

## Néotectonique et grands mouvements de versant. Le cas de Séchilienne (Isère, France)

### Large-scale Neotectonic slope movements: a case study from Séchilienne (Isère, France)

Pierre Pothérat · Laurent Effendiantz

Received: 29 February 2008 / Accepted: 16 June 2009 / Published online: 28 July 2009  
© Springer-Verlag 2009

**Résumé** Les mouvements de versant observés à Séchilienne, dont les vitesses sont globalement dépendantes de la pluviométrie, sont essentiellement dus à la décompression du massif rocheux responsable de l'ouverture de discontinuités héritées d'une histoire tectonique régionale complexe. Il arrive cependant que des accélérations se produisent indépendamment du taux de précipitations mesuré. L'analyse détaillée d'une de ces anomalies de comportement, enregistrée en février 1999, a permis de soupçonner l'implication du séisme de Laffrey du 11 janvier 1999. La sollicitation mécanique provoquée par ce séisme, dont l'épicentre n'était distant du massif instable que de quatre kilomètres, pourrait également être à l'origine du changement pérenne du régime du mouvement à partir de cette date. Les indices de néotectonique dans la vallée de la Romanche, tels que le pull-apart de Séchilienne, à remplissage quaternaire, et les éboulements récurrents sur la faille de la Romanche, qui passe en pied de versant, avaient déjà permis d'envisager un rôle partiel de l'activité sismique dans le déclenchement ou l'accentuation des instabilités observées.

**Mots clé** Versant instable · Faille · Sismicité · Néotectonique · Pluviométrie · Accélérations

**Abstract** In a homogeneous fracture massif, the release of stress related to the last glacial melting induces the opening of fractures inherited from the tectonic history of the rock mass. In some cases subsidence, similar to sagging

from uphill facing scarps, occurs. The mechanism can be briefly described as bending of huge rock blades towards the valley, known as cambering. Nowadays the movements are due to climatic phenomena (rains, snow melting, frost, thaw, huge thermal difference) or mechanical ones such as seismic vibrations, the influence of which is generally more difficult to identify. The Séchilienne slope movement is located on the right bank of the river Romanche, about 20 km upstream of Grenoble, in the district of Isère, south east France, and is representative of this kind of phenomenon. This unstable slope has been affected by recurrent rock falls which, according to old records, were already mentioned in the eighteenth century. The rock mass is made of micaschist and psamites of early Palaeozoic age, belong to the external Belledonne alpine range which is still moving up at a rate of a few millimeters per year. As the terrain has had a long and complex geological history, characterized by five tectonic periods, the hazard geometry and slope movement directions are mainly controlled by faults associated with this succession of structural events. Of particular importance is a regional fault called the "faille de la Romanche" which is some 20 km long and extends from Séchilienne westwards to the Vercors limestone ridge and eastwards through the Taillefer massif to reach the Liassic terrain of the Oisans massif near the village of Ornon. This fault is located at the foot of the unstable slope. There are several arguments in favour of a recent movement of the Romanche fault. The first is linked to some regional geomorphological features such as the lozenge shape of the Romanche valley in the Séchilienne area. This feature resembles a pull-apart basin, bordered on the north and south by the Romanche fault and filled with more than 200 m of Quaternary alluvial sediments. In addition, since 1960 eleven earthquakes have affected the villages of Vizille and Séchilienne. One of these, the

P. Pothérat (✉) · L. Effendiantz  
CETE de Lyon, 25 avenue François Mitterrand,  
69500 Bron Cedex, France  
e-mail: pierre.potherat@developpement-durable.gouv.fr

Laffrey earthquake (11 January 1999), had a magnitude of 3.5 with an epicenter located only 4 km south of the Séchilienne site. The monitoring devices installed on the slope allow an accurate analysis of the widespread displacements which occur in the area. The analysis has led to the establishment of the influence of the local seismicity on the observed movements. Slope displacements measured since 1985 have shown important speed variations between winter and summer and a progressive long term acceleration. A detailed analysis of the daily measurements shows an increase in the displacements from 29 January to 11 February 1999 without any associated rainfall. Moreover, a systematic examination of the successive slope accelerations related to meteoric water supply has shown that, since the 1999 Laffrey earthquake, the acceleration occurred with only a short delay of less than 24 h after the beginning of heavy rainfall compared with the delay of several days which was common before the 1999 earthquake.

**Keywords** Moving slope · Fault · Seismicity · Neotectonic · Rain · Accelerations

## Introduction

Les chutes de blocs de différentes tailles, issus du démantèlement de falaises rocheuses plus ou moins imposantes, sont les manifestations les plus courantes des mouvements de terrain en milieu rocheux. Les éboulements en masse, moins fréquents, n'en sont pas moins préoccupants au regard de leurs conséquences souvent dramatiques pour les populations, les infrastructures et les biens concernés.

Habituellement considérés comme le résultat de la dégradation lente d'un massif rocheux, ces phénomènes peuvent aussi être attribués, en partie, à l'effet des contraintes tectoniques actuelles ou récentes (néotectonique).

Les contraintes tectoniques sont liées au processus de la tectonique des plaques (subduction, accréation, obduction) dont séismes et volcans sont des manifestations spectaculaires.

En France, la surrection des Alpes occidentales provient de la convergence entre les plaques eurasiatique et africaine, plus précisément de la collision entre l'Europe et l'ensemble italo-dinarique, éperon avancé du continent africain. Cette convergence se fait, depuis plusieurs dizaines de millions d'années, du sud vers le nord, à une vitesse de l'ordre du centimètre par an en Méditerranée occidentale.

En contexte structural actif, les phénomènes néotectoniques sont à prendre en compte dans les projets de grands travaux et dans les plans d'occupation des sols car ils

peuvent intervenir dans l'initialisation de mouvements de terrain (glissements, effondrements, éboulements, chutes de blocs...).

Les méthodes qui permettent de localiser les accidents impliqués dans ces mouvements et de déterminer l'état des contraintes régnant à l'intérieur de la croûte superficielle relèvent de la géologie (cartographie, stratigraphie, sédimentologie, paléogéographie, volcanisme et analyse structurale), de la géomorphologie, de l'hydrogéologie, de la géodésie, de l'étude sismique régionale (paléosismicité, sismicité historique et instrumentale) et de la physique (mesures de contraintes).

Appliquées au site instable de Séchilienne, ces méthodes, en particulier l'analyse structurale et la géomorphologie, ont permis de mettre en évidence des indices de mouvements récents dans la vallée de la Romanche, mouvements associés au jeu d'une faille décrochante dont la possible contribution à la déstabilisation du versant de Séchilienne fait l'objet de cet article.

## Généralités sur les mouvements de terrain en milieu rocheux

Il existe différents types de mouvements de terrain en milieu rocheux : les instabilités de falaises et les mouvements en grandes masses ou phénomènes d'affaissement/dilatance.

### Les instabilités de falaises

Elles se produisent dans les terrains à relief vigoureux caractéristique des massifs de roches magmatiques et cristallophylliennes ou des puissantes strates sédimentaires (carbonates, grès) qui forment des falaises imposantes et découpées par plusieurs familles de discontinuités.

Elles sont plus fréquentes dans les terrains facilement altérables lorsqu'ils sont très fracturés (tels que les dolomies vacuolaires, les basaltes et certains granites), l'altération se développant à partir des fissures de la roche. Les éboulements sont parfois consécutifs à un affaissement.

La dynamique des mouvements est assurée par des phénomènes climatiques (pluies, fonte des neiges, alternances de gel-dégel et/ou forts écarts thermiques) ou mécaniques (séismes, vibrations).

Le basculement d'un pan de falaise ou d'une colonne rocheuse qui se fragmentent lors de leur chute se distingue de l'éroulement associé à un glissement banc sur banc sur une surface très pentée.

La cinématique du mouvement est très variable dans le temps: les déplacements, très ténus au début du processus, s'accroissent brutalement au moment de la rupture.

Les volumes mis en jeu sont également très variables:

- de 10 dm<sup>3</sup> à 100 m<sup>3</sup>: chutes de blocs et de pierres (le volume de la pierre est inférieur à 10 dm<sup>3</sup>);
- de 100 m<sup>3</sup> à 10,000 m<sup>3</sup>: écoulement en masse;
- de 10,000 m<sup>3</sup> à plusieurs dizaines de millions de mètres cubes. Lors de l'écroulement du Mont Granier, en 1248, environ 2,000 victimes furent ensevelies sous plus de 500 millions de mètres cubes de rocher.

Même les événements les plus modestes ont une grande capacité de destruction car les énergies mobilisées sont considérables, les vitesses atteignant plusieurs dizaines de mètres à la seconde.

#### Les phénomènes d'affaissement/dilatance

Les phénomènes d'affaissement varient en fonction du degré d'homogénéité du massif. Dans un massif homogène fracturé, la lente décompression du versant induit l'ouverture de discontinuités entre blocs, parfois accompagnée de phénomènes de subsidence assimilés à des *affaissements* en coin (Fig. 1) et reconnaissables aux escarpements amont et aval qui se font face (exemple de l'affaissement du Mont Sec à Séchilienne, près de Vizille, Isère).

Le contrôle habituel des mécanismes de rupture est assuré par le découpage du massif, hérité de son histoire tectonique, combiné à la décompression des versants.

La part de la tectonique active dans la genèse des désordres est moins connue et n'a jusqu'alors fait l'objet que de peu d'études.

Le mouvement de versant de Séchilienne est en ce sens un cas d'école car il est situé dans l'avant-pays d'une chaîne encore en cours de surrection (la chaîne de Belledonne) et il est suivi depuis une vingtaine d'années.

#### Le mouvement de versant de Séchilienne

Le site des Ruines de Séchilienne est situé dans le département de l'Isère en rive droite de la Romanche à une

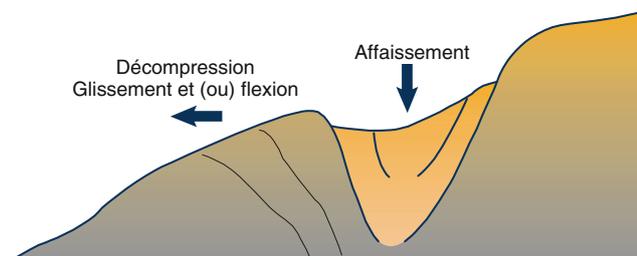


Fig. 1 Schéma d'affaissement par dilatance

dizaine de kilomètres en amont de sa confluence avec le Drac (Fig. 2).

#### Cadre lithologique

Le versant instable de Séchilienne est situé dans le massif de Belledonne, partie intégrante des massifs cristallins externes et qui constitue le trait d'union entre le massif du Pelvoux au Sud et le massif des Aiguilles Rouges-Mont Blanc au Nord-Est. Dans le détail il appartient au "Rameau Externe" de la chaîne de Belledonne, essentiellement constitué de micaschistes et psammites (série satinée), roches résultant du métamorphisme d'une ancienne formation sédimentaire d'âge paléozoïque inférieur (Fig. 3).

#### Cadre structural

Ces roches ont connu une histoire géologique complexe au cours de laquelle au moins 5 phases de déformation ont été mises en évidence parmi lesquelles se distinguent (Potherat and Alfonsi 2001):

- une phase D1 responsable de la foliation subverticale orientée NS perpendiculaire au versant;
- une phase D4, tardihercynienne, à l'origine d'une famille de plis à laquelle appartient le grand pli sommital du Mont Sec de direction. N 20°E et de plongement axial 45°N (Fig. 4);
- une dernière phase de déformation alpine, D5, à l'origine d'un système de failles décrochantes conjuguées, de directions N 20-50°E et N 100-150°E, dans un contexte de raccourcissement global Est-Ouest.

La falaise arrière de l'affaissement sommital s'inscrit dans une structure elliptique (Fig. 5a) dont la bordure sud est jalonnée par des sillons (combes) limités par des falaises intermédiaires. Cette structure elliptique, avec fractures concentriques associées en «cône sheet» (Fig. 5b), a été considérée comme calquée sur un bombement local ancien lié à un phénomène de plutonisme profond d'âge tardi-hercynien (D4) à l'aplomb du Mont Sec (Potherat and Alfonsi 2001).

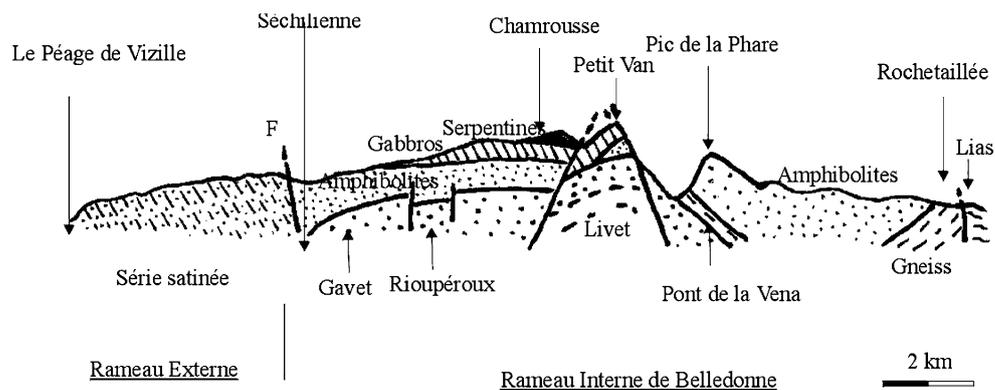
Dans la vallée de la Romanche, au droit du village de Séchilienne, un petit bassin de forme losangique, bien visible sur les photographies aériennes de l'IGN (Fig. 6), évoque l'allure d'un bassin de type "pull-apart" ou bassin de transtension. Bien que générées en régime compressif, les structures de type "pull-apart" témoignent de phénomènes d'ouverture (extension locale) dans les zones de relais entre deux failles décrochantes.

L'examen de la carte géologique à 1/50,000 de Vizille plaide en faveur de ce type de structure car les amphibolites sont décalées de manière sénestre de 0,5 à 0,6 km par le segment nord d'une faille N110°E passant dans le lit de

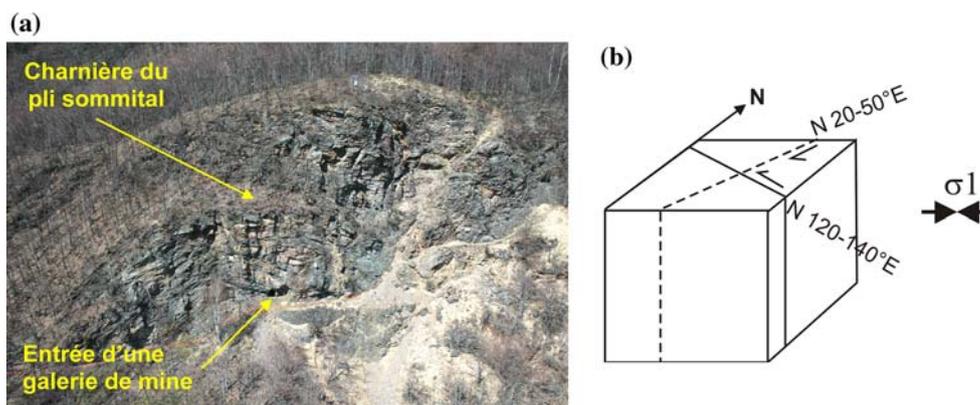


**Fig. 2** Carte de localisation du site instable. Le trait pointillé représente le trait de la coupe géologique de la figure 3

**Fig. 3** Coupe du massif de Belledonne par la vallée de la Romanche entre Vizille et Rochetaillée (extrait du Guide Géologique Régional Alpes du Dauphiné, 1983)



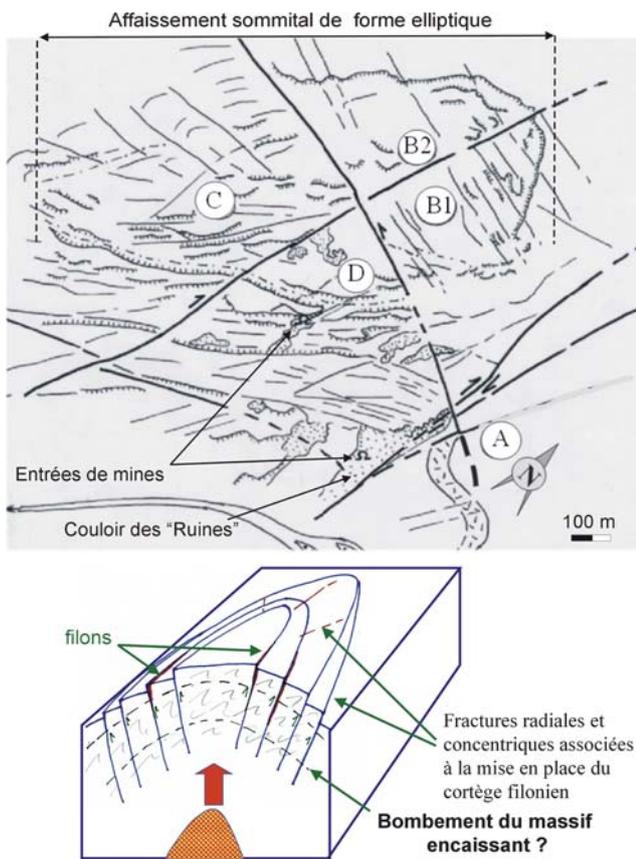
**Fig. 4** Les plis P4 associés à la phase tardi-hercynienne (D4). **a** Vue du grand pli sommital; **b** Système de décrochements associés



la Romanche, visible à la sortie est de Séchilienne et remarquable par la présence de miroirs de failles striés avec tectoglyphes indiquant un jeu dextre puis sénestre. Les schistes de la “Série satinée”, dont certains pointements apparaissent dans le cône alluvial du torrent de Saint

Barthélemy de Séchilienne, sont décalés d’autant, toujours vers la gauche, par le segment sud de cet accident que nous nommerons « faille de la Romanche ».

En revanche le segment sud, masqué par les alluvions de la Romanche, est plus difficile à mettre en évidence.



Structure en « cone sheet » par poinçonnement vertical (magma)

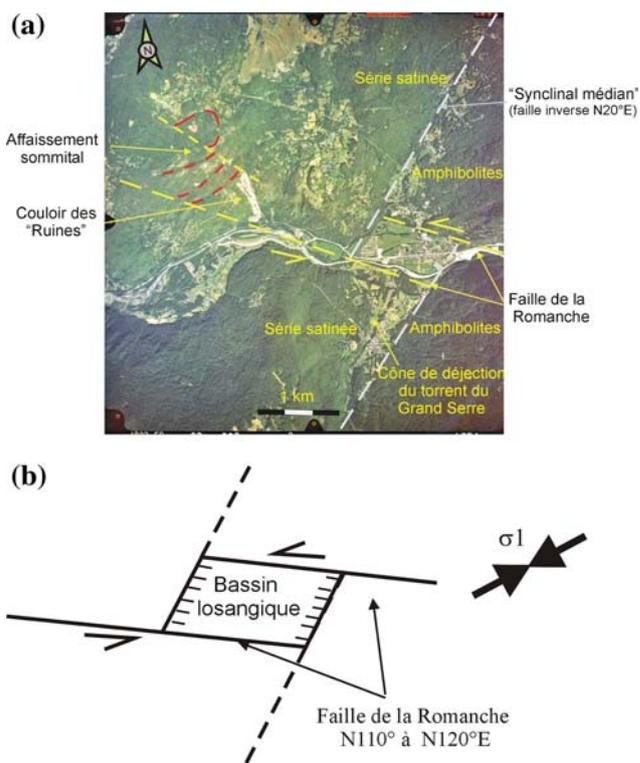
**Fig. 5** Esquisse structurale et modèle de fracturation du massif du Mont Sec. **a** Esquisse structurale issue de la photo interprétation et d’observations de terrain. (Les lettres entourées d’un cercle désignent des panneaux à cinématique différente). **b** Modèle de genèse des fractures radiales et concentriques par poussée verticale associée à la mise en place d’un champ filonien

Cependant, à une cinquantaine de mètres du pied de versant, sur la gauche du couloir des “Ruines”, une zone extrêmement broyée, caractérisée par la présence de miroirs striés N110° avec indices de mouvements sénestres, matérialise son passage tandis que le long de l’ancienne route, au pied du couloir d’éboulis, plusieurs répliques de cet accident découpent la falaise basale (Fig. 7).

Il s’agit d’un accident d’importance régionale que nous avons identifié avec certitude sur une vingtaine de kilomètres, à l’ouest jusque dans les chaînons calcaires du Vercors dans lesquels il s’ensoie et à l’Est jusque dans l’Oisans où il s’amortit dans le Lias.

Une étude récente, réalisée à l’université Joseph Fourier de Grenoble (Le Roux, 2005) et basée sur des profils électriques, aboutit à des conclusions identiques.

Bien que ces mouvements ne soient pas datés avec précision, plusieurs arguments plaident en faveur d’un jeu récent de la faille de la Romanche.



**Fig. 6** Le bassin losangique de Séchilienne. **a** vue aérienne, photo IGN de 1993; **b** interprétation structurale

- le remplissage par des matériaux quaternaires du bassin losangique, dont l’épaisseur a été récemment estimée entre 125 et 375 m par des méthodes sismiques, à comparer avec des épaisseurs de 50 à 100 m de part et d’autre du pull-apart (le Roux, 2005);
- la présence d’un talus rectiligne, parallèle à la direction de la faille de la Romanche, de 15 à 20 m de haut pour 800 m de long, affecte le cône de déjection du torrent de Saint Barthélemy de Séchilienne;
- la reprise de l’activité du site dans les années 60–70, exprimée par des éboulements au niveau de la zone broyée de la faille de la Romanche, en pied de versant et sur la faille sommitale du couloir des “Ruines”.

Contexte sismique régional

Les tremblements de terre ont fréquemment une incidence sur la stabilité des pentes, incidence d’autant plus marquée que la magnitude du séisme est plus grande.

Par exemple, le séisme de Vallorcine du 8 septembre 2005 situé à la frontière franco-suisse, entre Chamonix et Martigny et d’une magnitude 4,6 à 5,1 sur l’échelle de Richter, a provoqué des chutes de blocs dans la zone épicentrale, côté français.

Depuis 1960, 11 séismes ont été ressentis sur les communes de Vizille-Séchilienne (données SISFRANCE) et

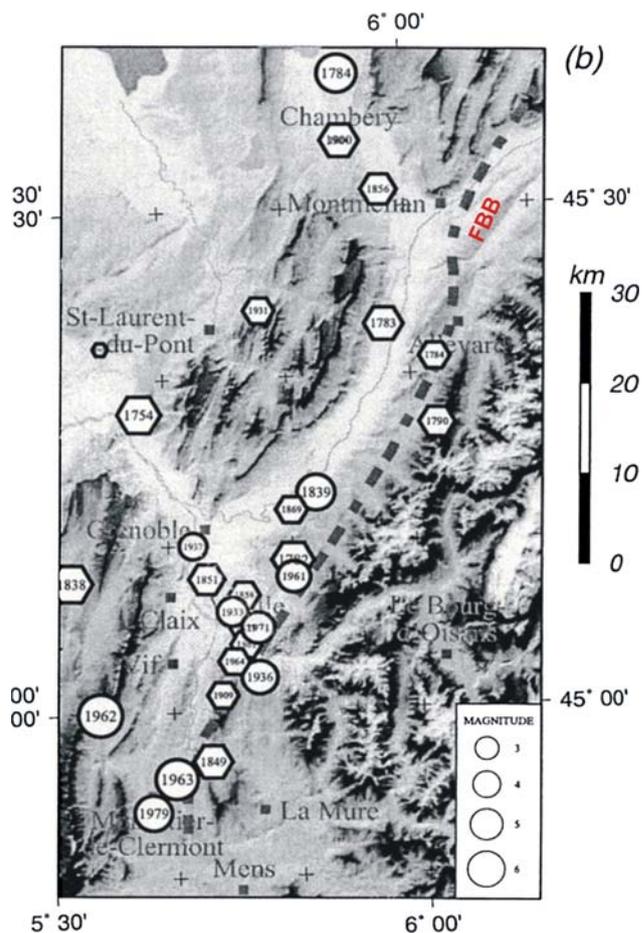


**Fig. 7** Vue de face du versant instable et des enjeux dans la vallée. le passage de la faille de la Romanche est marqué par une zone broyée

parmi ceux-ci, le tremblement de terre de Laffrey du 11 janvier 1999 (magnitude 3,5) dont l'épicentre est situé entre Vif et Laffrey. Le mécanisme au foyer et l'alignement des répliques indiquent un coulisage senestre sur un plan de faille de direction N 120°E attribué à la faille de Brion (Thouvenot et al. 2003). Cette faille étant parallèle à la faille de la Romanche on peut se demander si cette dernière a pu être sollicitée par des secousses sismiques.

Un élément de réponse peut être apporté par la carte de la figure 8 qui montre que dans les siècles passés, le secteur de Vizille-Séchilienne a souvent été le théâtre de séismes d'intensités variables (magnitudes 3 à 5). La plupart de ces séismes sont localisés sur la faille bordière de Belledonne, de direction N 20°E. Cependant, dans le détail, une petite dizaine d'entre eux semblent localisée sur une direction N 130–140°E bien représentée sur le schéma structural du Mont Sec, entre Grenoble et Vizille.

On remarque également, toujours sur la figure 8, que les séismes ont migré du nord vers le sud au cours des siècles, et que les plus récents ont dépassé la faille de la Romanche



**Fig. 8** Sismicité historique pour la période 1536–1988. Cercles: qualité A à C; hexagones: qualité D. La qualité est liée à la fiabilité des données (d'après Thouvenot et al. 2003)

dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Cette dernière a donc pu être sollicitée à la charnière entre les 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup>.

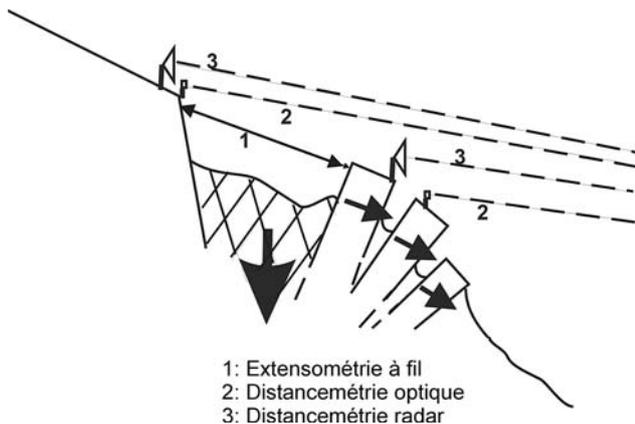
L'analyse fine des mouvements enregistrés sur les différents capteurs disposés sur le site devrait permettre de déterminer l'influence de la sismicité locale, plus particulièrement celle du séisme de Laffrey de janvier 1999, sur le mouvement de versant de Séchilienne.

#### Les instabilités de versant constatées

##### Historique

Le versant sud du Mont Sec est le théâtre d'éboulements récurrents relatés dès le 18<sup>ème</sup> siècle.

Une réactivation a été constatée à partir de 1980 avec une accélération au cours de l'hiver 1985. Cette activité, qui s'est traduite par des chutes de blocs sur la route a été à l'origine d'une série de mesures conservatoires et d'études spécifiques.



**Fig. 9** Représentation schématique du mécanisme de rupture au sommet du couloir des «Ruines» par basculement vers la vallée et subsidence. Localisation des différents dispositifs de suivi (1 à 3)

Parmi les mesures conservatoires citons la réalisation d'un itinéraire de déviation de la RN 91 en rive gauche de la Romanche, la création d'un merlon de protection du nouvel itinéraire et le creusement d'un chenal de dérivation de la Romanche obturé par une digue fusible au droit du mouvement.

En parallèle, l'équipement progressif du site avec des dispositifs de surveillance ainsi qu'une série d'études ont contribué à l'amélioration de la connaissance du comportement du versant (Fig. 9).

Des indices plus précis sur l'activité du site ont été donnés récemment (Potherat 2000) à partir de l'analyse des photos aériennes IGN disponibles depuis 1937. On distingue nettement un accroissement des éboulements sur le secteur, en particulier sur la faille de la Romanche, à partir des années 1960 qui pourraient être liés à l'activité des séismes de 1962 (Corrençon en Vercors), 1963 (Monteynard) ou encore 1964 (Vizille).

Les manifestations récentes de cette instabilité à l'origine des blocs tombés sur l'ancienne route sont actuellement localisées sur un secteur d'environ 3 ha, appelé zone frontale, et situé à mi-hauteur du versant sous l'ancien tassement sommital. En novembre 2006 un éboulement de l'ordre de 35,000 m<sup>3</sup>, issu de la partie supérieure de la zone frontale, a atteint le lit de la Romanche.

Le rapport des vitesses moyennes de déplacement entre l'affaissement sommital et la zone frontale la plus rapide est de l'ordre de 1 à 20 (2,5 à 50 cm/an).

#### L'origine du phénomène

Très tôt une falaise en forme de fer à cheval ouvert vers la vallée a été repérée en tête de versant. Elle dessine l'affaissement sommital ou zone elliptique du Mont Sec. La morphologie de cette falaise, dont l'escarpement est de

trente à quarante mètres, est attribuée à un ancien affaissement lié au retrait du glacier de la Romanche.

Si l'on considère que la dernière décrue glaciaire a entraîné une lente subsidence (de l'ordre de 1 cm par an) telle que celle mesurée actuellement sur la partie haute du versant, la hauteur de la falaise arrière devrait être au minimum de 100 m (Vengeon 1998).

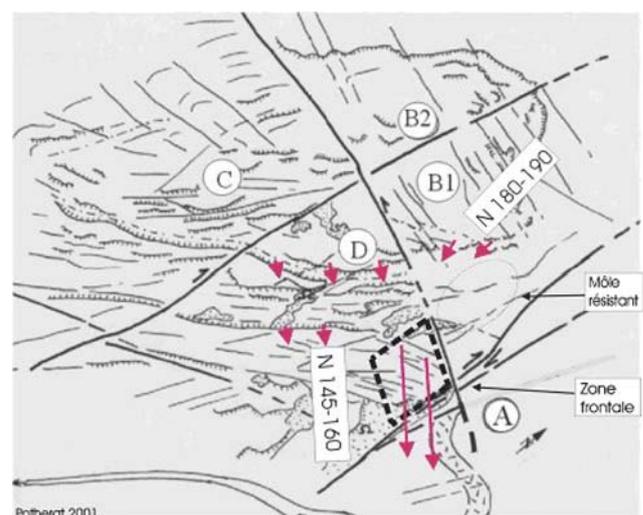
La hauteur de l'escarpement constaté suggère que l'affaissement s'est produit plus tardivement ou de manière saccadée avec des phases d'activité et des phases de rémission plus ou moins prolongées.

#### Le mécanisme

Schématiquement, le mécanisme de déformation du versant consiste en basculements de lames rocheuses prédécoupées par l'histoire tectonique du site. D'une manière générale, les compartiments arrière correspondant à l'affaissement sommital, à plus faible pente, montrent des déformations à forte composante verticale alors que les secteurs frontaux, plus pentus, présentent une composante de déplacement horizontale prépondérante.

#### Localisation et sens des déplacements

La géométrie de l'aléa et les mouvements du versant sont largement contrôlés par les discontinuités héritées de l'histoire tectonique du site (Fig. 4). Deux grands accidents décrochants appartenant aux familles N20°E et N140°E partagent le site en 5 secteurs (Fig. 10). L'essentiel des déplacements actuels se situe dans les deux secteurs (B1 et D) les plus à l'est, la zone frontale appartenant au secteur oriental inférieur (D).



**Fig. 10** Le versant instable de Séchillienne. Orientation des vecteurs déplacements en fonction de la structure du massif (flèches). La zone frontale active est entourée de pointillés

L'orientation de la composante horizontale des vecteurs déplacements dans ces deux secteurs varie en fonction sa position dans le versant:

- elle est conforme aux lignes de pente dans le secteur inférieur (D) et est déviée de 30 à 40°E vers l'ouest dans le secteur supérieur (B1);
- dans le secteur supérieur les vecteurs déplacement sont orientés NS, en cohérence avec les observations de terrain qui ont démontré que les seules fissures ouvertes rencontrées sont orientées N70 et 120°E, soit sensiblement perpendiculairement au sens du déplacement.

A l'intérieur du périmètre de la zone frontale la plus active, les fissures ouvertes les plus couramment observées ont une direction N70°E conformément à celle des grandes lames rocheuses fléchies. Ces fissures se comblent en général d'éboulis superficiels au fur et à mesure de leur ouverture, les plus anciennes apparaissant aujourd'hui sous forme de sillons en V, plus ou moins larges et profonds.

Les limites de la zone frontale sont constituées :

- au Nord par le grand accident N140°E qui traverse l'ensemble du site et est marqué dans la topographie par une falaise d'une vingtaine de mètres de hauteur, résultat de l'affaissement de la partie haute du couloir des «Ruines».
- à l'Est, par une grande fracture N20°E, en bordure du couloir d'éboulis des «Ruines». Ce couloir représente une incision profonde qui contribue au "desserrage" progressif du panneau mobile.
- à l'Ouest par des fissures N20°E en relais sur des fissures N70°E et N110°E, qui progressent vers la base du versant en s'évasant vers l'Ouest.
- au Sud, il n'existe actuellement pas de limite visible au mouvement qui s'amortit progressivement vers le bas jusqu'à la cote 590.

#### La cinématique du mouvement

On distingue deux grands domaines dans le mouvement de versant du Mont Sec:

- le domaine principal, d'une superficie de l'ordre de 70 ha, adossé à la falaise arrière de l'affaissement sommital et dont les déplacements sont de l'ordre de 2 à 10 cm/an. Sa zone d'influence concerne l'ensemble du versant avec un amortissement progressif jusqu'à la faille de la Romanche qui passe au tiers inférieur du versant.
- La zone frontale, d'une superficie de 3 ha, située en marge Est du domaine principal et qui constitue la partie la plus mobile avec des déplacements compris entre 50 et 150 cm/an.

Les mesures de déplacements réalisées depuis 1985 ont montré de grandes variations entre les vitesses de déplacement hivernales et estivales et, ce comportement n'étant pas totalement réversible, une accélération progressive sur le long terme. L'examen détaillé des déplacements, au pas de temps de 24 heures, montre parfois une forte variabilité qui ressort de l'analyse des données des extensomètres automatiques, installés depuis 20 ans sur le site et qui présentent l'avantage de générer des mesures très peu bruitées.

#### Analyse des variations saisonnières de vitesse

La cinématique des déplacements est caractérisée par une forte variabilité saisonnière (50 à 100%) qui se traduit sur la figure 11 par une nette irrégularité du tracé des courbes.

Les variations relatives entre les apports d'eau annuels (cf. 1999, 2003, 2004 et 2005), plus que la valeur absolue de ces apports (cf. 2001 et 2003), sont à l'origine des variations d'amplitude les plus marquées.

Depuis 1985, abstraction faite des variations saisonnières, on a constaté des accélérations des déplacements en 1993, 1999 et 2004.

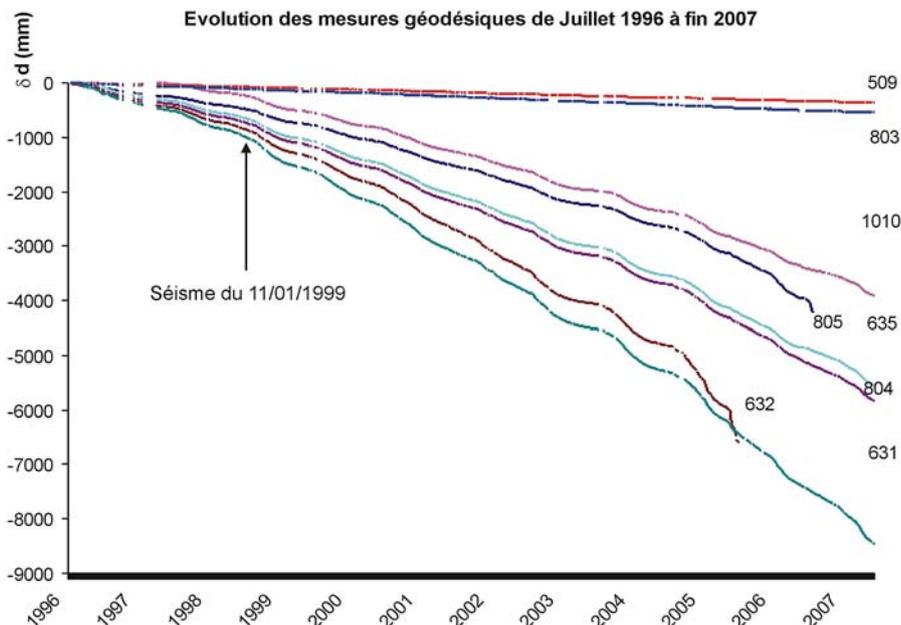
Ces accélérations peuvent être liées, soit à une augmentation de la pluviométrie (1993), soit à une sollicitation externe de type sismique (1999), ou encore à une modification des caractéristiques mécaniques du massif liées à une pénétration plus profonde des eaux météoriques dans des fissures de plus en plus ouvertes.

Seules des corrélations avec les deux premiers paramètres, sur lesquels on dispose de données, ont été réalisées, car le troisième paramètre ne peut être appréhendé que par défaut.

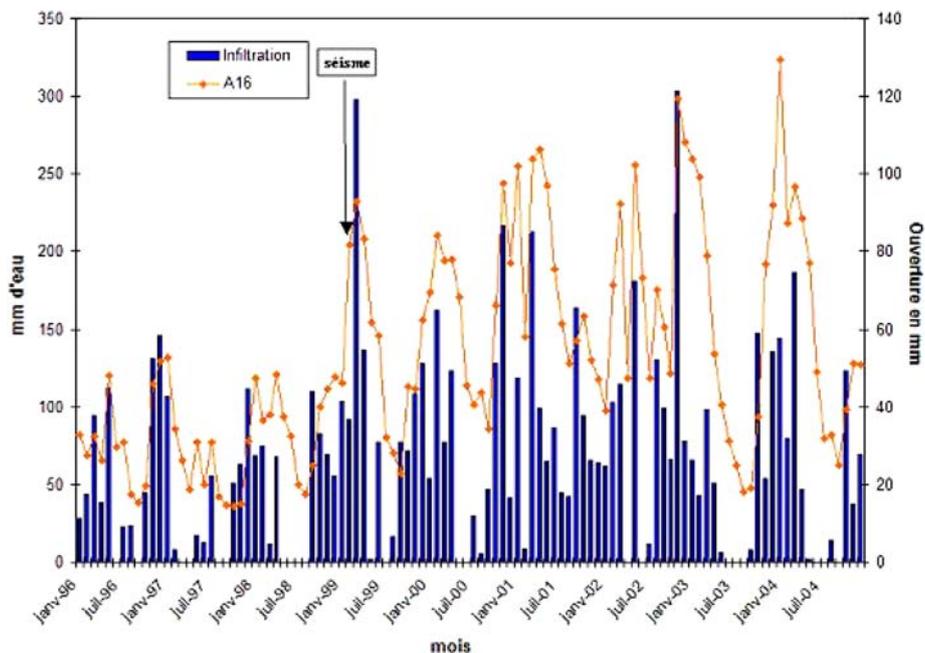
#### Corrélations accélérations - infiltrations

Les données de déplacements utilisées sont celles du capteur extensométrique A16 implanté à la cote 850 en tête du couloir d'éboulis principal "des Ruines". Le site dispose d'une station météo, équipée d'un pluviométrique et située à la cote 1100 au sommet du Mont Sec, à seulement 200 m au nord de l'escarpement arrière. Les hauteurs d'eau utilisées correspondent à l'eau de pluie, le cas échéant majorée de l'eau de fonte du stock de neige. Compte tenu de l'absence d'écoulements superficiels en raison de l'importante fracturation du massif, le taux de précipitations est entièrement disponible pour l'infiltration. Les données prises en compte dans le paragraphe suivant pour analyser l'influence du séisme de Laffrey sont des données brutes, l'évapotranspiration pouvant être négligée en période hivernale (Béal 2005).

**Fig. 11** Evolution décennale des déplacements cumulés dans la zone la plus active. On remarque un accroissement progressif de la pente des courbes, donc un accroissement des vitesses de déplacement



**Fig. 12** Corrélation entre les apports d'eau mensuels (pluie + fonte des neiges) et l'ouverture de l'extensomètre A16 de janvier 1996 à février 2005



D'une manière générale, on constate sur la figure 12, qui montre les corrélations entre les infiltrations mensuelles et les déplacements mesurés sur l'extensomètre A16, qu'à l'échelle du mois, de fortes infiltrations entraînent une accélération des vitesses d'ouverture des fractures.

Depuis 1999, cette accélération s'effectue dans un délai très court (moins de 24 heures) après le début de fortes précipitations (>20 mm/j) alors qu'auparavant un délai de plusieurs jours était nécessaire (Duranthon et al. 2002).

En revanche l'arrêt des précipitations n'entraîne pas un ralentissement immédiat de la vitesse d'ouverture des fractures mais un ralentissement lent, étalé sur plusieurs mois, à mettre en rapport, soit avec une inertie du massif, soit avec une alimentation lointaine de la nappe phréatique.

L'analyse détaillée des déplacements du capteur A16, comparée à la pluviométrie de septembre 1998 à mars 1999, montre curieusement que les vitesses du mois de février 1999 ont fortement accéléré en dépit d'une pluviométrie qui peut être considérée comme normale (moins de

100 mm/mois) et avant les fortes pluies de mars 1999 (300 mm).

#### Corrélation accélérations – sismicité

L'examen a posteriori des courbes de déplacements cumulés a révélé une accélération pérenne du mouvement initialisée durant l'hiver 1998/1999 (Fig. 11).

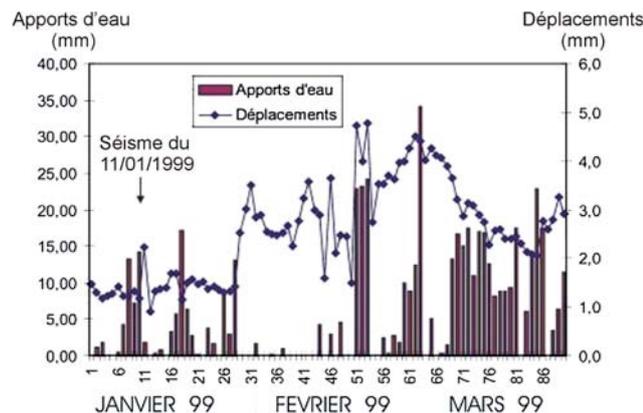
Bien que cette période coïncide avec le retour d'années très pluvieuses, succédant aux années moyennement arrosées de 1995 à 1998, il convient cependant de considérer qu'une secousse sismique s'est produite à faible distance du site instable le 11 janvier 1999 et également de s'interroger sur le rôle éventuel de cette secousse dans l'accélération constatée.

Le séisme de Laffrey du 11 janvier 1999, de magnitude 3.5, avec un épicentre situé à 1 km de profondeur, à 4 km au sud du pied du versant des «Ruines», a généré au niveau de ce dernier des ondes sismiques dont l'amplitude ne dépassait pas 0,05 mm. En multipliant cette valeur par 10 pour introduire des effets de site, l'influence mécanique directe sur le site des Ruines ne serait que très faible.

Par ailleurs, l'examen des courbes de déplacements du capteur A16 (Fig. 13), montre que l'influence du séisme sur le mouvement, si influence il y a, n'apparaît pas à l'évidence car la secousse étant intervenue le 11 janvier la première accélération significative post événement ne s'est produite que le 29 du même mois.

En revanche, l'examen détaillé des vitesses journalières de déplacement du capteur A16, de janvier à mars 1999 (Fig. 13), met en évidence:

- une petite accélération le jour du séisme après 35 mm de pluie cumulée sur trois jours;
- mis à part ce pic, des vitesses restées à 1,5 mm/jour du 1<sup>er</sup> au 28 janvier;



**Fig. 13** Courbes journalières de déplacements/pluviométrie de janvier à mars 1999

- le 28 janvier, un doublement des vitesses jusqu'à 3 mm/jour et qui perdure jusqu'au 19 février, sans raison apparente puisqu'il n'a pratiquement pas plu;
- une nouvelle accélération à plus de 4 mm/jour le 20 février alors qu'il est tombé 23 mm d'eau. Celle-ci va tenir jusqu'au 3 mars;
- à partir du 4 mars, malgré le fort épisode pluvieux de la veille (35 mm), une chute des vitesses jusqu'à fin mars.

Du 11 janvier à fin mars 1999 le comportement du versant de Séchilienne est donc devenu complètement atypique et déconnecté du taux de précipitations.

Avant l'hiver 1998–1999, les corrélations vitesses/infiltrations dans le massif nécessitaient d'intégrer un effet réservoir du terrain (Vengeon 1998, Duranthon and Effendiantz 2004) afin d'expliquer le déclenchement différé des accélérations par rapport aux événements climatiques.

La sollicitation mécanique due au séisme de Laffrey paraît trop faible pour expliquer à elle seule la mise en vitesse de la fin janvier. En revanche, si l'on admet qu'une sollicitation mécanique, même ténue, est capable de modifier les cheminements et les mises en charge de l'eau dans le massif, l'accélération constatée peut être indirectement corrélée au séisme.

On a pu également remarquer qu'à partir de la date du séisme, la réaction du massif aux fortes précipitations est devenue quasi instantanée comme en témoigne l'accélération du 20 février en réponse à une sollicitation de 25 mm d'eau.

## Conclusions

Les mouvements du versant de Séchilienne, dont les accélérations sont en général directement corrélées à la pluviométrie, sont essentiellement dus à la décompression du massif rocheux. Celle-ci est responsable de l'ouverture de discontinuités héritées d'une histoire tectonique régionale complexe.

Il arrive cependant que des accélérations se produisent sans lien avec le taux de précipitations mesuré. L'analyse détaillée d'une de ces anomalies de comportement, enregistrée en février 1999, a permis de conclure à une possible implication du séisme de Laffrey du 11 janvier 1999, dans celle-ci.

Les indices de néotectonique observés dans la vallée de la Romanche, tels que le pull-apart de Séchilienne, à remplissage quaternaire, et les éboulements récurrents sur la faille de la Romanche, qui passe en limite inférieure de l'instabilité, avaient déjà permis d'envisager un rôle partiel de l'activité sismique dans le déclenchement ou l'accroissement des phénomènes étudiés.

L'étude de la sismicité régionale indique que la faille de la Romanche a pu être sollicitée à la charnière 19<sup>ème</sup>/20<sup>ème</sup> siècle. Cependant la localisation du séisme de Laffrey (janvier 1999) à 4 km au Sud du versant instable de Séchilienne sur un accident parallèle à la faille de la Romanche (la faille du Brion), tend à prouver que l'activité sismique du site est toujours d'actualité.

Bien que l'hypothèse de l'influence des séismes locaux sur le mouvement de versant de Séchilienne n'ait pas été clairement démontrée, de fortes suspicions demeurent, étayées par un comportement anormal du site après le séisme de Laffrey, aussi bien en termes d'accéléérations inexplicables que de temps de réaction aux fortes précipitations.

## Bibliographie

- Duranthon JP, Effendiantz L (2004) Le versant instable des Ruines de Séchilienne, point sur l'activité du phénomène et présentation du nouveau dispositif de gestion de la télésurveillance. Bull. LRPC no 252–253:29–48
- Potherat P (2000) Mouvement de versant de Séchilienne, étude morphostructurale. Rapport LCPC; MSRGI
- Potherat P, Alfonsi P (2001) Les mouvements de versant de Séchilienne (Isère). Prise en compte de l'héritage structural pour leur simulation numérique. Rev. Franç.de Geot. 52001) no 95–96, pp 117–131
- Roblin D (2005) le séisme du 8 septembre 2005 survenu à la frontière franco-suisse. Note BRGM. Sept. 2005
- SISMALP (2001) Information sur le séisme de Laffrey (Isère) du 11 janvier 1999. Note du 28 juin 2001. Internet, 8 p
- Thouvenot F, Fréchet J, Jenatton L, Gamond JF (2003) The Belledonne Border fault: identification of an active seismic strike-slip fault in the western Alps. Geophys J Int 155:174–192
- Vengeon J-M (1998) Déformation et rupture des versants en terrain métamorphique anisotrope. Thèse de L'Université Joseph Fourier - Grenoble 1