

Apport des méthodes topographiques et topométriques au suivi du versant rocheux instable des ruines de Séchilienne

■ Jean Paul DURANTHON, Laurent EFFENDIANTZ (CETE Bron)
Michel MEMIER, Ilario PREVITALI (Sintegra)

Le versant rocheux de Séchilienne, localisé dans la basse vallée de la Romanche, entre les villes de Vizille et Bourg d'Oisans près de Grenoble, est l'un des plus grands phénomènes instables actuellement recensés dans les Alpes françaises. Depuis 1985, la surveillance de cet aléa majeur fait appel à une large gamme de techniques topographiques et topométriques. L'importance des enjeux a également conduit à développer les aspects organisation et fiabilité de la gestion du dispositif de télésurveillance.

Dès les premières manifestations de la réactivation du mouvement de versant des Ruines de Séchilienne, l'importance des enjeux notamment liés à la sécurité de la population du bassin de la Basse Romanche et à la protection de la RN91 qui dessert les stations de ski de l'Oisans a conduit à mettre en place une surveillance du site.

En parallèle aux investigations de terrain et aux reconnaissances géologiques, le dispositif de surveillance initial a été progressivement complété au fur et à mesure de l'évolution spatiale et cinématique du phénomène. Ce dispositif, outre son aspect déterminant pour la caractérisation du phénomène s'avère crucial pour la détection et la gestion opérationnelle de la prévention du risque menaçant l'activité humaine.

Indépendamment de la présentation des techniques topographiques et topométriques mises en œuvre sur le site, une large part a été accordée à la présentation des aspects organisation des systèmes, transmission, interprétation et valorisation des données collectées.

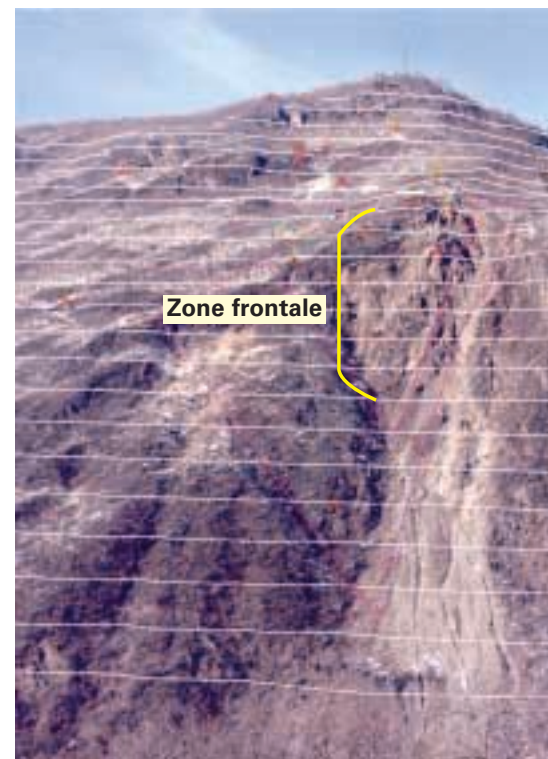
Le site des Ruines de Séchilienne

Géographiquement, le versant instable des Ruines de Séchilienne se situe à environ 20 km au sud de Grenoble. Il surplombe la rivière de la Romanche et la RN91 qui dessert Bourg d'Oisans et Briançon par le col du Lautaret.

Du point de vue géologique, il fait partie du rameau externe de la chaîne du massif cristallin de Belledonne résultant du métamorphisme d'une ancienne formation sédimentaire. Deux accidents majeurs de direction N20°E encadrent cette unité : à l'est, le synclinal médian et à l'Ouest l'accident de Vizille.

Le pied du versant n'a pas connu de phénomène d'obturation naturelle du lit de la Romanche à l'instar d'autres secteurs de la vallée entre le XII^e et le XX^e siècle. L'examen des archives a cependant mis en évidence des chutes récurrentes de gros blocs à la fréquence approximative d'une fois par siècle.

Les dimensions impressionnantes de ce versant, de l'ordre de 1 500 m de large sur près de 750 m de dénivelée, font craindre un éboulement en grande masse pouvant correspondre à diffé-



Le site des Ruines de Séchilienne vu depuis l'observatoire de Montfalcon

rents scénarios dont le plus petit a été évalué à 4 millions de m³.

Premières actions conservatoires

Dès 1980, des mesures de protection de la RN91 ont été prises (fosse de réception et digue de matériaux).

■ ■ ■ En 1985, suite à des éboulements dépassant la capacité de ce dispositif de protection des études ont montré qu'il ne s'agissait pas d'un processus banal d'altération superficielle, mais que leur origine était liée à un processus de déstabilisation profond d'une partie du versant.

En mars, les constatations effectuées dans le versant ont conduit à mettre immédiatement en place une surveillance visuelle permanente avec commande d'interruption de la circulation au moyen de feux rouges

Dès 1986, la protection de la RN91 et la garantie de la permanence de l'écoulement des eaux de la Romanche en cas d'éboulement en grande masse ont conduit à réaliser d'importants travaux (mur en blocs de béton couronné de filets détecteurs, chenal de dérivation et deux ouvrages provisoires de franchissement de la Romanche, itinéraire de déviation de la RN91..).

En 1996, afin de valider les hypothèses de comportement mécanique du massif et tenter de localiser la surface de rupture arrière du volume en mouvement, une galerie de reconnaissance de 240m de longueur, implantée à la cote 710, a été creusée. Seul le premier objectif a pu être atteint.

Etude du phénomène et dispositifs de mesure destinés à la surveillance

En parallèle aux premiers travaux conservatoires ont été entreprises des études géologiques et le versant a été ensuite progressivement équipé de dispositifs de mesure permettant d'assurer une surveillance continue des mouvements.

A la nécessité de déterminer le contour de l'aléa à l'origine des désordres s'est ajoutée la préoccupation de détection de déclenchement d'un mouvement de grande ampleur.

Terminologie retenue : L'importance des enjeux a justifié le recours à plusieurs niveaux de surveillance. (ROCHET 1992).

Une première phase de Mise en observation a consisté à mettre en évidence, à l'échelle humaine, l'instabilité du site à l'aide d'observations qualitatives ou quantitatives (photos/indices ou repères naturels..). L'évolution du phénomène d'instabilité a ensuite été caractérisée par un Suivi et une Auscultation, consistant en un examen périodique du site et un recueil de données.

Après la prise de conscience de l'existence d'un phénomène de grande ampleur, un système de Surveillance dédié à un objectif de gestion de la

sécurité s'est finalement imposé. Il repose sur la collecte, l'exploitation et l'interprétation périodiques de données qualitatives et quantitatives.

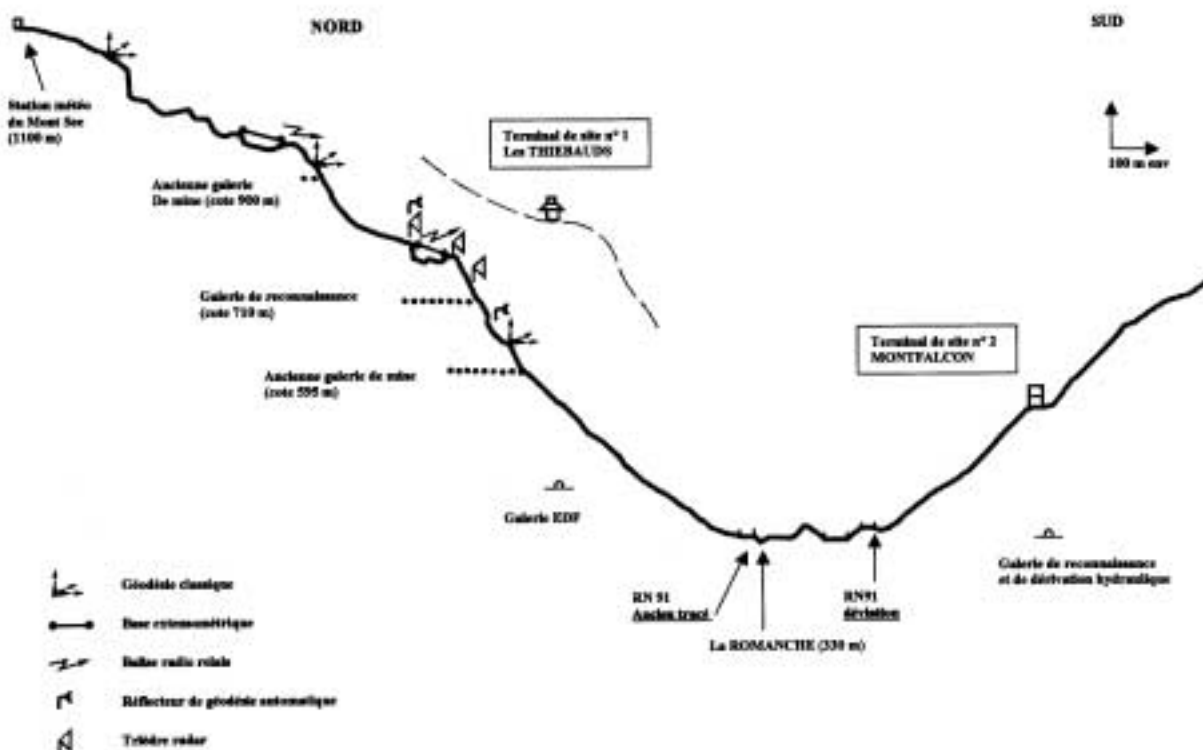
Dans le cadre d'un Plan de Secours, la Détection de situations de crise correspondant à des scénarios pré-définis est ensuite possible.

■ Description

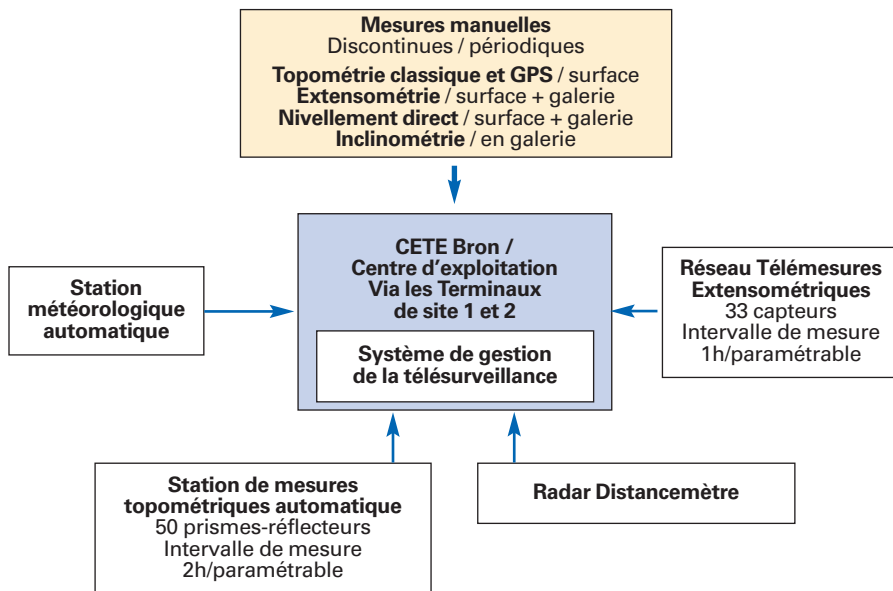
Mesures topométriques manuelles et automatiques

Dans un premier temps, en 1985, la mise en place d'un dispositif de mesures manuelles et périodiques destinées à caractériser l'évolution du phénomène par la quantification des mouvements de surface a été décidée.

- **Périodicité :** 1 fois par an variable selon l'ampleur des mouvements
- **Méthodologie :** Mesures de triangulation et de trilatération
- **Réseau observé :** 48 sphères ou repères observés à partir de 5 piliers d'observation rattachés à 3 points d'appui primaires.
- **Instruments utilisés :** Tachéomètres Leica T2002 et TC2002
- **Précisions :** Emq de 5 à 10 mm en XY et 15 à 20 mm en Z



Dispositifs de mesure du système de surveillance / Organigramme



A partir de 1995, le positionnement GPS fut mis en œuvre. Les contraintes liées aux dimensions du site et à sa configuration rendaient difficiles et imprécises les mesures classiques sur le réseau de piliers. De plus, il a permis de créer et de positionner des repères de surveillance supplémentaires située dans des zones masquées par rapport aux piliers d'observation.

- **Méthodologie** : Sessions de 60 mn adaptées au mode statique
- **Réseau observé** : 5 piliers et 16 repères supplémentaires
- **Récepteurs utilisés** : Ashtech bifréquence ZXII
- **Précisions obtenues** : Emq de 5 à 10 mm en XY et 5 à 15 mm en Z

Dans un second temps, un dispositif de mesures topométriques automatiques destinées à fournir des données périodiques beaucoup plus rapprochées adaptées à la gestion de la sécurité, en période de crise, fut jugé nécessaire. Ce système fonctionnant en télésurveillance assure le pilotage des mesures tachéométriques, leur transmission vers le centre de traitement du CETE de Bron et leur post-traitement. Depuis juillet 1996, une station de géodésie automatique de type LEICA TM 3000D, est implantée en face du versant instable dans le terminal de site du MONTFALCON (R.D 113).

Le théodolite motorisé, piloté par le logiciel APSWin, est associé à un distancemètre "longues distances" Leica DI3000S (Laser / infrarouge, 0.860 µm)

Périodiquement, toutes les 2 heures, un cycle de mesures sur les 54 prismes-réfecteurs répartis dans le versant instable est enregistré. La périodicité des mesures est paramétrable. Les cibles couvrent largement le site, surtout en partie basse du versant. Il complète le réseau de capteurs extensométriques, peu étendu et tributaire de la proximité des balises radios.

La géodésie automatique présente l'avantage de donner une vision d'ensemble des déplacements du versant. Il convient toutefois de signaler l'inconvénient de ce dispositif qui devient inopérant en cas de pluie, de neige, de brouillard ou de nuages bas.

Dans cette configuration, ce sont les capteurs extensométriques qui assurent seuls la continuité de la surveillance (avec depuis quelques mois les mesures radar pour les zones les plus actives). Compte tenu de l'imprécision des mesures angulaires, seules les distances (corrigées des effets météorologiques à l'aide de mesures réalisées sur des repères stables) sont utilisées.

Précision obtenue : 3 à 4 mm

Mesures extensométriques manuelles

Depuis 1985, des mesures manuelles sont réalisées périodiquement en surface et dans la galerie de reconnaissance.

Type de matériel utilisé : Distancemètre LRPC type DO orientable à fil Invar, repères DO scellés à demeure.



Réseau de surface : validation et complément des systèmes automatiques

- Dispositifs disposés en cavalier sur les fractures et crevasses,
- Nombre de bases équipées : 49,
- Fréquence des mesures : 3 mois (et à la demande),
- Type de renseignement obtenu : évolution de l'ouverture de fractures ou crevasses (mouvement relatif).

Réseau en galerie :

- 24 bases dans la galerie 710 (galerie de reconnaissance)
- 24 bases dans la galerie 595 (ancienne galerie de mine)
- 8 bases dans la galerie 900 (ancienne galerie de mine)
- Fréquence des mesures : trimestrielle (et à la demande).

En galerie les repères de type DO sont utilisés pour l'extensométrie et la topographie de manière à coupler les deux informations.

Télésures extensométriques

Depuis 1988, il assure le suivi permanent de 33 capteurs placés sur les principales fractures du site. Il représente la forme automatisée du système de mesure manuelle DO décrit précédemment. Les bases automatiques sont d'ailleurs systématiquement doublées de bases manuelles (33 des 49 bases du dispositif DO) permettant le recalage et la continuité des mesures en cas d'intervention de maintenance.

■ ■ ■ Cinq "grappes" de capteurs sont reliés par voie filaire à cinq balises radio alimentées en énergie par des cellules photovoltaïques qui assurent des liaisons bidirectionnelles avec le terminal du site du hameau des Thiebauds.

Fréquence des mesures : 1 heure (paramétrable).

Mesures inclinométriques en galerie

Depuis mars 1998, 2 inclinomètres (dits de BLUM) à silice sont implantés dans la galerie, ils renseignent sur le basculement des éléments constituant le massif

Fréquence des mesures : paramétrable, acquisition des mesures actuellement toutes les 60 minutes et récupération de celles-ci mensuellement et à la demande

Mesures micro-ondes radar

Un radar distancemètre développé par l'ONERA a été installé en décembre 1999 au terminal de site de Montfalcon. Ce système suit par tout temps une vingtaine de repères disposés sur les points les plus représentatifs du versant. Ce matériel fait partie intégrante du système de télésurveillance du site depuis 2001. Pour des distances relativement courtes de quelques kilomètres, la propagation des ondes radar est relativement peu affectée par les conditions météorologiques, car les longueurs d'ondes utilisées sont généralement grandes devant la taille des hydrométéores : c'est là l'avantage principal du radar par rapport aux techniques optiques.



Les radars ont par nature des capacités pour les mesures de distances. Ces appareils effectuent fondamentalement des mesures de retard de propagation qui sont ensuite converties en distance. La résolution en distance dépend de la largeur de bande émise.

Des marqueurs passifs sont disposés sur le site pour identifier les points surveillés. Ce sont des trièdres réflecteurs de 40 cm d'arête qui génèrent des échos puissants, bien contrastés par rapport aux signaux rétro-diffusés par la scène naturelle.

La précision des mesures est excellente (meilleure que 0.4 ppm sur les distances considérées de l'ordre du kilomètre). Ce dispositif permet de s'affranchir des périodes aveugles, dues à de mauvaises conditions météorologiques, afin de suivre les déplacements de réflecteurs trièdres implantés dans le versant instable.

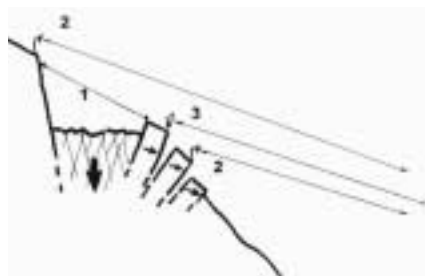
Fréquence des mesures : toutes les 20 secondes moyennées au pas horaire.

■ Association et corrélation des différents dispositifs de mesures

Le couplage des dispositifs tel qu'il a été conçu au niveau de la matérialisation du support des systèmes-réflecteurs (voir figure ci-dessus à droite) permet une corrélation entre les différents vecteurs-déplacements observés.

■ Adaptation du dispositif à l'évolution du phénomène

Depuis l'origine du suivi en 1985, l'équipement du site a été progressivement renforcé pour reconnaître les contours exacts et le détail de la cinématique de la zone en mouvement.



- 1 – Base d'extensométrie
- 2 – Mesure distancemètre électromagnétique sur prisme-réflecteur
- 3 – Mesure radar sur trièdre métallique



A partir de 1996, de nouvelles fissures du terrain et des chutes de blocs se sont manifestées à l'ouest de la partie la plus active. Ces constatations ont conduit à équiper en 1997 ce secteur d'un repère de géodésie classique à titre exploratoire. Ce point ayant révélé une rapide mise en vitesse (de quelques cm à quelques dcm par an), les alentours ont été équipés en mai 2000 de 6 capteurs extensométriques reliés à une nouvelle balise radio. Trois de ces capteurs ont confirmé la récente activation du secteur avec des vitesses d'ouverture de fissures qui atteignent actuellement 10 à 40 cm par an.

En avril 2001, huit réflecteurs géodésiques complémentaires ont été implantés sur les marges ouest et nord de la zone frontale et intégrés au dispositif de géodésie automatique. En liaison avec les critères de terrain, les données topométriques issues de ces nouveaux repères permettent d'ores et déjà d'appréhender des changements dans l'extension et la géométrie du secteur le plus rapide.

■ Documents topographiques et photographiques

Les différentes études portant sur le site ont rapidement nécessité la réalisation de documents topographiques destinés à constituer des supports graphiques et fournir des informations de type cartographiques (MNT/cubatures/profils trajectographiques...).

Compte tenu des contraintes liées au site (dimensions et configuration), la méthode photogrammétrique s'est impo-

DOCUMENTS TOPOGRAPHIQUES

Plans photogrammétriques au 1/5000 et 1/2000

- Représentation fiable du terrain
- MNT
- Report et visualisation des mouvements mesurés
- Position des équipements
- Support pour études spécifiques et communication

DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES

Clichés stéréoscopiques aériens Clichés terrestres

- Position des équipements
- Support pour études spécifiques et communication



Local de mesures situé à Montfalcon

sée pour l'élaboration de plans topographiques, malgré le fort couvert végétal. Une première campagne de prise de vues aériennes au 1/8000 a permis de produire un plan d'ensemble au 1/2000. Périodiquement, des prises de vues par avion ou par hélicoptère sont effectuées afin de disposer de documents photographiques à jour du site (archivage et actualisation de la morphologie de surface)

Le système de gestion de la télésurveillance

Les exigences spécifiques à la gestion du site ont justifié depuis l'origine de sa mise sous surveillance le recours à des développements logiciels spécifiques réalisés en interne au CETE de Lyon II y a une quinzaine d'années, ces types d'outils en étaient encore au stade des balbutiements. La quantité et la variété des dispositifs d'acquisition mis en œuvre sur le terrain (bases extensométriques, cibles géodésiques, trièdres radar, sondes de température, etc..) ont progressivement fait émerger le besoin d'un outil moderne capable d'assurer une gestion structurée de l'ensemble des fonctions de la télésurveillance. Les notions de gestion de proximité avec deux Terminaux de Site déportés implantés à proximité immédiate du versant instrumenté (Les Thiébauds et Montfalcon) et de gestion à distance avec le Centre d'Exploitation de Bron,

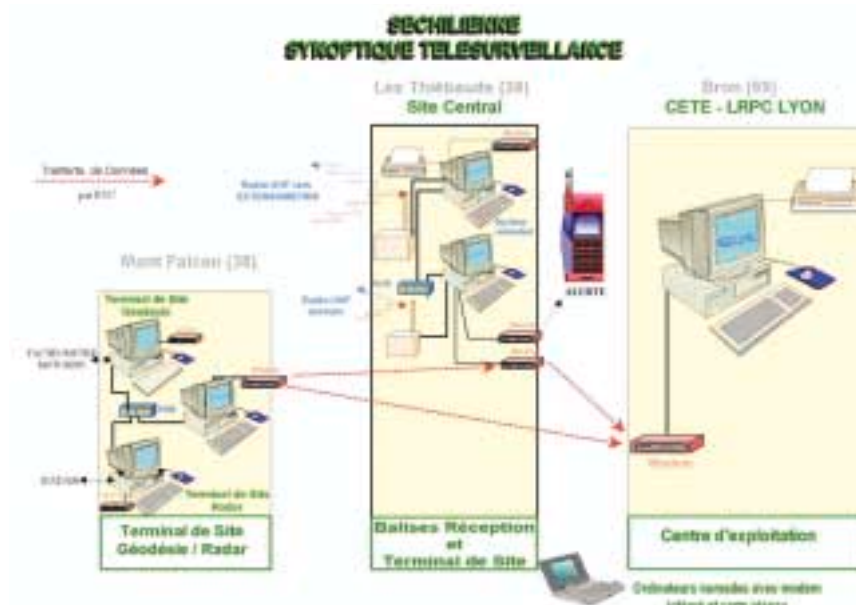
ont été reprises dans l'architecture du nouvel outil GeSSRI (Gestion de la Surveillance des Sites Rocheux Instables) mis en place en 1999.

Sont particulièrement concernés :

- au niveau gestion de proximité : le pilotage des acquisitions (paramétrage des capteurs, pas d'acquisition, contrôle des systèmes), la retransmission des informations vers le Centre d'Exploitation (pilotage et sécurisation des liaisons) ;
- au niveau gestion à distance : la mise à disposition des données (archivage, mise en forme "accessible"), la délivrance automatique d'alertes sur dépassement de seuils à destination

de la structure technique chargée du suivi du site.

Pour ce qui concerne l'extensométrie automatique, le contexte vaste et escarpé du versant ne permettant pas des liaisons filaires, il a été mis en œuvre une alimentation en énergie autonome de type photovoltaïque et des transmissions radio par balises de faible puissance disposées en relais vers le Terminal de Site des Thiébauds. Ce point particulier est symptomatique des difficultés et particularités qui ont dû être reprises dans la conception de GeSSRI. Une gestion en réseau du noyau commun aux dispositifs de mesure permet la centralisation des données.



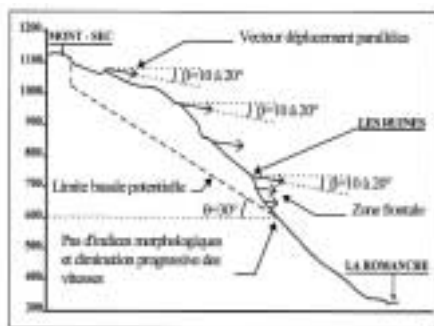
Le but final est d'archiver les données réelles et calculées ainsi que de créer des courbes de prévision et d'évolution permettant de prévenir avec quelques heures ou jours d'avance une accélération des mouvements laissant supposer l'imminence d'un éroulement en masse et d'en prévenir les effets. En terme de transfert de données et de communication, il a été choisi d'utiliser des modems sur le Réseau Téléphonique Commuté (RTC). La solution est tout d'abord implémentée sur le site des Thiebauts. Il est équipé de deux PC redondants et interroge les autres applications pour centraliser les données et les transmettre via un modem RTC vers le centre d'exploitation des massifs rocheux instables du CETE de Lyon. En cas de crise, ce site a la capacité d'accueil nécessaire et permet d'effectuer toutes les manipulations nécessaires pour permettre de suivre les évolutions des données et des prévisions en temps réel sur toute l'installation (Thiebauts et Mont Falcon).

Utilisation et valorisation des données

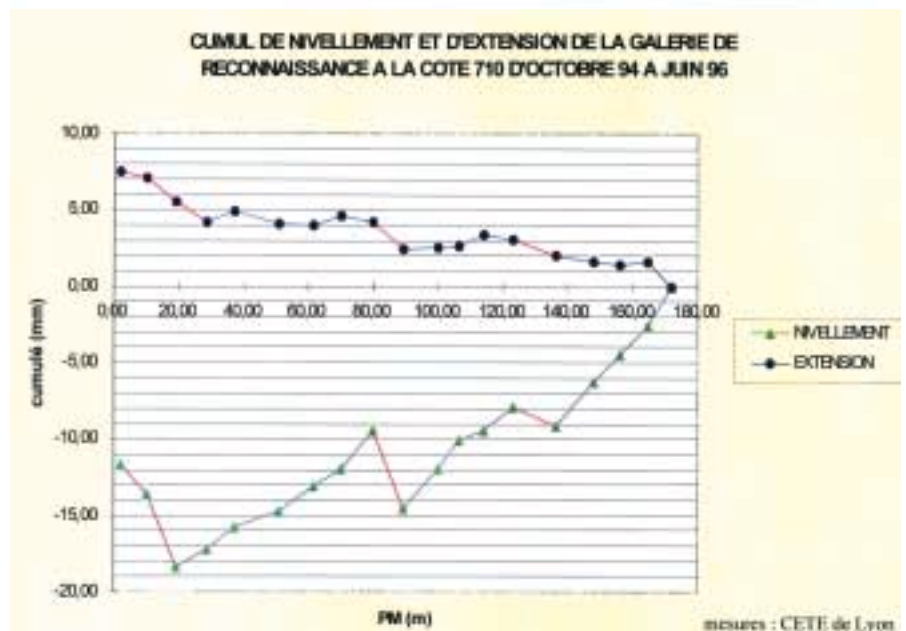
Afin d'améliorer la connaissance du phénomène et de permettre la production de critères de détection et d'actualisation, les données font l'objet de traitements spécifiques

tels que :

- Etablissement de modèles analytiques
- Calculs de volumes à partir du MNT
- Etablissement de cartes iso-cinétiques, visualisation des évolutions
- Courbes d'évolution, tendances



Schématisation du comportement cinématique du versant des Ruines



Modélisation des déformations des 170 premiers mètres de la galerie de reconnaissance située à 710 m

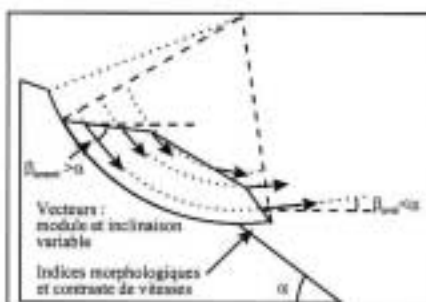
Amélioration de la connaissance du phénomène

Reconnaissance dans le massif

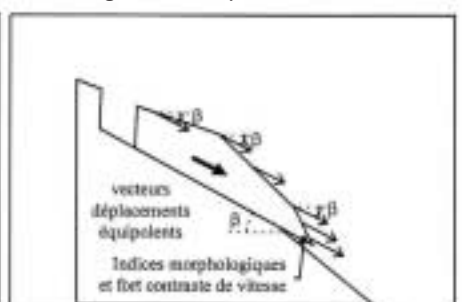
Dans la galerie de reconnaissance destinée à la validation des hypothèses de comportement mécanique du massif et à la localisation de la surface de rupture, un dispositif de mesures manuelles

périodiques (extensométrie, nivellement direct et d'inclinométrie) fournit des renseignements à la fois qualitatifs (sur la structure géologique..) et quantitatifs (déformations de la galerie..). A partir des déformations observées, une modélisation est élaborée et permet d'en déduire une cinématique.

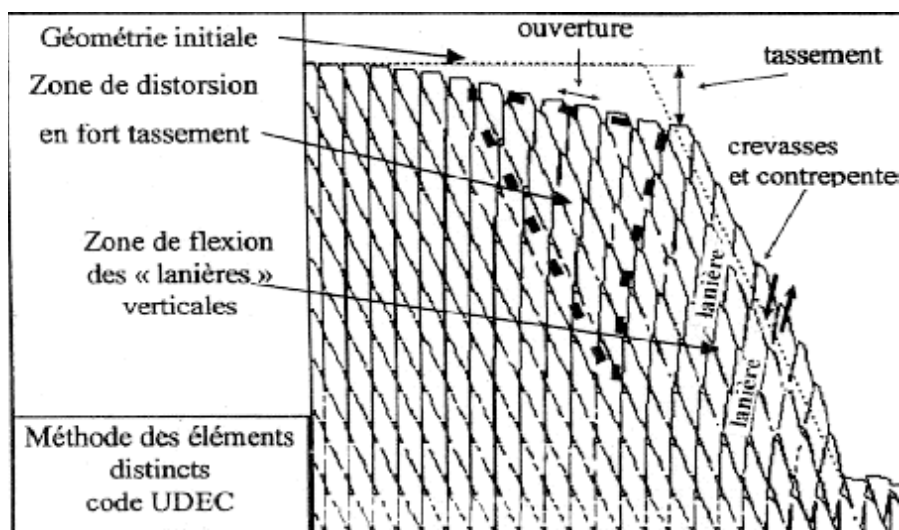
Modèle de rotation



Modèle glissement plan

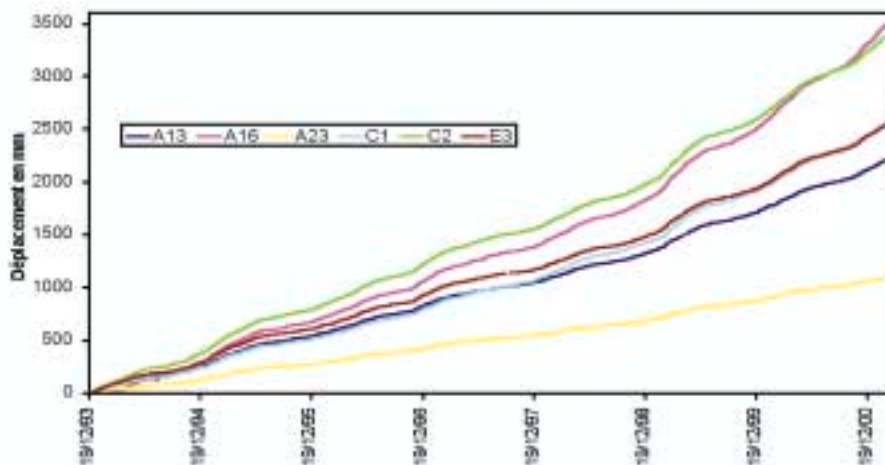


Passage en revue de modèles classiques non pertinents et non retenus



Modèle de "rupture interne" retenu

■ Production de critères de détection et d'actualisation



Capteurs extensométriques rattachés à la balise 3
EVOLUTION DES DEPLACEMENTS DEPUIS 1993

MODÈLES ANALYTIQUES

- **Topographie : Etude structurale**
> Modèle géométrique
- **Données topométriques / mesures**
> Modèle cinématique (zonage)
> Modèle de déformation (rupture)

■ Corrélations hydrométéorologiques

Une station météo automatique équipée d'un télénivomètre a été implantée en 1993 au sommet du Mont Sec (cote NGF 1120).

Cette station gérée par E.D.F. permet de disposer des valeurs d'infiltrations d'eau dans le massif (pluie tombée et neige fondue).

Surveillance et gestion opérationnelle du site

La gestion de la sécurité passe par une connaissance constamment réactualisée du niveau d'activité du phénomène. Des seuils de prise en compte des vitesses et accélérations sont déterminés en référence à des situations types. Le logiciel de gestion du suivi délivre des alertes téléphoniques aux personnels de permanence sur franchissement de ces seuils. Le passage en contexte de pré-crise, puis de crise font l'objet de procédures affichées au Plan de Secours.

Conclusions

L'évolution des techniques de mesures et de transmission des données mises

au service de la surveillance de sites naturels instables comme celui des Ruines de Séchilienne contribue à améliorer la gestion du risque dans les contextes présentant des enjeux socio-économiques importants.

Ces techniques se révèlent également indispensables pour améliorer la compréhension et le diagnostic de tels phénomènes très complexes à modéliser. La topométrie et la topographie, associées aux disciplines chargées de compléter et d'interpréter les données qu'elles fournissent, constituent toujours les principales sources d'informations des déplacements de surface permettant d'étudier la cinématique d'un versant instable de grande ampleur.

L'application du positionnement GPS et la robotisation des tachéomètres électroniques ont particulièrement fait évoluer le dispositif général de suivi. Le radar distancemètre présente des perspectives très intéressantes, autant du point de vue de la précision que du point de vue de la complémentarité par rapport aux autres dispositifs de mesures topométriques classiques ne permettant pas de fournir des données par mauvaises conditions météorologiques. La sophistication des systèmes de télésurveillance dédiés au suivi en continu des déformations ainsi qu'à la gestion de la sécurité rend ceux-ci plus performants. La nécessité d'un pilotage centralisé de ces matériels complexes a justifié la mise au point d'un nouvel outil informatique. ●

Bibliographie

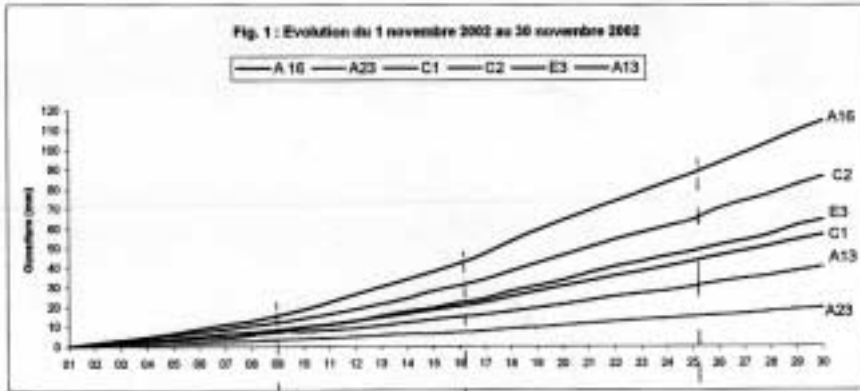
P.ANTOINE - P.CAMPOROTA - A.GIRAUD - L.ROCHET *La menace d'éboulement aux Ruines de Séchilienne*. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n° 150-151 - 1987 p.55-64

H.EVRARD - T.GOUIN - A.BENOIT - JP.DURANTHON *Séchilienne Risques majeurs d'éboulement en masse Point sur la surveillance du site* Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n° 165- 1990 p.7-16

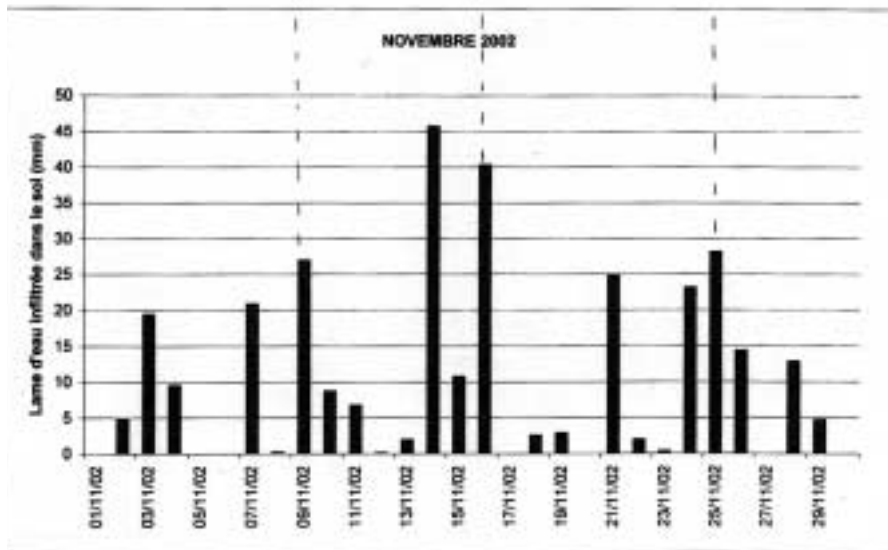
Les ruines de Séchilienne. *Relation entre les données météorologiques et l'instabilité de versant*. Rapport de stage.LRL - Septembre 1994

ROCHET - GIRAUD - ANTOINE - EVRARD *La déformation du versant sud du Mont* ■■■

SITE DES RUINES DE SÉCHILIENNE
EVOLUTION DES MESURES EXTENSOMETRIQUES



SITE DES RUINES DE SÉCHILIENNE
LAME D'EAU INFILTREE DANS LE SOL



■ ■ ■ Sec dans le secteur des Ruines de Séchilienne. (Isère) - Ass. Int. Géol. de l'Ing.- n°50 Oct.94.

L.ROCHET Zone instable des Ruines de Séchilienne. Etude du risque d'éboulement en grande masse Rapport CETE de Lyon Mars 1998

Modélisation CETE de Lyon LRPC Rhône Alpes - mars 1998

I. PREVITALI / P.LASSIAZ - Campagnes de mesures périodiques classiques et GPS - SINTEGRA

L.EFFENDIANTZ - JP.DURANTHON - CETE de Lyon LRPC Rhône Alpes - Point des mesures de suivi et de surveillance du site 1985/31mars 2002

JM.VENGEON Déformation et rupture des versants en terrain métamorphique anisotrope. Apport de l'étude des Ruines de Séchilienne. Thèse de l'Université J.Fourrier Grenoble I 1998

C.CAUQUOT - L.EFFENDIANTZ - S.GUILLOT Galerie hydraulique et de reconnaissance géologique de Séchilienne. Rapport géologique. CETE de Lyon - LRPC Rhône Alpes, Université Lyon I - CNRS - Laboratoire de dynamique de la lithosphère LRL - 2000

M.PANET - C.BONNARD - P.LUNARDI - M.PRESBITERO Expertise relative aux risques d'éboulement du versant des Ruines de Séchilienne. Rapport du collège d'experts - Déc.2000

P.POTERAT - P.ALPHONSI Les mouvements de versant de Séchilienne (Isère) Prise en compte de l'héritage structural pour leur simulation numérique Rev. Fran. Géotech. n°95/96 2°/3° trim. 2001 p.117-131

ABSTRACT

The rocky landslide of Séchilienne located in the lower course of the Romanche valley between the towns of Vizille and Bourg d'Oisans near Grenoble is one of the biggest actually known in the French Alps. Since 1985, this hazard has been monitored with a large range of topographical and field measurement techniques. The importance of the safety aspects has also led to develop the management and reliability sides of the whole monitoring process.

