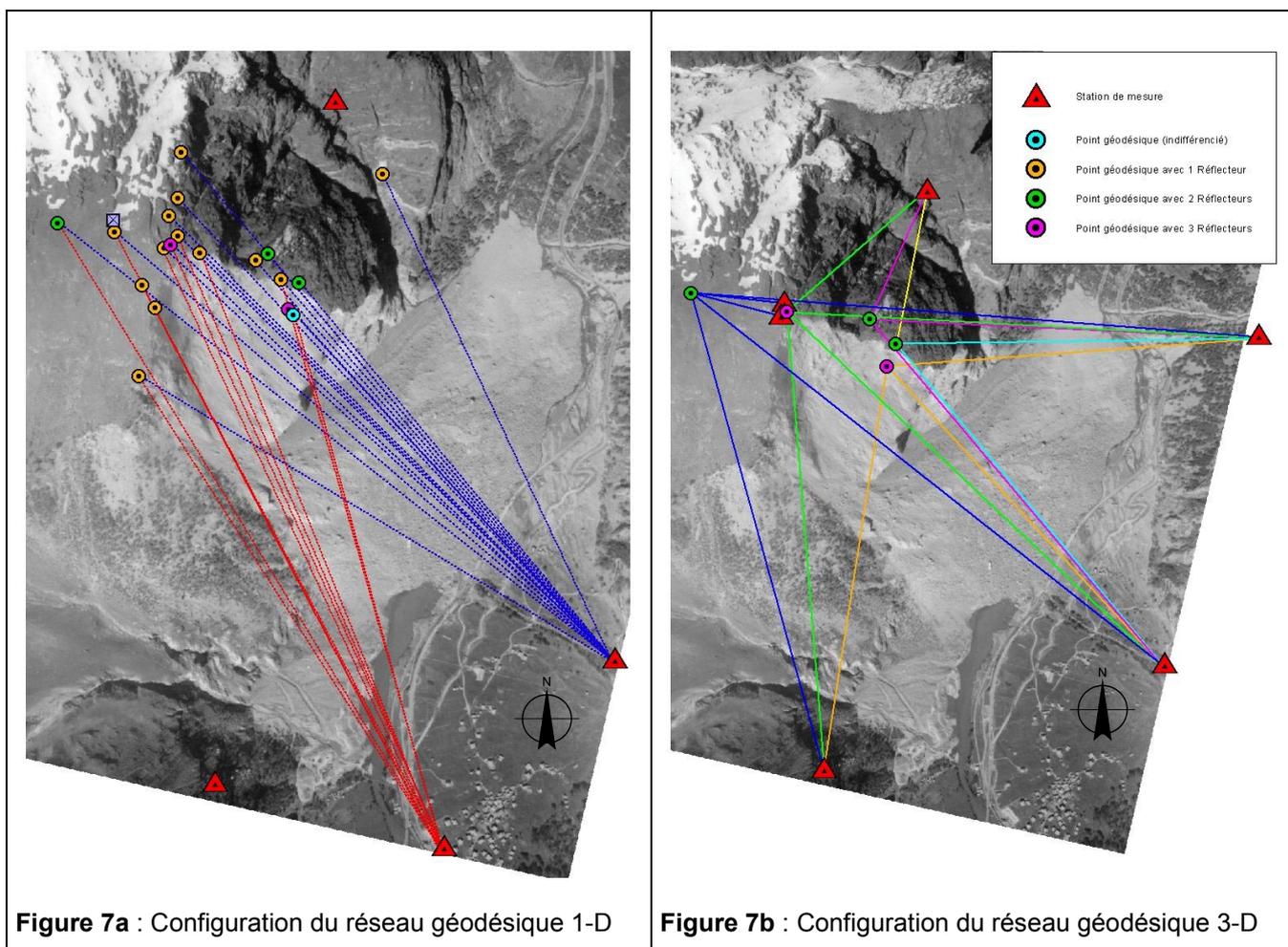
Figure 6 : Descriptif simplifié du réseau de surveillance actuel du site de Randa

5. Gestion des mesures géodésiques

5.1 Types de mesures

La surveillance géodésique du site de Randa consiste en deux types de mesures :

- **Mesures 1-D** : Mesures de distance effectuées à partir de 2 stations fixes situées dans la vallée (fig. 7a). Ces mesures permettent d'apprécier les mouvements relatifs (rapprochement / éloignement) des différents points de contrôle. Ce type de mesures est actuellement effectué 3 fois par année, voire plus si des conditions particulières l'imposent (fortes intempéries, recrudescence des chutes de blocs, modification du réseau de mesure, etc.).
- **Mesures 3-D** : Mesures de triangulation effectuées à partir de 6 stations fixes (fig. 7b). Ces mesures permettent de déterminer pour chaque point de contrôle, l'azimut et le plongement du vecteur de déplacement qui lui est associé. Ce type de mesure est effectué deux fois par année à raison d'une campagne au printemps et une en automne.



5.2 Application RandaDB

En 1999, le CREALP a entrepris le développement d'une application informatique (RandaDB) devant permettre d'assurer la gestion intégrale des mesures et des observations effectuées dans le cadre du monitoring du site de Randa. Cette application associe une base de données avec des fonctions de gestion, d'édition et d'analyse des données. Au stade actuel du développement, le système ne gère que les mesures géodésiques 1-D et 3-D. La structure de données implémentée est toutefois prévue pour permettre d'intégrer à terme les informations afférentes aux autres dispositifs de surveillance (mesures extensométriques et météorologiques). Le développement de cet applicatif est réalisé sur une plate-forme composée de l'atelier de génie logiciel Windev 5.5b et de la bibliothèque de composants géographiques MapObjects.

L'application RandaDB bénéficie d'une architecture modulaire. Elle intègre d'ores et déjà les modules suivants :

- Gestion du réseau de surveillance
- Gestion des mesures géodésiques (1-D, 3-D)
- Représentation graphique et cartographique des mesures
- Analyse statistique des déplacements

Nous fournissons ci-après un bref descriptif des fonctionnalités associées à chaque module.

5.2.1 Gestion du réseau de surveillance

Ce module est dédié à la gestion des caractéristiques descriptives du réseau de contrôle géodésique. Il permet également de gérer les modifications apportées au réseau (ajout/suppression de points). Chaque composant du réseau (stations de mesure et points géodésiques) est documenté avec les informations suivantes (fig. 8) :

- Caractéristiques administratives et techniques
- Photographies
- Carte de situation (carte active incluant des fonctions de navigation : zooms, panoramique, changement d'échelle, vue générale).

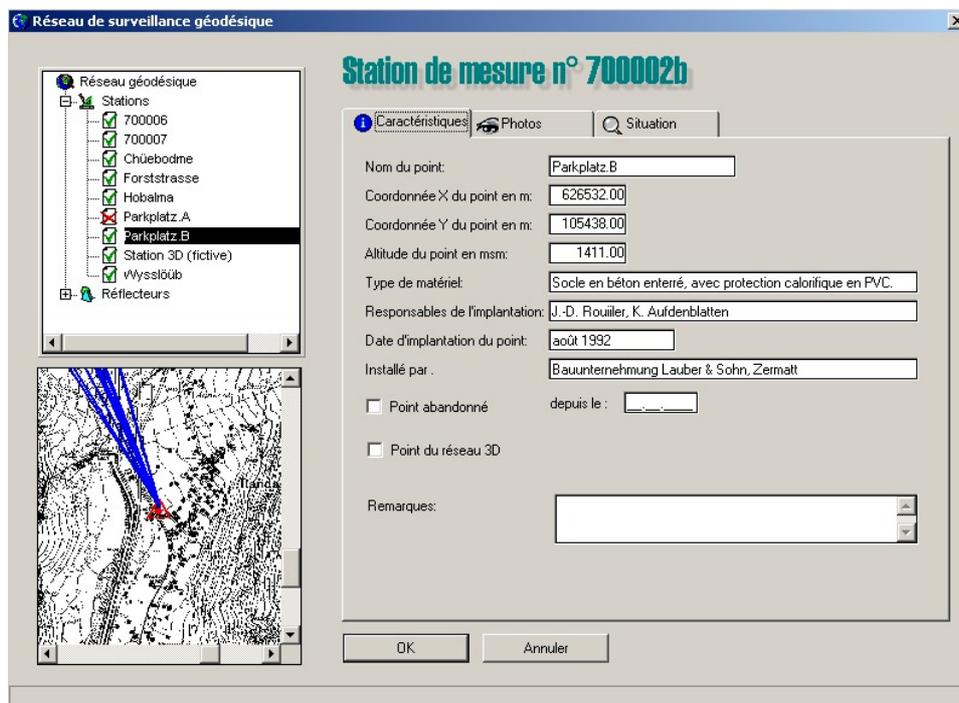


Figure 8 : Interface du module de gestion du réseau de surveillance géodésique

5.2.2 Gestion des mesures

Le module de gestion des mesures constitue le pivot du système. Ce module donne accès à tout l'historique de mesures 1-D et 3-D (fig. 9). Il intègre des fonctions d'importation, d'exportation et d'édition des données. Le système permet également de consigner dans la base de données toutes les informations connexes pouvant documenter la mesure. Ces informations, généralement très volatiles, concernent la prise de mesure (p. ex. conditions météorologiques, température, pression atmosphérique, etc.), l'environnement de mesure (p. ex. interventions volontaires ou accidentelles sur le réseau, événements particuliers, etc.) ainsi que les modifications et/ou corrections ayant pu être apportées à posteriori à la mesure. Chaque mesure stockée dans la base de données fait l'objet d'une qualification préalable. Le code affecté à la donnée indique à l'utilisateur ainsi qu'au système un état particulier de la mesure (mesure validée/non validée, mesure douteuse, mesure corrigée, mesure reconstituée, pas de mesure). Ce code de validation permet également de filtrer automatiquement les données lors de certains traitements.

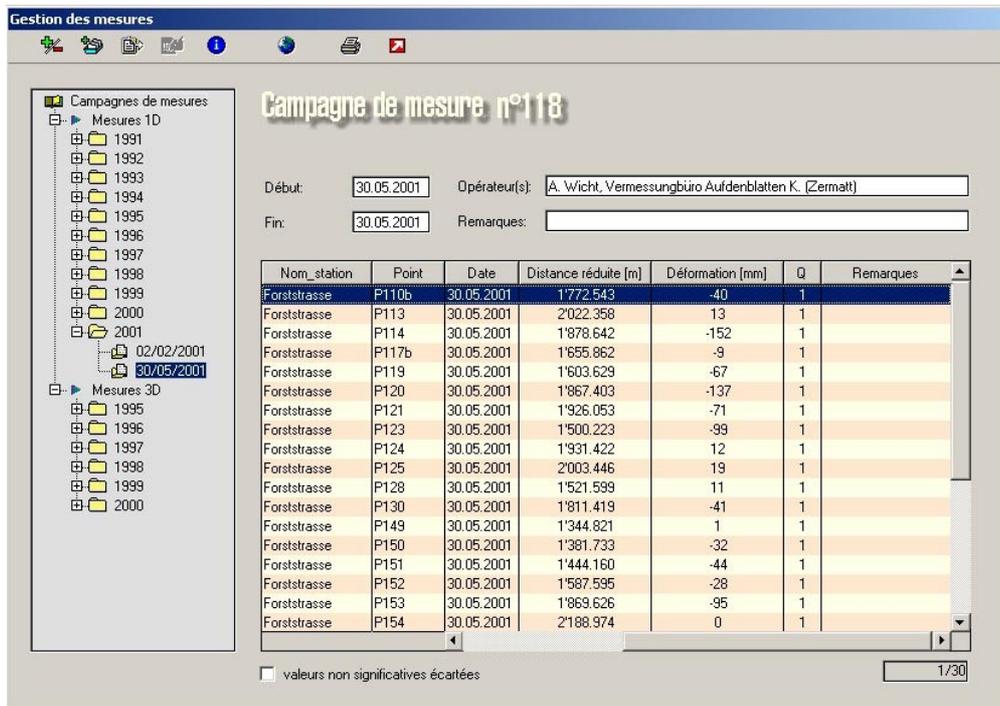


Figure 9 : Interface du module principal de gestion des mesures géodésiques

5.2.3 Représentation graphique des mesures

Le système offre différents modes de représentations graphiques des mesures géodésiques 1-D et 3-D. La visualisation des mesures 1-D s'effectue au travers d'un module spécifique (fig. 10). Celui-ci permet de combiner différents types de graphes :

- Déplacements relatifs à différents réflecteurs vus par la même station de mesure
- Déplacements relatifs à un même réflecteur vu par différentes stations de mesure
- Déplacements relatifs à différents réflecteurs vus par différentes stations de mesure

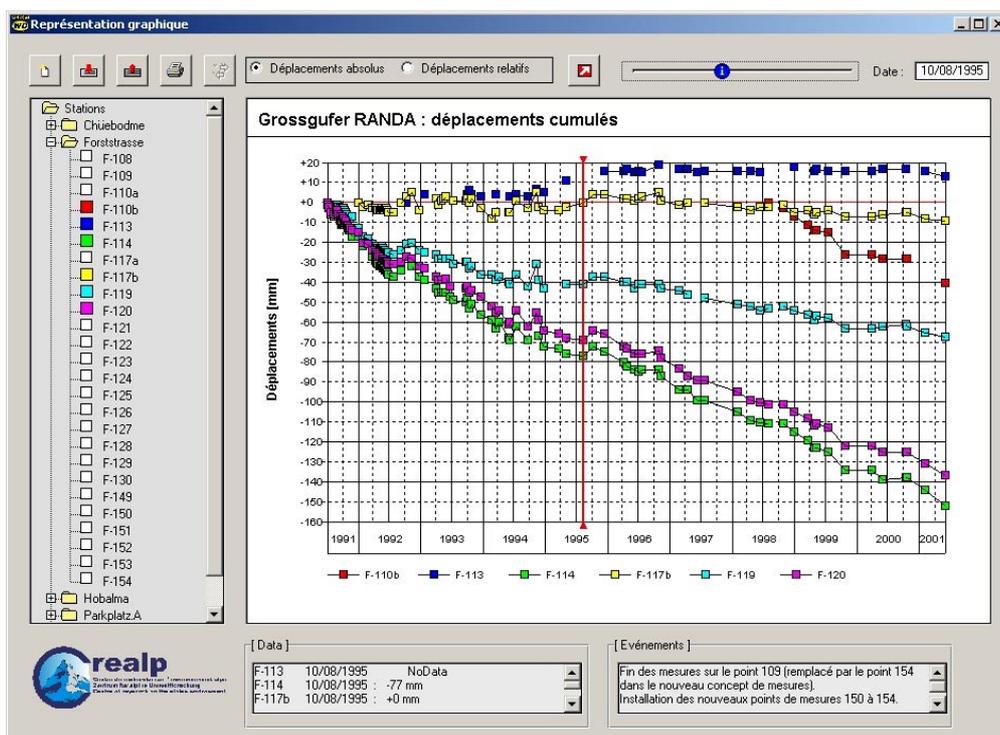


Figure 10 : module de représentation graphique des mesures géodésiques 1-D

Les déplacements peuvent être figurés en mode absolu ou relatif. Le système permet d'afficher en parallèle au graphe les informations relatives aux différents événements et/ou observations consignés dans la base de données (fig. 10). Outre les fonctions standard d'impression et d'exportation, le système offre également la possibilité de sauvegarder et de restaurer en l'état des vues graphiques prédéfinies. Les graphes ainsi stockés sont automatiquement réactualisés lors du chargement de la vue.

La visualisation des mesures 3-D s'effectue au travers de deux modes de représentations complémentaires :

- Projection en plan (fig. 11a) : dans ce type de représentation les positions spatiales (x_i, y_i, z_i) successives du réflecteur sont projetées dans les plans horizontal et vertical. Les déplacements dans chaque plan sont exprimés en valeurs relatives par rapport à une position et une altitude de référence (x_0, y_0, z_0) .
- Projection stéréographique (fig. 11b) : ce type de représentation fournit la projection polaire du vecteur de déplacement calculé entre la position courante d'un point et sa position de référence. Ce graphe permet de figurer pour chaque campagne de mesure l'azimut et le plongement du vecteur de déplacement associé à chaque réflecteur géodésique. Ce type de représentation permet également d'apprécier pour chaque campagne la résultante globale du mouvement.

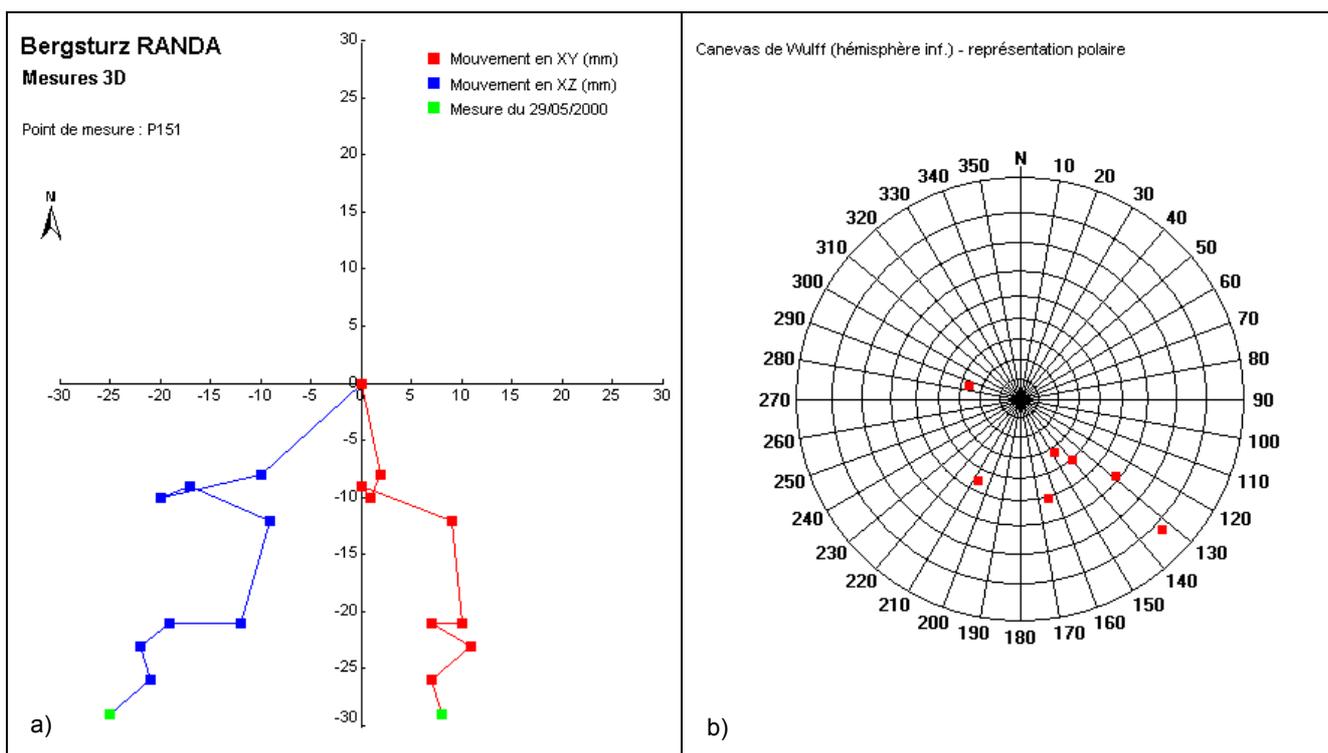


Figure 11 : Modes de représentations graphiques des mesures géodésiques 3-D disponibles dans l'application RandaDB : a) projection en plan, b) projection stéréographique.

5.2.4 Représentation cartographique des mesures

L'utilisation de la bibliothèque de composants géographiques MapObjects permet d'intégrer la dimension spatiale dans le système (fig. 12). La représentation cartographique 2-D des mouvements est réalisée au travers des fonctionnalités SIG associées à ces composants. Dans ce mode de consultation, l'accès aux informations de la base de données s'effectue au travers de cartes actives auxquelles sont associées des fonctions de navigation (zoom, panoramique, changement d'échelle), d'interrogation (identification des objets spatiaux), de symbolisation des données et de gestion des supports cartographiques (activation/désactivation des plans d'informations). Les déplacements sont figurés par un symbolisme propre à chaque type de mesures :

- Dans le cas des mesures 1-D, la représentation adoptée utilise un double symbolisme (fig. 12a) : symboles proportionnels pour exprimer la valeur du déplacement et codes de couleurs pour exprimer le mouvement relatif du point (○ rapprochement, ○ éloignement, ○ déplacement nul).
- Dans le cas des mesures 3-D, le vecteur de déplacement calculé en chaque point est figuré par ses composantes horizontale et verticale (fig. 12b). La composante horizontale (\rightarrow) donne l'azimut du mouvement. Son module est proportionnel au déplacement réel calculé dans le plan horizontal. La composante verticale (\downarrow) exprime le mouvement dans le plan vertical. Sa norme est proportionnelle au déplacement réel calculé.

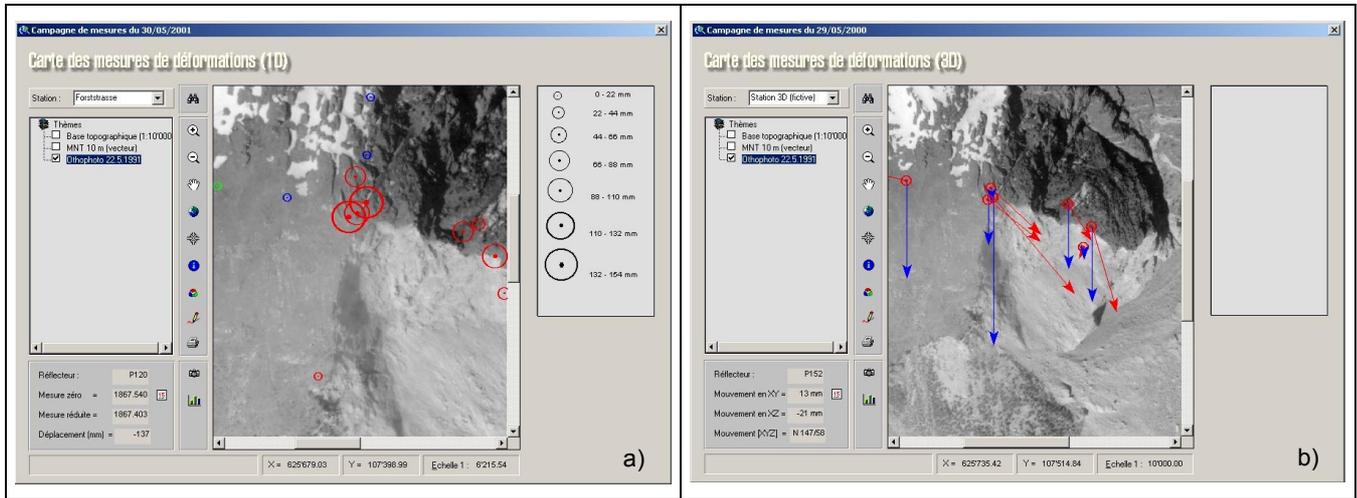


Figure 12 : Exemples de représentations cartographiques 2-D des mesures géodésiques 1-D (a) et 3-D (b).

Une fonction d'interrogation permet d'identifier de manière interactive les points de mesure directement à partir de la carte. Cette identification donne accès à un certain nombre d'informations afférentes au point sélectionné : valeur du mouvement mesuré pour la campagne courante, illustrations photographiques, graphe d'évolution des déplacements 1-D et/ou 3-D.

5.2.5 Analyses des données

Au stade actuel du développement, les outils d'analyse de données implémentés dans le système se limitent à des analyses de régression linéaires (fig. 13). La mise en œuvre de ce type d'analyse statistique poursuit différents buts : i) détection des comportements atypiques (outliers), ii) assurer la maintenance (i.e. vérification et correction) des données afin de garantir une analyse optimale des mouvements en s'affranchissant des erreurs de mesure systématiques et/ou ponctuelles iii) contrôler l'évolution des mouvements (homogénéité et variations des vitesses).

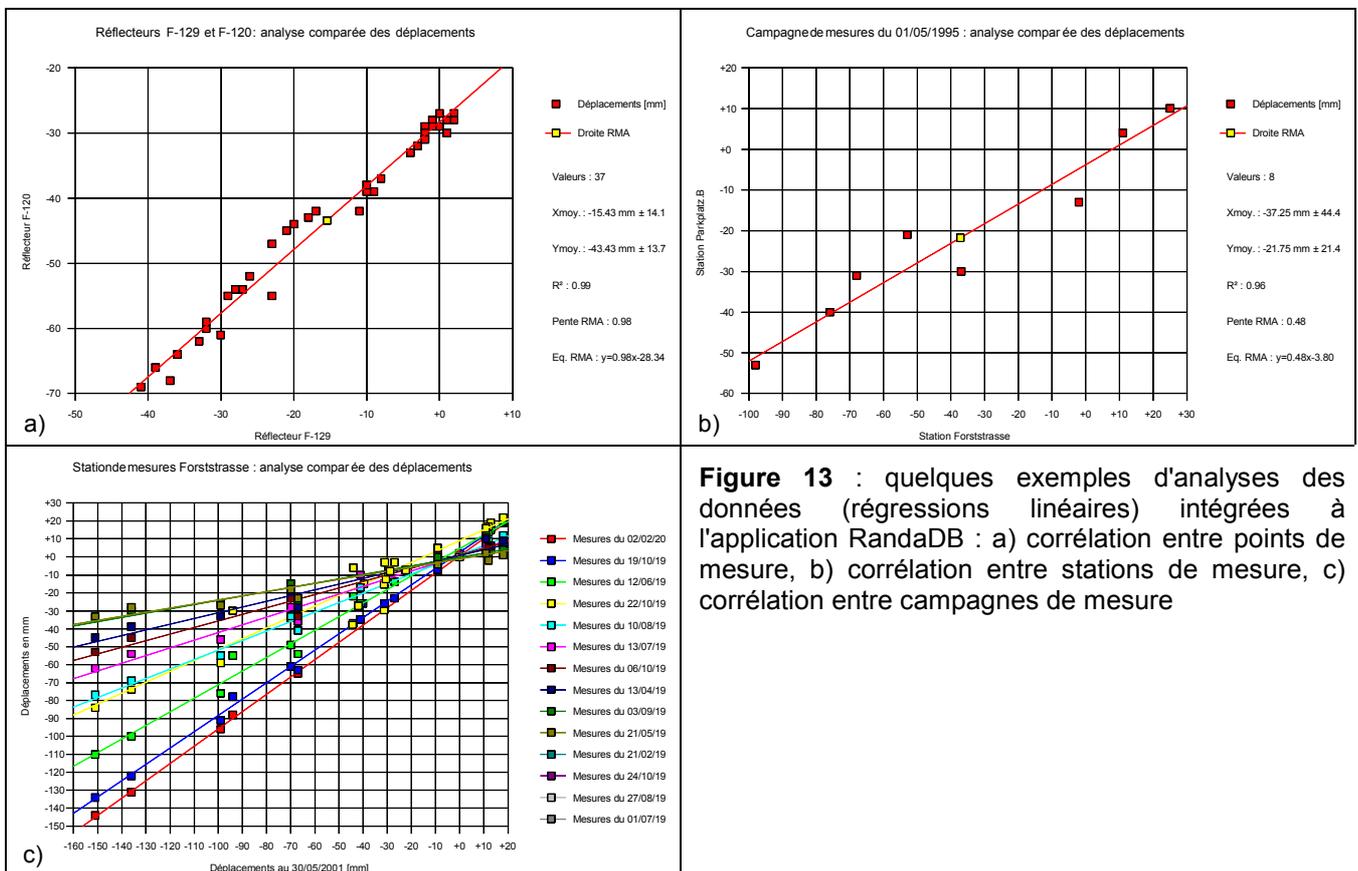


Figure 13 : quelques exemples d'analyses des données (régressions linéaires) intégrées à l'application RandaDB : a) corrélation entre points de mesure, b) corrélation entre stations de mesure, c) corrélation entre campagnes de mesure

6. Conclusions et perspectives futures

L'éboulement de Randa fournit un cas d'étude exceptionnel. Les données acquises depuis plus de 10 ans sur ce site constituent une somme de connaissances essentielle pour l'analyse du comportement du massif du Grossgugfer et pour la gestion du risque associé. Toutefois, Les difficultés d'interprétation des mesures géodésiques liées notamment aux conditions particulières de la prise de mesure et les coûts directs et indirects de la surveillance ont fait apparaître la nécessité de se doter d'un outil permettant i) d'assurer une meilleure gestion du monitoring (rationalisation des contrôles) ii) d'avoir un meilleur contrôle sur la qualité des mesures et observations effectuées afin de garantir une analyse optimale des données. L'application RandaDB actuellement développée par le CREALP doit permettre d'atteindre ces objectifs. Ce système permet d'assurer la maintenance de tout l'historique de mesures géodésiques. Outre des fonctions de gestion standards, il intègre des outils efficaces de représentations graphiques et cartographiques des mesures géodésiques 1-D et 3-D ainsi que des fonctionnalités d'analyse des données. Une attention particulière a par ailleurs été portée à la qualification des données ainsi qu'à la gestion de toutes les informations contextuelles pouvant documenter les mesures. Cette approche doit désormais garantir la qualité et l'intégrité des données analysées. Le CREALP poursuit le développement du système. Les évolutions futures prévoient notamment :

- La gestion des données connexes (mesures extensométriques, mesures météorologiques et données sismiques)
- L'intégration de modèles de prévisions simples (extrapolation des mouvements)
- L'application à d'autres cas d'études

Bibliographie :

[1] : Bearth, P., 1964, Feuille N°1328 Randa et notice explicative, Comm. Géol. Suisse.

[2] : Naturforschende Gesellschaft Oberwallis, 1995 : Der Bergsturz von Randa 1991. Eine Dokumentation

[3] : Rouiller, J.-D., 1992 : Eboulement de Randa. Strasse und Verkehr Nr.5, 373-376

Adresse de l'auteur :

Pascal Ornstein
Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP)
Rue de l'industrie, 45
CH-1951 Sion

Tél. +41 27 324 03 80

Fax +41 27 322 55 67

Mail pascal.ornstein@crealp.vs.ch

Web www.crealp.ch