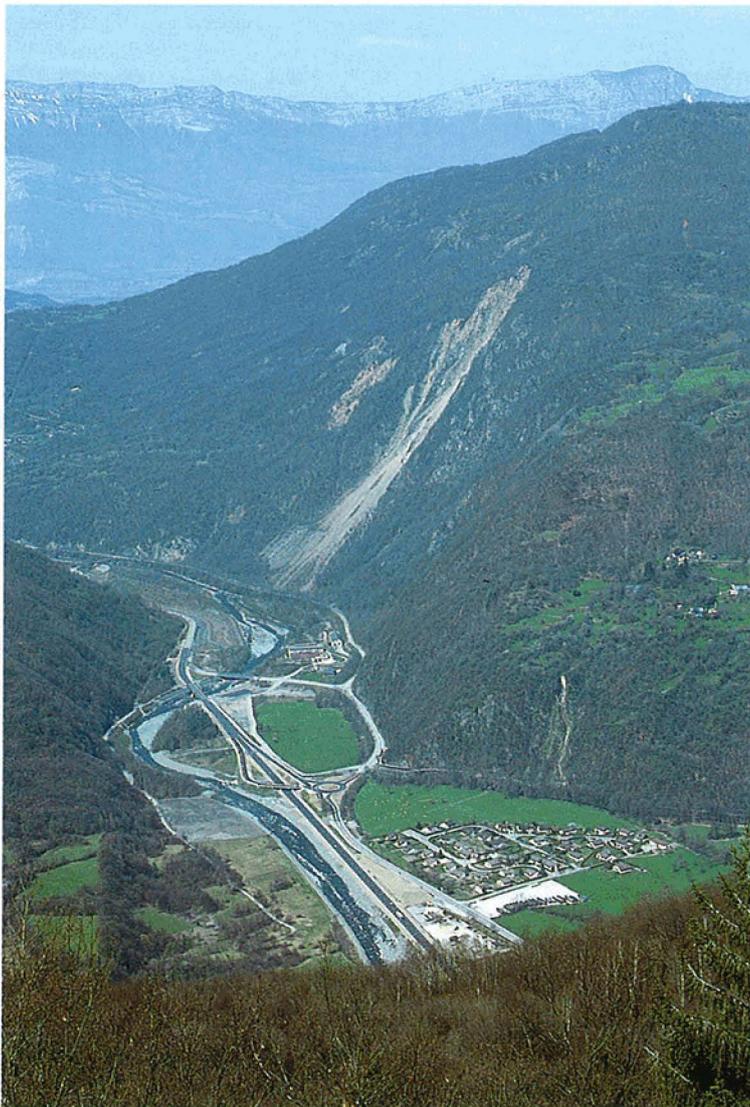
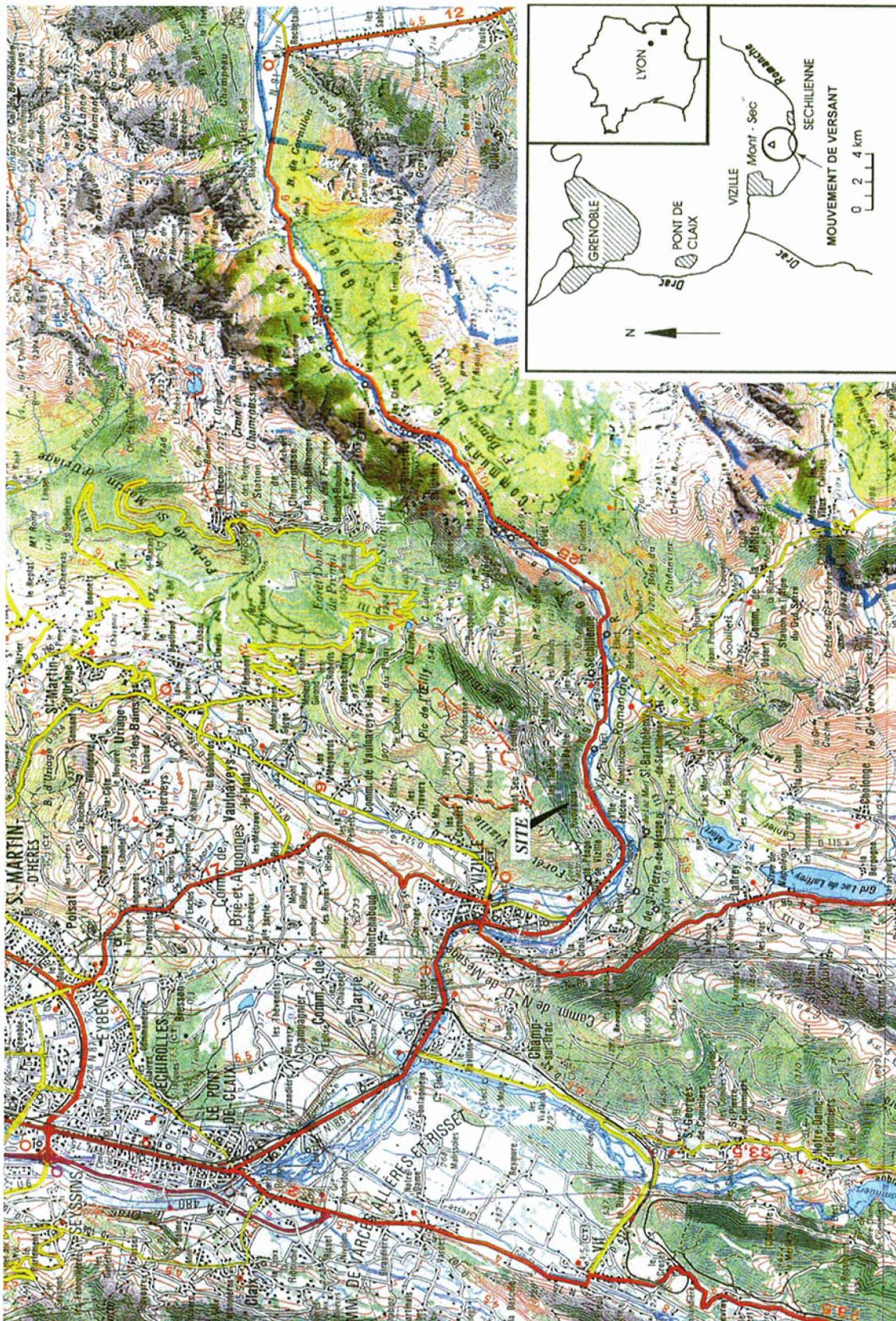


**LE MOUVEMENT DE VERSANT  
DES “RUINES DE SÉCHILLENNE”  
Vallée de la Romanche**



*Vue du site depuis la deviation de la R.N. 91; au centre le cone d'eboulis actif.*



**Fig. 1.** Plan de situation du site des Ruines de Séchilienne (extrait de la carte IGN au 1/110 000). Le flanc sud du Mont-Sec, affecté d'un grand mouvement de versant, domine la rive droite de la Romanche 20 kilomètres en amont de Grenoble et menace la Route Nationale 91 Grenoble-Briançon.

## INTRODUCTION

Entre Vizille et Séchilienne (à proximité de Grenoble, Isère), dans le secteur des «Ruines de Séchilienne», la vallée alpine de la Romanche est le siège d'un grand mouvement de versant qui affecte le flanc sud du Mont-Sec (sur une dénivellée de 900m) et menace la route nationale 91 Grenoble-Briançon (fig. 1). Cette instabilité, réactivée au cours de l'hiver et du printemps 1985, a révélé l'existence d'un risque à court terme d'éboulement en masse d'un volume de deux à trois millions de mètres cubes susceptible d'entraîner une destruction partielle du lit de la Romanche et la coupure de la R.N. 91. Pour parer à cette menace, une déviation de la R.N. 91 et un chenal de déviation pour la Romanche ont été créés en 1986.

La poursuite d'études géologiques et géomécaniques a montré que cette instabilité se développe sur la majeure partie du versant rocheux, jusqu'à la crête, et mobilise un volume de plusieurs dizaines de millions de mètres cubes. Ceci conduit à retenir l'hypothèse d'un risque majeur d'éboulement en masse pouvant entraîner l'obstruction complète du fond de la vallée.

## I. HISTORIQUE

### 1.1. Eléments anciens

La recherche historique nous renseigne à la fois sur le versant des Ruines et sur la portion de la vallée de la Romanche située juste au-dessous.

#### *Le versant des Ruines de Séchilienne*

L'instabilité du versant des Ruines de Séchilienne est avérée par de multiples témoignages, au moins depuis le XVII<sup>ème</sup> siècle. La toponymie confirme pour les âges plus anciens les très mauvaises conditions agro-sylvo-pastorales de ce secteur.

Les relations précises d'éboulements sont rares. En 1726, un rocher d'environ 5 mètres de large vient combler le lit de la Romanche au lieu-dit La Faussette sous les Ruines de Séchilienne. En 1762, trois blocs d'environ 15 mètres cubes se détachent de la montagne des Rivoirands et obturent complètement la route. Le même scénario se reproduit en 1794. La route est endommagée en plusieurs endroits. En 1833, une série d'éboulements de rochers énormes se produit au passage des Ruines, interceptant à chaque fois la route. Le dernier éboulement important répertorié survient dans la nuit du 23 au 24 février 1906.

Au XIX<sup>ème</sup> siècle, l'ancien chemin qui traverse le secteur est régulièrement détérioré par les chutes de blocs et les glissements. Les difficultés de son entretien et le déclin de l'occupation du sol

le feront bientôt abandonner au profit d'autres voies de communication.

Ce versant a également fait l'objet d'une exploitation minière. L'extraction du zinc date du milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle et prend fin en 1914. Un certain nombre de galeries et puits parcouraient aujourd'hui encore le périmètre. Aucun plan de ces travaux n'a pu à ce jour être découvert alors même que des procès verbaux en font mention et précisent même l'existence de galeries de roulage entre la concession des Ruines et celle de Pierrerousse située de l'autre côté de la montagne.

#### *La vallée de la Romanche*

Les informations proviennent d'une part des travaux consécutifs au tracé et à l'entretien de la R.N. 91 et, d'autre part, des travaux d'endiguement de la Romanche.

Entre le début du XVII<sup>ème</sup> siècle et le milieu du XVIII<sup>ème</sup> siècle, la petite route de Grenoble à Briançon est adossée au pied du coteau pour éviter les excès de la Romanche. Pendant le siècle qui suit les Ingénieurs des Ponts et Chaussées, profitant d'un déplacement naturel du lit du torrent, l'écartent du pied du versant des Ruines où les chutes de blocs sont continues. Parallèlement, les premiers travaux d'endiguement soulèvent le mécontentement des habitants de l'Ile Falcon. Dès le début du XIX<sup>ème</sup> siècle et malgré d'importants ouvrages la Romanche regagne du terrain en rive droite. Les inondations de 1856 et 1859 détruisent presque entièrement la R.N. 91 sur l'ensemble du secteur. Son tracé est rétabli en pied de versant moyennant d'importants travaux d'excavation entre les Rivoirands et les Ruines. Les premiers projets d'endiguement continu de la Romanche sont lancés à cette occasion.

### 1.2. Eléments récents (depuis 1937, date de la première mission photographique aérienne disponible)

Sur les cinq séries de photographies aériennes IGN disponibles au CETE de Bron (1937, 1948, 1956, 1982, 1987), on peut observer une nette modification de l'activité du site à partir de l'hiver 1984-85.

– Sur le cliché de 1937, la zone de l'actuel couloir Est (qui limite à l'Est la zone frontale inférieure Est) est marquée par un enchevêtrement de ravines.

– Entre 1937 et 1948, une évolution de ce secteur est perceptible en partie haute.

– Sur le cliché de 1982 (34 ans plus tard), on note une forte évolution de la branche Est du Couloir Est, désormais bien individualisé.

– En 1987 (5 ans plus tard), toute la zone des ravines de 1937 est active et désorganisée, ce qui

signifie une nette accélération de la dégradation du secteur.

Ce changement dans l'activité du site coïncide avec les chutes de blocs observées sur la route nationale 91, qui ont attiré l'attention sur ce secteur en 1980. Lors de visites sur le site, on a observé une évolution entre 1980 et 1984, puis une très nette aggravation à partir de l'hiver 1984-85.

Durant ce demi-siècle, les différents chemins ou pistes autrefois empruntés par la population (entre les Rivoirands et les Thiébauds) ou les ouvriers des mines ont disparu faute de fréquentation mais aussi du fait de la désorganisation du versant.

## 2. DOCUMENTS TECHNIQUES DISPONIBLES

### 2.1. Prises de vues

– 5 mission-photos aériennes IGN : 1937, 1948, 1956, 1982, 1987

– 4 mission-photos aériennes Sintégra :

- 15/12/84, éch 1/1000, réf 558;
- 25/4/85, éch 1/5000, réf 571;
- 5/3/89, éch 1/15 000, réf 2994;
- 14/7/91; éch 1/6000, réf 3659;
- 12/12/91, éch 1/10 000, réf 3668.

– 4 mission-photos obliques (hélicoptère): 1987, 1988 (neige au sol), 1992, 1993.

– Collection de prises de vues à terre depuis 1985 au CETE de Bron.

– Vues systématiques à terre (diapositives) prises en 1994 (site et système de télésurveillance). La normalisation des conditions de prise de vues au sol (position de l'appareil, focale, conditions d'éclairage, couvert végétal...) est essentielle pour leur utilisation ultérieure

### 2.2. Plans topographiques

– Feuille IGN 1/100.000 Grenoble-Gap, série verte réf. 54 ;

– feuille IGN 1/50.000 Vizille, série M761, réf. XXXIII-35 ;

– feuille IGN 1/25 000, réf. 3335 Ouest ;

– plan Sintégra 1/1000, réf. 558 2348, 1985 : plan topographique de la zone frontale inférieure Est ;

– plan Sintégra 1/5000, réf. 2539 2834, Mai 1986 : plan photogrammétrique du versant rive droite de la Romanche, sans compléments au sol ;

– plan Sintégra 1/5000, réf. 2994 3917, Mars 1989 : complément rive gauche et fond de vallée ;

– plan Sintégra 1/1000, réf. 571 2452 / 571 2453 : projet de déviation de la RN 91 ;

– une photographie aérienne au 1/5000 a été

réalisée en 1994, afin de restituer un plan au 1/1000 de l'ensemble Rive Droite et Rive Gauche ;

– plans cadastraux 1/2500, sections E et C, dressés en 1825, révisés 1968 et 1987 (raccordement difficile avec le fond IGN) ;

– plan d'implantation de la galerie EDF d'aménée de la chute de Péage de Vizille, 1/10.000, 1948 : document schématique peu fiable, qualité topographique incertaine. Accompagne le rapport géologique de Mr. Moret, 1941.

### 2.3. Cartes thématiques

– Carte des Risques Naturels de la commune de Séchilienne, 1/10.000, 1987, classement RTM ;

– Cartes géologiques 1/250.000 et 1/50.000 (feuille Vizille), 1972, BRGM ;

– Carte géologique de la zone frontale inférieure Est des Ruines de Séchilienne, 1/1000, 1991, IRIGM ;

– Carte géologique du versant du Mont-Sec, 1/5000, 1993, IRIGM.

### 2.4. Rapports

– *Etude de l'extension des zones exposées aux effets d'un éboulement catastrophique dans la zone des Ruines de Séchilienne*, LPC Lyon, Juin 1988, réf: 16 841/2.

– *Séchilienne, risque majeur d'éboulement en masse, point sur la surveillance du site*, LPC Lyon, Juin 1989, réf. H/16841/3

– *Le risque majeur d'éboulement des Ruines de Séchilienne*, DDE et LPC Lyon, Juin 1993: présentation des différents scénarios de crise envisagés.

– *Etude hydraulique des conséquences d'un éboulement à Séchilienne*, Sogreah, Mars 1989, réf. 60407: Risque d'occurrence d'une crue, temps de remplissage du barrage naturel formé par l'éboulement et conséquence de la rupture de ce barrage pour la zone entre Séchilienne et le Pont de Catanne.

### 2.5. Bulletins d'information

7 bulletins d'information ont été diffusés par le CETE de Bron (LPC Lyon) à l'intention des décideurs, des élus et des citoyens concernés: Déc 1988, Mars 1989, Mars 1990, Juin 1991, Nov 1991, Fév 1993, Fév 1994.

### 2.6. Vulnérabilité

– *L'éboulement de la Séchilienne ; gestion du risque*, Dr C. THIBAUT, Mémoire de Médecine des Catastrophes, Université de Nancy 1, Sept 1993.

– *Les Cahiers de H. Ferrand* : récit de la rupture du barrage de Bourg d'Oisans le 14-9-1219, un exemple historique d'accumulation improba-

ble de circonstances aggravantes menant à un drame de grande ampleur.

– *Rapport économique des investissements réalisés pour la prévention des risques, vis à vis des coûts à supporter par la collectivité en cas de catastrophe naturelle ou écologique.* Conseil Général de l'Isère Août 1990, MH IZAC/VM, XII: CG16.doc.

### 3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

#### 3.1. Contexte géologique régional

##### *Lithologie*

Le massif cristallin hercynien de Belledonne est scindé en deux rameaux par une dislocation majeure appelée «accident médian», de direction sensiblement Nord-Sud et qui passe par Séchilienne.

Le rameau interne, à l'Est, est essentiellement formé de roches amphiboliques (série verte).

Le rameau externe, auquel appartient le versant instable du Mont-Sec, est principalement constitué de micaschistes (série satinée), avec quelques pincées de terrain houiller au contact d'accidents tectoniques et des recouvrements discordants de sédiments triasiques et liasiques (plateau de Fau-Laurent).

Cette «série satinée est une ancienne série grésopélique en couches régulièrement alternées, dont l'âge n'est pas connu avec précision (datations variant du Précambrien au Carbonifère). Elle a été affectée par un métamorphisme polyphasé principalement hercynien.

Les principaux faciès sont composés de micaschistes à deux micas (quartz, muscovite, biotite et chlorite, structure lépidoblastique à granolépidoblastique) et de faciès leptynitiques (parfois quartzitiques, structure granoblastique) en lits bien individualisés d'épaisseur métrique à décimétrique.

##### *Géodynamique interne*

**Evolution structurale :** Sur le plan structural, l'architecture de l'unité est mal connue et plus complexe que ne le laisse supposer la carte géologique. Le caractère structural le plus évident est l'allure isoclinale de la série, marquée par la foliation métamorphique (qui correspond généralement au litage sédimentaire initial).

De nombreux plis isoclinaux (verticaux ou horizontaux, parfois tordus dans une déformation plus récente), dont l'axe est compris dans le plan de foliation, soulignent que celle-ci constitue la faiblesse mécanique majeure du massif et qu'elle a concentré les déformations (coulissages).

L'unité est de plus marquée par deux familles

principales de fractures, que l'on peut rapprocher de phases tectoniques successives connues:

– des failles Nord-Sud et de grandes fractures sensiblement Est-Ouest (absentes entre la zone instable et l'accident médian), qui appartiennent à un schéma ancien (ère primaire). Elles ont été réactivées en failles normales au début de l'ère secondaire (phase d'extension, Carme, 1971). Elles sont absentes à l'Est de la zone instable, peut être du fait de la modification de l'état global de contrainte induit par la proximité de l'accident médian de Séchilienne et de ses répliques (failles N/S);

– des fractures conjuguées NE-SW dextres et NW-SE senestres, qui dénotent une compression sensiblement E-W que l'on peut rapporter à la phase alpine, débutant au Tertiaire. Cette phase de serrage a eu pour effet de réactiver en ouverture les anciennes fractures E-W précédemment décrites.

**Néotectonique et sismologie :** Les travaux récents (nivellements de précision, paléomagnétisme, mécanismes aux foyers des séismes régionaux...) et les informations tirées du réseau Sismalp montrent que les déformations géologiques se poursuivent à l'heure actuelle, avec semble-t-il une tendance au soulèvement de certaines parties de la chaîne alpine (taux de 1mm/an environ) avec des mouvements de décrochement au niveau des massifs cristallins externes.

Dans ce schéma, le massif de Belledonne subirait les effets d'un chevauchement vers l'Ouest-Nord-Ouest et d'un coulissage dextre parallèlement aux directions structurales majeures de la chaîne (sensiblement N30).

Ceci concorde avec les séismes superficiels récemment enregistrés à proximité de la zone étudiée, et du synclinal médian en particulier :

– séisme «d'Uriage», 1992, Magnitude 3, de type coulissage ;

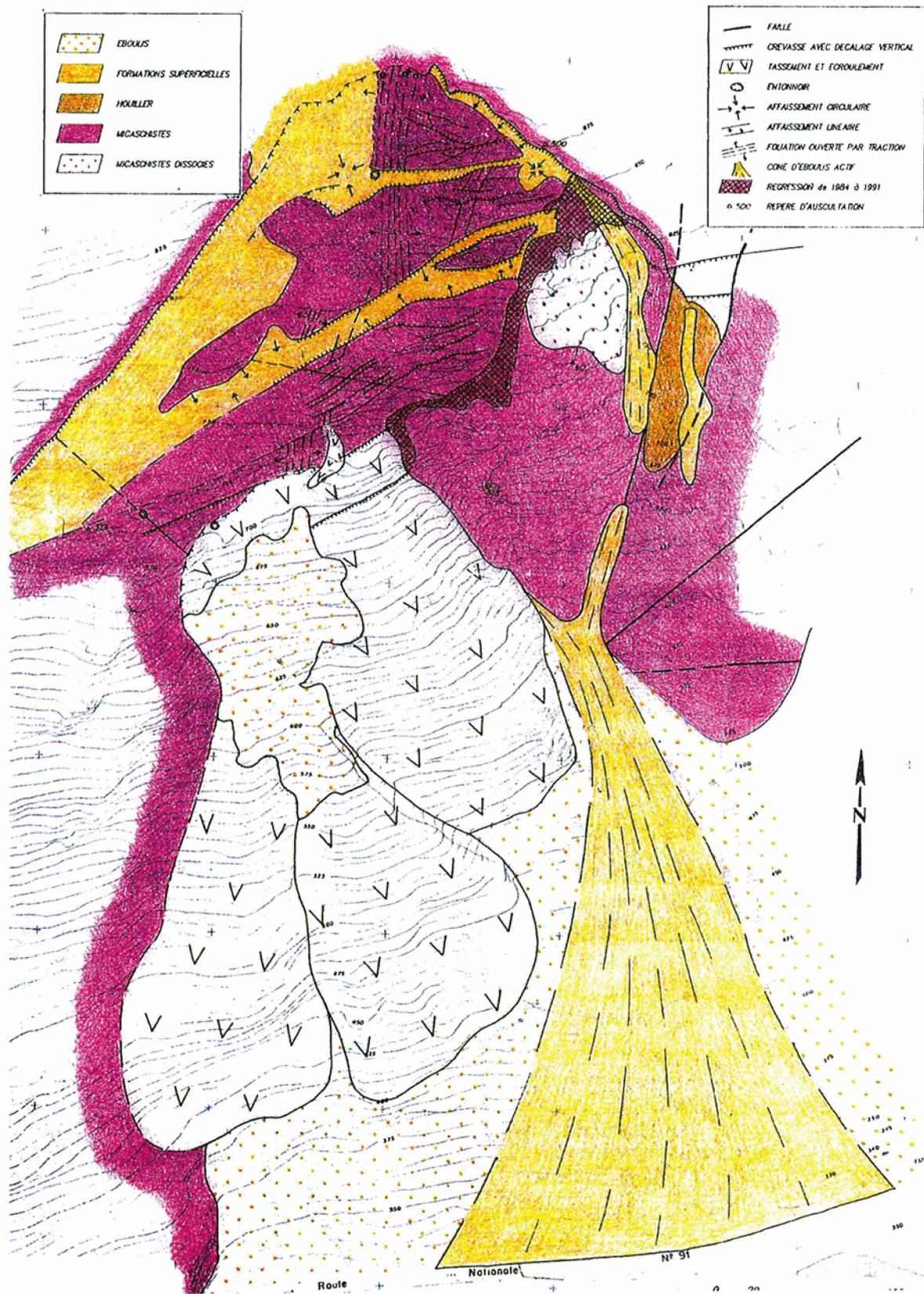
– séisme «d'Alleverd», 1994, Magnitude 2.5, de type coulissage également

##### *Géodynamique externe*

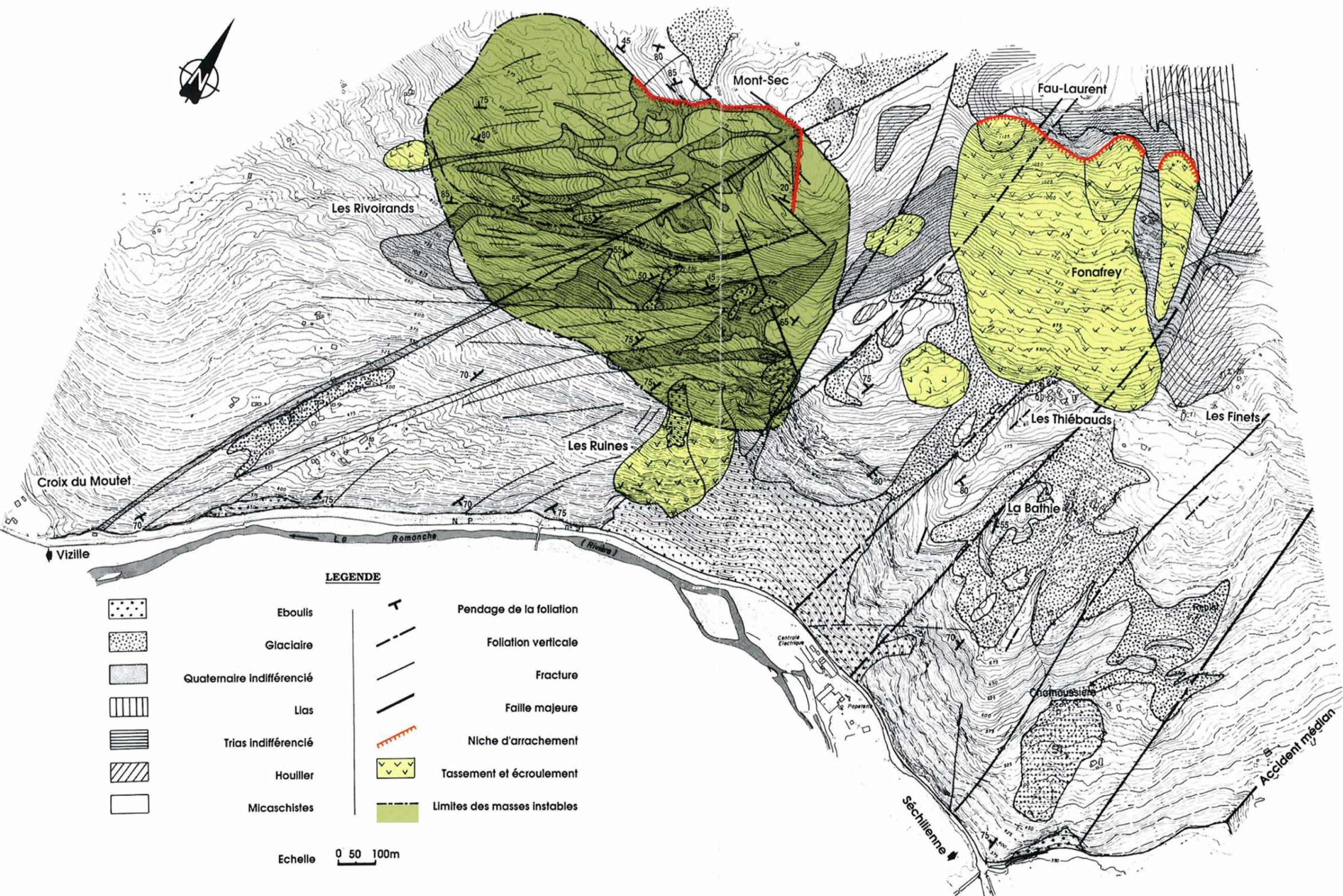
**Paléoclimatologie :** pas d'éléments.

**Histoire glaciaire :** Au quaternaire, les Alpes ont connu plusieurs glaciations, dont les dernières (Riss entre -300 000 et -100 000, et Würm entre -90 000 et -10 000) ont laissé leur empreinte dans le modelé de la vallée de Romanche (origine glaciaire des replats des Thiébauds et des Rivoirands, Antoine et al., 1987).

A son extension maximale, au Würm II (-90.000 à -35.000), le glacier a atteint 1400 m (placages morainiques du Mont-Sec). Ensuite, il a reflué lors de l'interstadiaire Würm II-III (vallée libre de glace?) avant une nouvelle incursion au Würm III (-35.000 à -24.000) jusqu'à 800 à 900 m d'altitu-



**Fig. 2.** Carte géologique de détail de la zone frontale la plus active.  
Le volume de cette zone, où les vitesses atteignent 20 cm/an, est estimé à 7 millions de m<sup>3</sup>.



**LEGENDE**

- |  |                           |  |                              |
|--|---------------------------|--|------------------------------|
|  | Eboulis                   |  | Pendage de la foliation      |
|  | Glaciaire                 |  | Folliation verticale         |
|  | Quaternaire indifférencié |  | Fracture                     |
|  | Lias                      |  | Faille majeure               |
|  | Trias indifférencié       |  | Niche d'arrachement          |
|  | Houiller                  |  | Tassement et écroulement     |
|  | Micascistes               |  | Limites des masses instables |

Echelle 0 50 100m

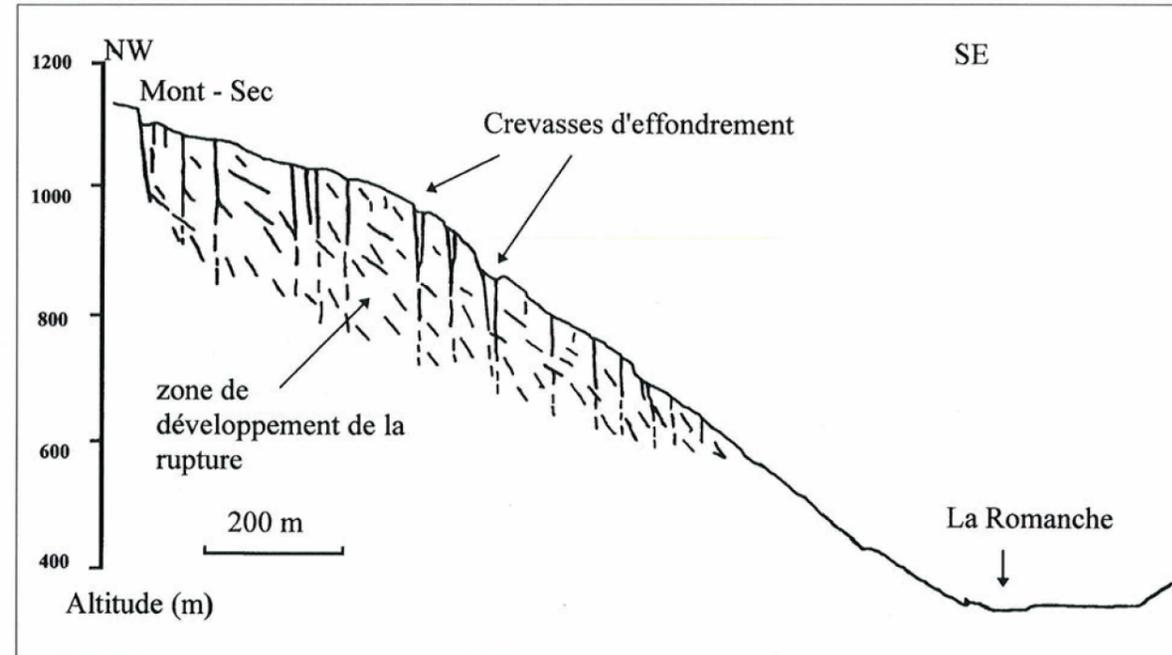


Fig. 3. Coupe schématique du versant des Ruines de Séchillienne. Les grandes fractures d'origine tectonique, proches de la verticale, sont pénétrantes sur plusieurs centaines de mètres. Il n'existe pas de surface de glissement continue prédéterminée mais un réseau de fractures discontinues inclinées vers la vallée.

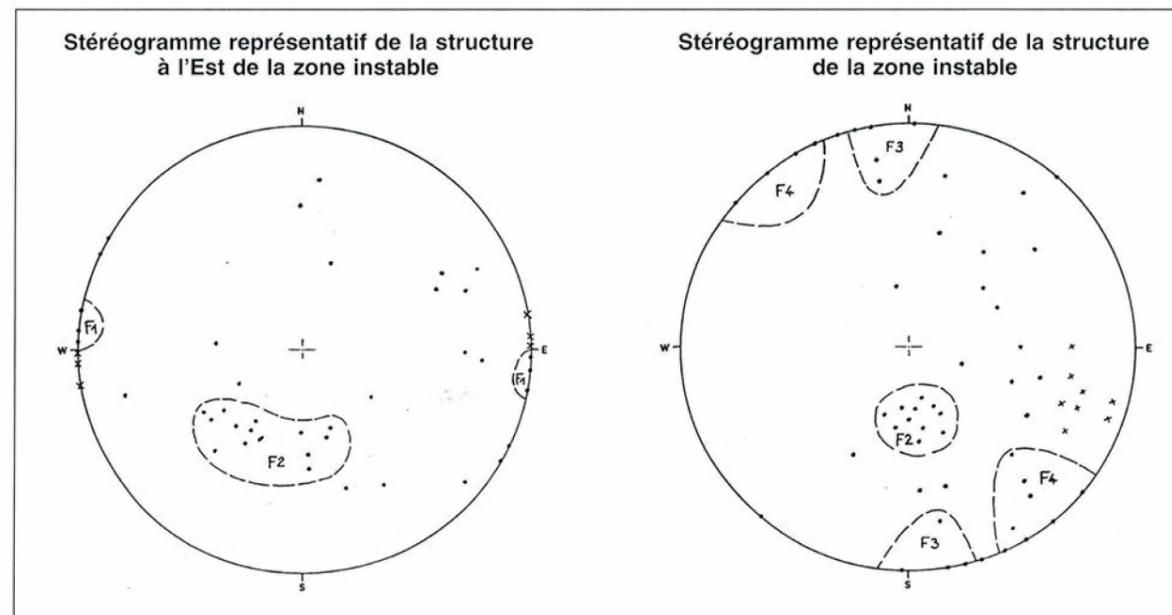


Fig. 4. Stéréogrammes représentatifs de la structure du massif à l'Est de la zone instable (a) et à l'intérieur de celle-ci (b). Convention : les pôles sont projetés sur le demi-hémisphère supérieur. On remarque que la zone instable se distingue du reste du massif par la présence des familles de fractures subverticales orientées E-W (F3) et NE-SW (F4).

**Carte géomorphologique du versant des Ruines de Séchillienne.**

La zone instable, entourée en pointillés, est marquée par de grandes dépressions E-W à NE-SW correspondant aux grandes fractures tectoniques qui contrôlent la déformation du versant.

de environ, suivie d'une lente et définitive fusion sur place.

**Altération :** Les périodes de fonte des glaciers sont propices aux déclenchements d'importants mouvements gravitaires sur les versants laissés libres :

- suppression d'une butée latérale (partielle);
- grande augmentation des pressions interstitielles liée à la fusion de la glace (particulièrement intense en versant Sud);
- «fatigue des massifs», c'est à dire détérioration de leur caractéristiques de résistance au cours du temps, accentuée par des écarts thermiques cycliques très importants.

Les micaschistes sont peu altérables dans l'ensemble, à l'exception des passées très micacées, plus litées, qui se dégradent mécaniquement par débit en plaquettes, ce qui favorise la dislocation de l'ensemble.

**Evolution fluviale ou torrentielle :** pas d'éléments.

**Action anthropique :** On trouve dans le versant deux types de travaux souterrains :

- les anciennes mines d'extraction filonienne de blende, galène, chalcopryrite.

Cette exploitation, vraisemblablement répartie sur une longue période, est antérieure à la Première Guerre Mondiale et on ne dispose pas du lever complet des galeries de ce versant de la vallée de la Romanche. Trois galeries de mines sont actuellement connues dans le versant instable, mais des indices de surface suggèrent la présence d'autres travaux miniers non encore reconnus ;

- la galerie d'aménée EDF de la chute de Péage de Vizille, creusée en 1948 (document schématique d'implantation et rapport géologique préalable de 1941 disponibles).

### 3.2. Description de la zone en mouvement

(Voir la Carte annexe dans le texte).

#### Géomorphologie

**Descriptive :** voir le fond topographique 1/5000 de 1985, utilisé pour la carte géologique (fig. 3). Le profil du versant au droit du Mont-Sec montre une pente assez homogène de 45° entre le fond de vallée (cote 325 m) et la base de la déformation sommitale du Mont-Sec, puis une pente moyenne de 20° jusqu'à la crête, ce qui est très faible pour un versant instable.

A l'Est du versant instable, la topographie est marquée par l'important replat du village des Thiébauds (entre 725 et 800 m), avec un pied de versant également à 45° (puis 30°)

Au pied du versant, l'épaisseur des alluvions atteint 80 à 100m, formant un surcreusement du substratum entre les seuils de Séchilienne et de la Croix du Moutet (20 m d'alluvions environ).

**Quantitative :** restitution au 1/5000 en mai 1986 et en 1994.

**Evolutive :** L'ordre de grandeur des déplacements ne permet pas de procéder à une comparaison automatique des deux modèles de terrain.

#### Lithologie

L'instabilité se développe dans une série très monotone de micaschistes peu altérés, présentant des alternances métriques à décamétriques, tantôt micacées tantôt plus quartzieuses (avec quelques niveaux plus compacts d'amphiboles).

Des lames minces ont été réalisées en 1994 sur six échantillons prélevés dans la partie basse du versant.

On note des filons de quartz avec traces de minéralisation, et la zone est bordée à l'est par des pincées de schistes houillers, de Trias et de Lias (voir fig. 2).

#### Données structurales et géomécaniques

Le secteur étudié montre clairement quelques grandes familles de discontinuités, en accord avec les grands traits structuraux de l'unité évoqués au «géodynamique interne» (fig. 4).

- La foliation métamorphique est sensiblement subverticale et méridienne dans la partie basse et médiane du versant, alors que la partie haute apparaît plus plissée. De nombreux mouvements de cisaillement sont décelables dans la foliation, donnant naissance à des accidents sub-méridiens tels que celui qu'a suivi la galerie de reconnaissance de la cote 710m jusqu'au PM 35. Cette galerie creusée en 1994 est décrite au chapitre 5 «Moyens de reconnaissance mis en oeuvre».

- On retrouve les grandes structures hercyniennes: failles N-S (comme l'accident qui limite à l'est la zone frontale inférieure Est) et de grandes fractures sensiblement E-W (absentes entre la zone instable et l'axe médian) qui ont permis le découpage du versant en lanières verticales. Elles ont été réactivées en ouverture par la compression E-W de la phase Alpine débutant au Tertiaire.

- On retrouve également les fractures conjuguées NE-SW dextres et NW-SE senestres attribuées à une compression sensiblement E-W lors de la phase Alpine.

- On observe de plus des fractures à pendage vers le sud. Certaines, discontinues et à très faible pendage vers le sud, présentent des caractères de fentes de traction et peuvent aussi résulter de cette phase de serrage, traduisant un étirement de la masse rocheuse vers le haut. Mais celles qui sont plus pentées pourraient être intimement liées à la décompression du massif à proximité du versant lors du creusement de la vallée et des fusions suc-

cessives du glacier, par le biais des déformations indépendantes des compartiments étirés («lanières»).

Cette déformation par flexion globale vers l'aval crée des conditions favorables à la propagation de ces fractures («tractions» sur la face arrière des lanières et «cisaillement» en pied), qui en retour autorisent le développement de ce mécanisme complexe de déformation du versant.

Les fractures à pendage sud (aval) sont omniprésentes et réparties de façon homogène dans tout le versant étudié et le plus souvent discontinues.

La comparaison entre la zone en mouvement et la zone stable à l'Est révèle que c'est la combinaison de ces discontinuités avec les accidents E-W et NE-SW qui crée les conditions d'instabilité. Cette présomption est renforcée par le fait que les niches d'arrachement du sommet du Mont-Sec et du sommet de la zone «active» inférieure Est sont en grande partie délimités par ces accidents.

De plus, lors de la visite de la galerie d'aménée EDF de Vizille (cote 430, orientée E-W), les fractures E-W n'ont été observables qu'au droit de la zone instable.

## 4. CLIMATOLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE

### 4.1. Conditions d'alimentation

#### *Pluviométrie*

**Bassin versant :** l'instabilité des «Ruines de Séchilienne est située sur le versant S-E de l'épéron qui s'étend entre le Pic de l'Oeilly (1547m) et la Croix du Moutet dans la vallée de la Romanche (310m), d'orientation SW-NW.

Le bassin versant topographique du versant des Ruines de Séchilienne est de l'ordre de 218 ha (2.18 km<sup>2</sup>), entre la Croix du Moutet et la limite Est de l'instabilité. La superficie de la zone instable est de 72 ha (0.72 km<sup>2</sup>), avec un bassin-versant topographique de l'ordre de 110 ha (1.1 km<sup>2</sup>) difficile à évaluer du fait de la topographie peu marquée du replat du Mont-Sec.

On dispose de peu d'informations sur le bassin-versant hydrogéologique efficace qui alimente le versant instable, mais les hypothèses actuelles d'interprétation du comportement hydromécanique du site poussent à considérer une étendue bien supérieure à celle du bassin-versant topographique.

**Points de mesure :** depuis 1992 on dispose d'une station météorologique spécifiquement installée au sommet du Mont-Sec. Avant 1992, les précipitations et l'évapotranspiration étaient estimées à partir des données des stations météo voisines de Saint Martin d'Hères et du Rivier d'Allemont (1280 m).

Il serait intéressant de disposer d'informations plus anciennes, même qualitatives, relatives à des périodes très pluvieuses ou des désordres (ex: récit de la crue de 1940 dans le rapport de l'étude hydraulique Sogreah).

**Valeurs :** les graphes représentatifs des données recueillies depuis 1969 sont présentés sur la figure 6a, sans différencier la nature des précipitations (pluie/neige/fonte). Cette distinction, importante pour corréler finement le suivi du site avec les observations météorologiques, est possible depuis l'installation de la station du Mont-Sec en 1992.

**Régime :** l'observation du graphe de la figure 6a ne permet pas de dégager une tendance nette dans l'évolution des précipitations affectant la vallée de la Romanche depuis 1969. Il n'y a pas de tendance climatique, mais l'année 1985 clôture une période de moindres précipitations depuis l'année 1982, succédant à une succession d'années à fort cumul annuel (1979 à 1983).

Les graphes des figures 6a et 6b permettent de constater que les fortes précipitations ont lieu préférentiellement à l'automne et au printemps, cette répartition ayant été particulièrement marquée au cours des années 1992 et 1993 (fig. 7a).

#### *Nivométrie*

**Bassin versant :** on se reportera aux observations faites plus haut pour le bassin versant hydrogéologique, mal connu, en remarquant que pour la neige, les phénomènes de transport par le vent, d'accumulation et l'influence de l'exposition augmentent l'incertitude.

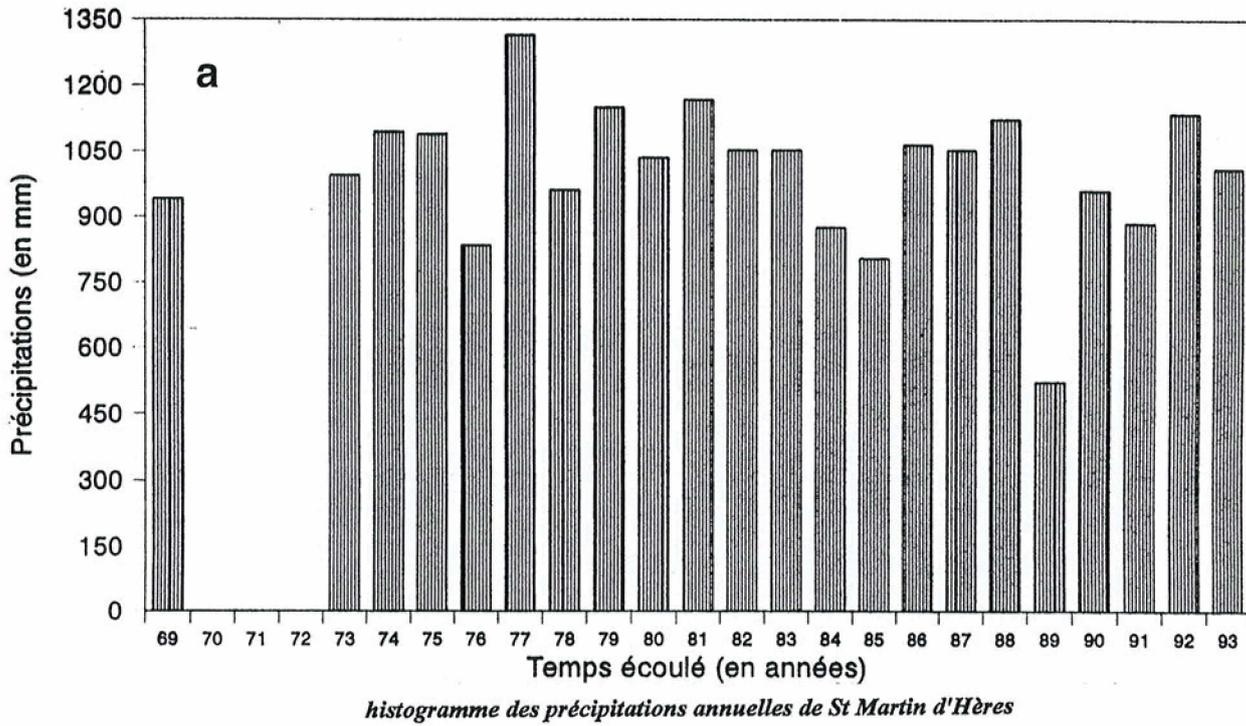
**Points de mesure :** Les stations météo voisines (Saint Martin d'Hères, Rivier d'Allemont...) ne sont a priori pas représentatives des conditions d'enneigement et de fonte sur le versant sud du Mont-Sec. Depuis 1992 on dispose d'une station météo au sommet du Mont-Sec qui permet de s'affranchir de cette incertitude. On pourra peut-être aussi mieux utiliser les mesures antérieures sur les stations voisines (pour les études de corrélation entre météo et déplacement) à la lumière des comportements comparés entre stations depuis 1992.

**Valeurs:** voir les histogrammes de la station du Mont-Sec (fig. 5b)

**Régimes:** remarquons la difficulté à dégager des éléments précis concernant le ou les régimes nivométriques affectant le versant Sud du Mont-Sec. On peut tout de même signaler la tendance de ces dernières années qui ont connu un enneigement relativement important et tardif alors que les périodes hivernales étaient plus sèches.

**Conditions de la fonte des neiges :** pas d'éléments.

SAINT-MARTIN-D'HÈRES - Hauteurs annuelles des précipitations - 1969 → 1993



SECHILIENNE - Télé-Nivomètre - Avril 1994

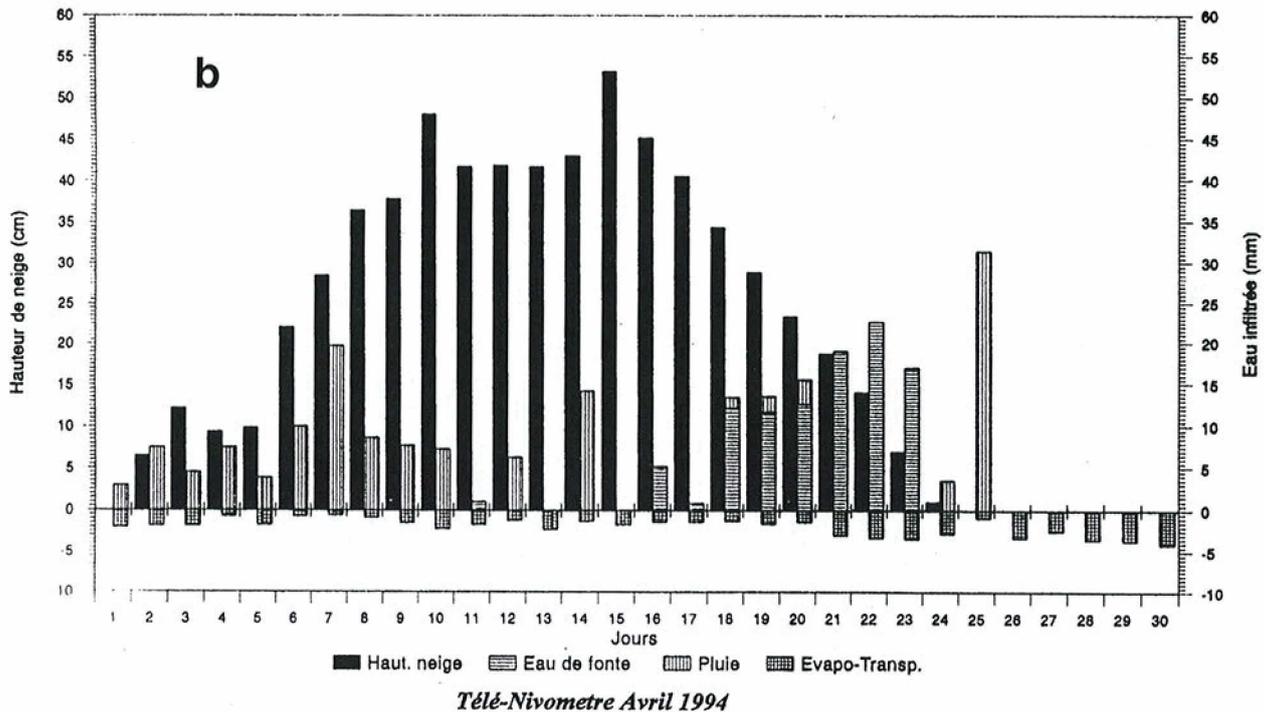
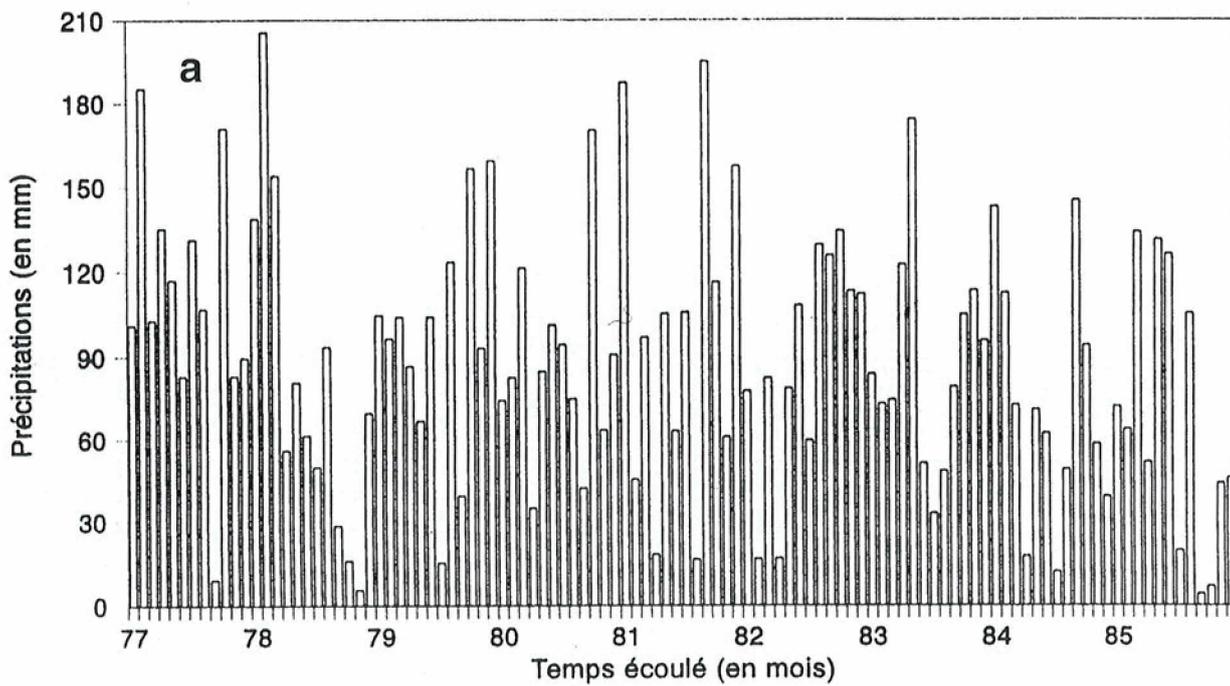


Fig. 5. (a) Hauteurs annuelles des précipitations relevées au centre météorologique de Saint-Martin d'Hères, près de Grenoble.  
 (b) Mesures quotidiennes de précipitations enregistrées en avril 1994 par la station du Mont-Sec.

SAINT-MARTIN-D'HÈRES - Hauteurs mensuelles des précipitations - 1977 → 1985



SAINT-MARTIN-D'HÈRES - Hauteurs mensuelles des précipitations - 1986 → 1993

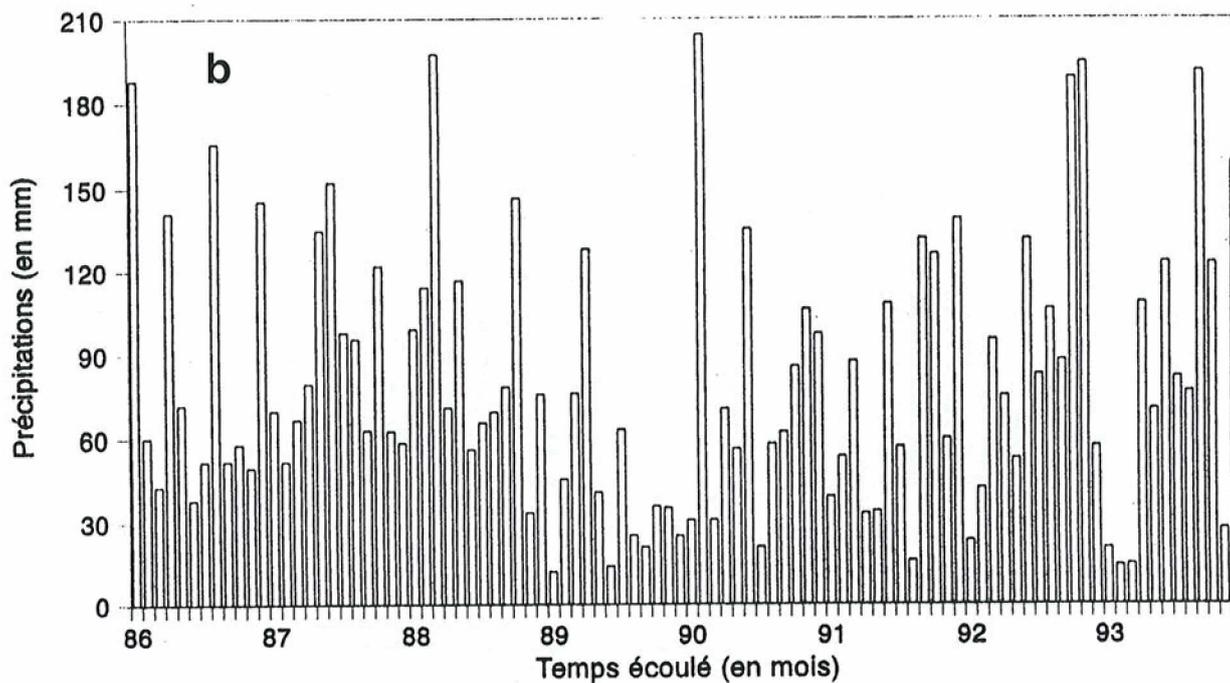


Fig. 6. Histogrammes des précipitations mensuelles relevées au centre météorologique de Saint-Martin d'Hères, près de Grenoble.  
(a) de 1977 à 1985  
(b) de 1986 à 1993.

### Débit des cours d'eau

**Torrents collecteurs:** Néant.

**Affluents:** Néant.

**Sources:** en surface Néant; dans la galerie à la cote 585 m, les venues d'eau sont notables et régulières en hiver.

### Températures

Les températures sont enregistrées automatiquement par la station du Mont Sec (fig. 7b).

De plus, chacune des quatre balises de télésurveillance est équipée de sonde de température, mais ces mesures ne répondent pas aux normes.

Le versant se développant sur une dénivelée de 900 m, cela crée une différence de température moyenne de 5° environ.

## 4.2. Conditions d'infiltration

**Altitude, pentes, exposition :** le versant se développe entre les cotes 330 et 1120 m, en versant S-E, avec des pentes principalement boisées inclinées entre 20° dans la partie haute et 35 à 45° dans la partie médiane.

**Evapotranspiration potentielle :** elle est estimée par le centre météo de Saint Martin d'Hères à l'aide d'une formule intégrant la température moyenne, le vent, l'exposition, la période de l'année et la latitude, pour un sol de référence engazonné, ce qui pose la question de la représentativité de cette valeur d'ETP pour Séchilienne où plusieurs paramètres diffèrent notablement.

L'ordre de grandeur de l'ETP est faible devant celui des précipitations mais son impact est important sur la qualité des corrélations entre déplacements et précipitations effectuées au CETE de Bron.

**Perméabilité du sous-sol :** dans la partie instable, à proximité de la surface, la conductivité de fissure est très grande du fait de la désorganisation. En profondeur, elle semble hétérogène dans la zone moins disloquée rencontrée au fond des galeries (mine à la cote 585 m et galerie de reconnaissance à la cote 710m).

**Réseau hydrographique :** néant sur le site instable, normal en dehors (ruisseaux à l'Est).

## 4.3. Exutoires

On n'a jamais relevé d'émergence dans le secteur instable ni près de sa base, mais les résultats de l'auscultation effectuée depuis 1985 montrent

une variation cyclique «saisonnière» des vitesses de déplacement, qui indique un contrôle hydraulique de la vitesse de déformation du versant.

Il est donc probable que la nappe profonde du versant se raccorde à celle de la Romanche à une cote inférieure à celle de la vallée actuelle (l'épaisseur du remblayage alluvial est proche de 100 m à ce niveau de la vallée).

## 4.4. Hypothèses pour les circulations aquifères

Malgré la dislocation observée en surface, cela amène à penser qu'il subsiste dans le massif une perméabilité de fracture suffisamment faible pour permettre l'élévation du niveau piézométrique lors de longues périodes humides et une baisse lente et régulière de celui-ci en période sèche.

Des corrélations plus fines entre mesures extensométriques et pluviométrie (données de la station météorologique installée sur la crête) indiquent que le cumul des apports hydriques sur environ deux mois crée la composante cyclique «saisonnière» (basse fréquence) dont le niveau «haut» autorise des crises de vitesse de déplacement intenses (cumul des apports hydriques sur une semaine environ).

Ce schéma «à double détente» suggère l'existence de deux mécanismes distincts et complémentaires :

– l'infiltration directe des eaux météoriques dans le bassin versant (susceptibles de s'écouler dans la zone supérieure du massif à la faveur de fractures ouvertes pentées vers le Sud (écoulements observés dans la galerie cote 585 m)

– des circulations profondes liées à une alimentation plus globale du massif au gré des fractures privilégiées. Ces circulations ont pu être observées à un niveau d'étiage lors de la visite de la galerie d'amenée EDF de Vizille en août 1993 et peuvent être alimentées par un bassin versant réel bien supérieur aux bassins versants topographiques. Il faudrait pour le connaître caractériser les rôles hydrauliques respectifs de la foliation et des fractures E-W.

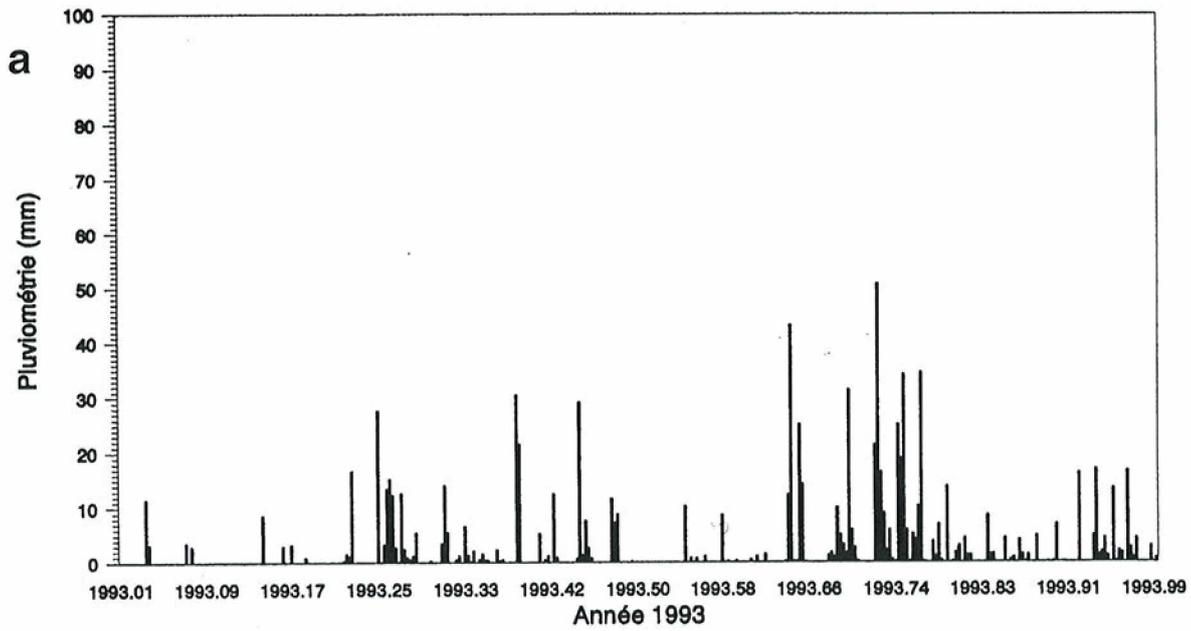
## 4.5. Données extrêmes

**Circulations souterraines à distance :** pas d'éléments.

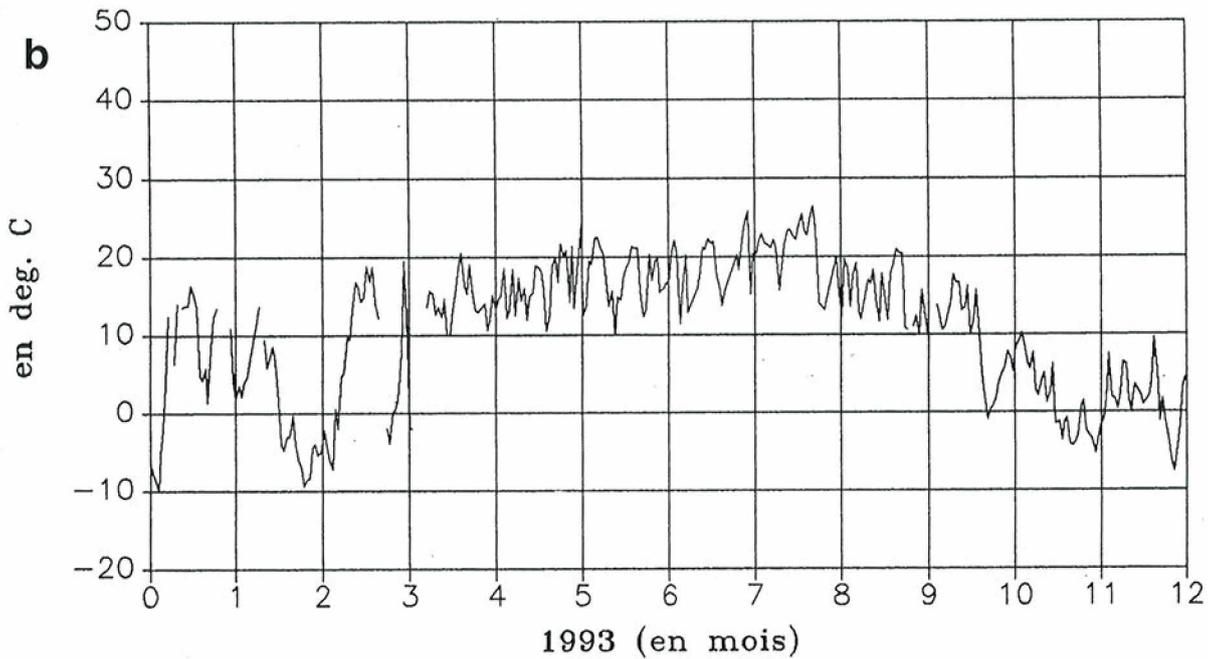
**Alimentations extrêmes :** la période continue la plus pluvieuse enregistrée par la station du Mont Sec est celle d'octobre-novembre 1992, avec un total de 400 mm en deux mois.

En juillet 1973, la station de Saint Martin d'Hères a enregistré un cumul de 280 mm.

SECHILIENNE - Pluviométrie 1993



SECHILIENNE - Télésurveillance - Balise 3



**Fig. 7.** (a) Histogramme des précipitations relevées par la station météorologique du Mont-Sec en 1993.  
(b) Graphe des températures relevées en 1993 dans le versant par la balise de télésurveillance n. 3.

## 5. TECHNIQUES DE RECONNAISSANCE MISES EN ŒUVRE

Deux types distincts de reconnaissances ont été effectuées sur le site, en surface et en profondeur:

– cartographie géologique (1/1000 pour la zone frontale inférieure Est, 1/5000 pour tout le versant rive droite de la Romanche), levés structuraux d'affleurements et des galeries (celle de la cote 585m se développe sur 240 m dans la direction N-S), photo-interprétation.

– creusement en 1994 d'une galerie de reconnaissance orientée N/S, de 240m de long, à la cote 710 m, et lever structural correspondant (fig. 21).

Coût des travaux (installation, piste, sécurité, creusement, cintrage): 2,5 MF.

Ce projet a été préféré à une série de cinq sondages verticaux depuis la surface, dont le coût était équivalent mais l'exploitation très problématique.

## 6. ANALYSE DES DONNÉES D'AUSCULTATION

### 6.1. Les objectifs de l'auscultation

La conception d'un dispositif d'auscultation du site répond à deux objectifs distincts :

– l'analyse des mouvements et l'identification des mécanismes en vue de la compréhension du phénomène ;

– la mise en place d'une infrastructure de surveillance du site permettant de gérer les aspects de sécurité, dans le cadre de la protection des zones exposées à un éboulement. Cette infrastructure comprend, outre l'instrumentation du site, la mise en oeuvre d'une procédure de préalerte et d'alerte définie dans un plan de secours, en cas d'aggravation détectée et jugée dangereuse par les experts responsables.

### 6.2. Le dispositif d'auscultation

Un premier dispositif d'auscultation et de surveillance a été mis en place en 1985 par le LRPC de Lyon puis complété en 1988 et 1993. Il comporte trois systèmes de mesure complémentaires et indépendants destinés à analyser les mouvements d'ensemble et les déformations locales de la zone instable: un réseau d'auscultation géodésique, un réseau de télésurveillance et une cinquantaine de repères topométriques.

– **le réseau d'auscultation géodésique** couvre l'ensemble du versant rive droite de la Romanche entre la Bathie et les Rivoirands, avec un large canevas d'appui (fig. 9). Il comporte actuellement 35 points de mesure et a été diversifié en faisant appel aux méthodes de géodésie optique (triangulation, mesures de distances) et satellitaires

(méthode GPS) et la précision de détermination des points permet d'assurer une incertitude inférieure à 1 cm sur les composantes des vecteurs déplacement;

Coût d'établissement du réseau initial (canevas d'appui +17 points): 500 kF.

Coût de l'équipement complémentaire (18 points): 300 kF.

Coût d'une campagne géodésique complète (annuelle): 150 kF.

– **le réseau de télémessure extensométrique** assure depuis le Centre d'Exploitation de Lyon (implanté au CETE de Bron) un suivi permanent des 26 capteurs extensométriques installés sur les principales fractures du site et reliés par les balises radio au terminal de site des Thiébauds (fig. 8). Ce terminal interroge les balises toutes les heures en temps normal et tous les quarts d'heure en cas de crise (les paramètres du processus de mesure sont modifiables depuis le Centre d'Exploitation de Lyon) mais il assure également le contrôle technique du réseau et le contrôle des mesures, qui sont comparées à des valeurs prévisionnelles calées sur les trois jours précédents. En cas d'anomalie ou de dépassement de seuil, le terminal alerte en conséquence le personnel d'astreinte (messages vocaux téléphoniques, alphanumérique).

Coût de l'équipement et de l'installation : 2 MF.

Coût de la maintenance et du suivi quotidien : 300 à 500 kF/an.

– **une cinquantaine de repères topométriques** équipent les principales fractures et permettent le contrôle et le recalage des capteurs extensométriques télésurveillés. Le matériel de mesure est constitué d'un jeu de fils Invar (portable) régulièrement étalonnés au LPC de Lyon et d'un dynamomètre gradué (mise en tension normalisée des fils). La longueur des bases de mesure peut atteindre 50 m, la précision est de 0,1 à 0,5 mm selon la longueur de la base.

Coût d'une base : 500 à 15000 F HT suivant la nature (spit, potence...).

Coût de la valise complète de matériel de mesure : 50 kF HT.

### 6.3. Analyse des mesures d'auscultation géodésique

Les déplacements des repères géodésiques (fig.10 et fig. 11) confirment l'existence d'un mouvement actif affectant l'ensemble de la partie supérieure du massif sous le Mont-Sec : les déplacements cumulés depuis 1988 sont compris entre 10 cm et 25 cm, avec une amplification notable sur le front de la partie inférieure Est (>85 cm). Ces données appellent plusieurs observations :

– l'homogénéité d'ensemble des mesures confirme l'hypothèse d'une déformation intéressant

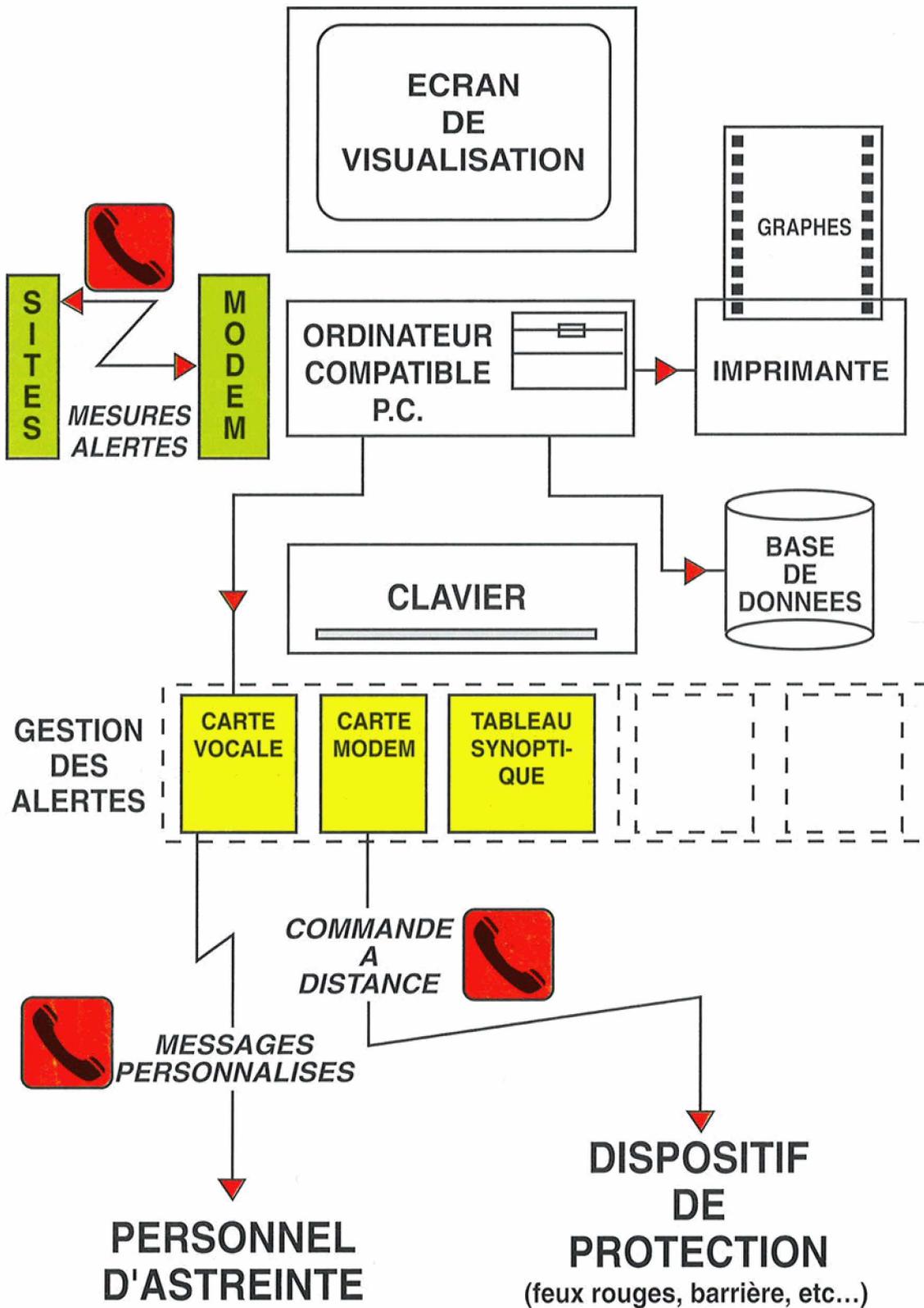
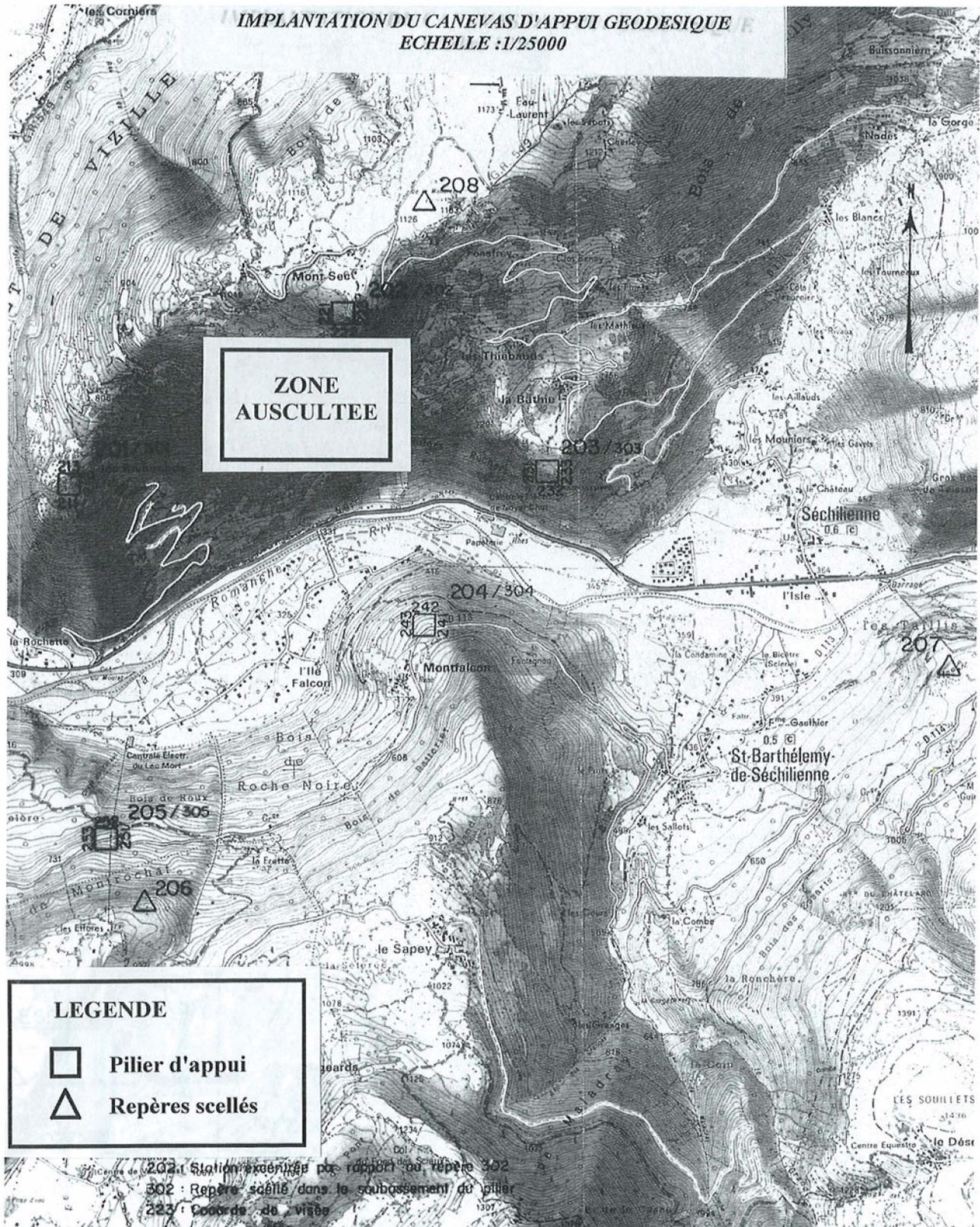
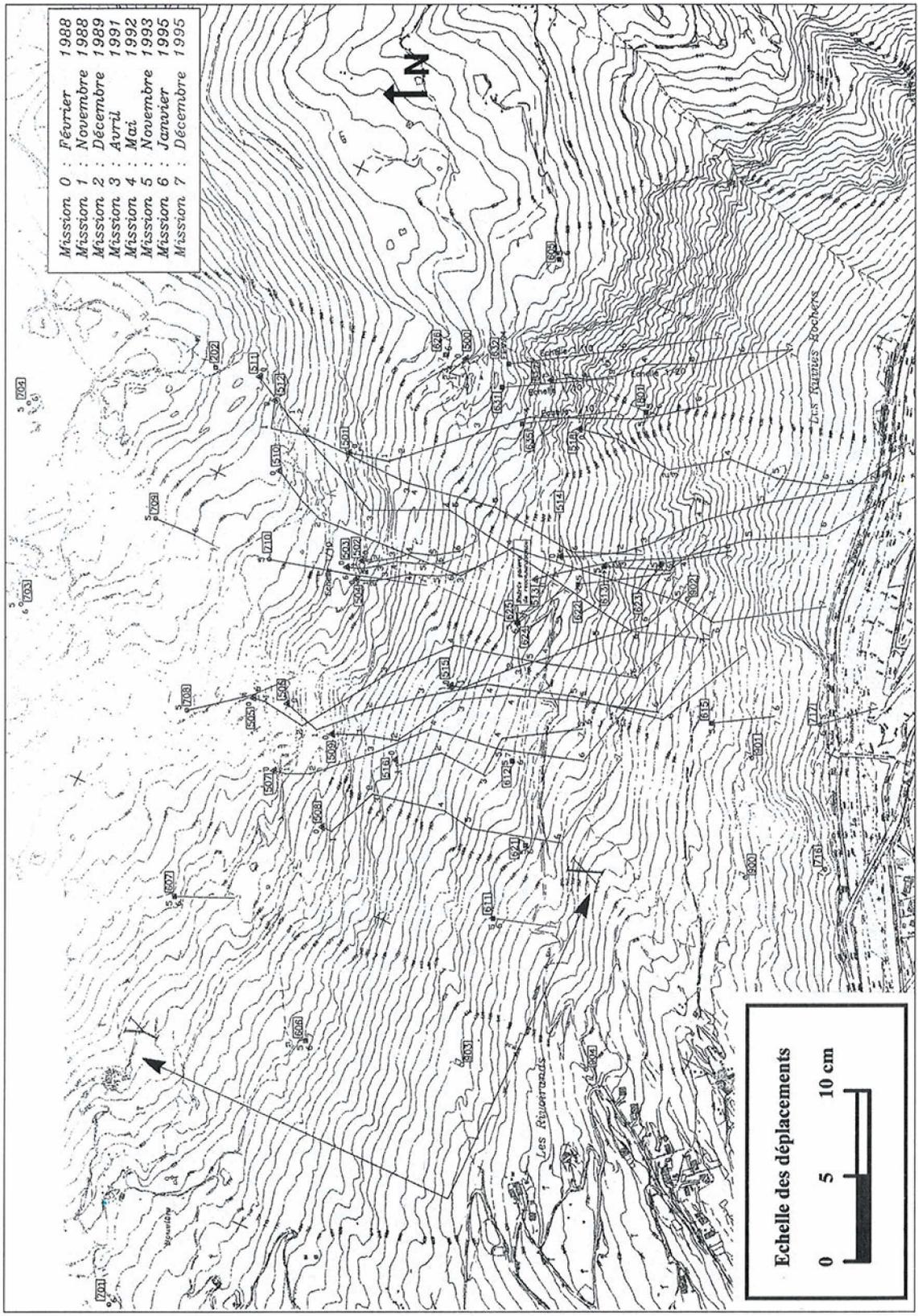


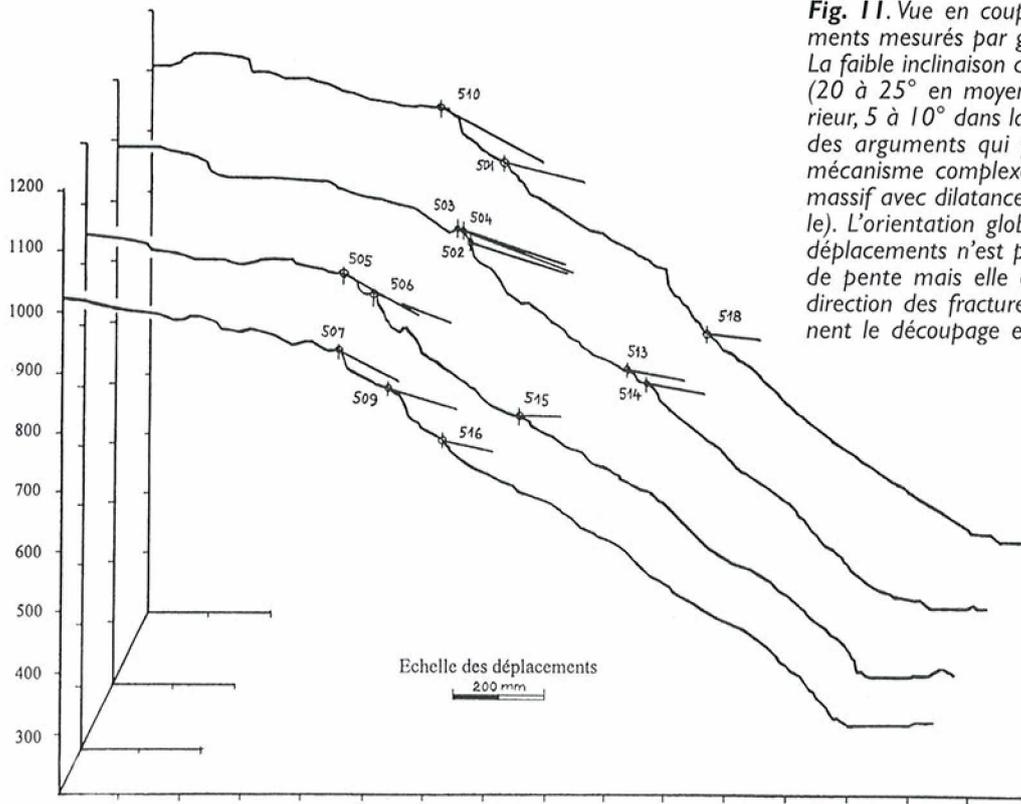
Fig. 8. Schéma du dispositif de télésurveillance. Les mesures des 26 capteurs extensométriques sont transmises au terminal des Thiébauds par quatre balises radio à intervalle de temps choisis (normal : 1h, crise : 1/4h). Le terminal de site vérifie ces mesures et les transmet périodiquement au centre d'exploitation du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Lyon. Des messages d'alerte sont adressés au personnel d'astreinte en cas d'anomalie ou de dépassement de seuil.



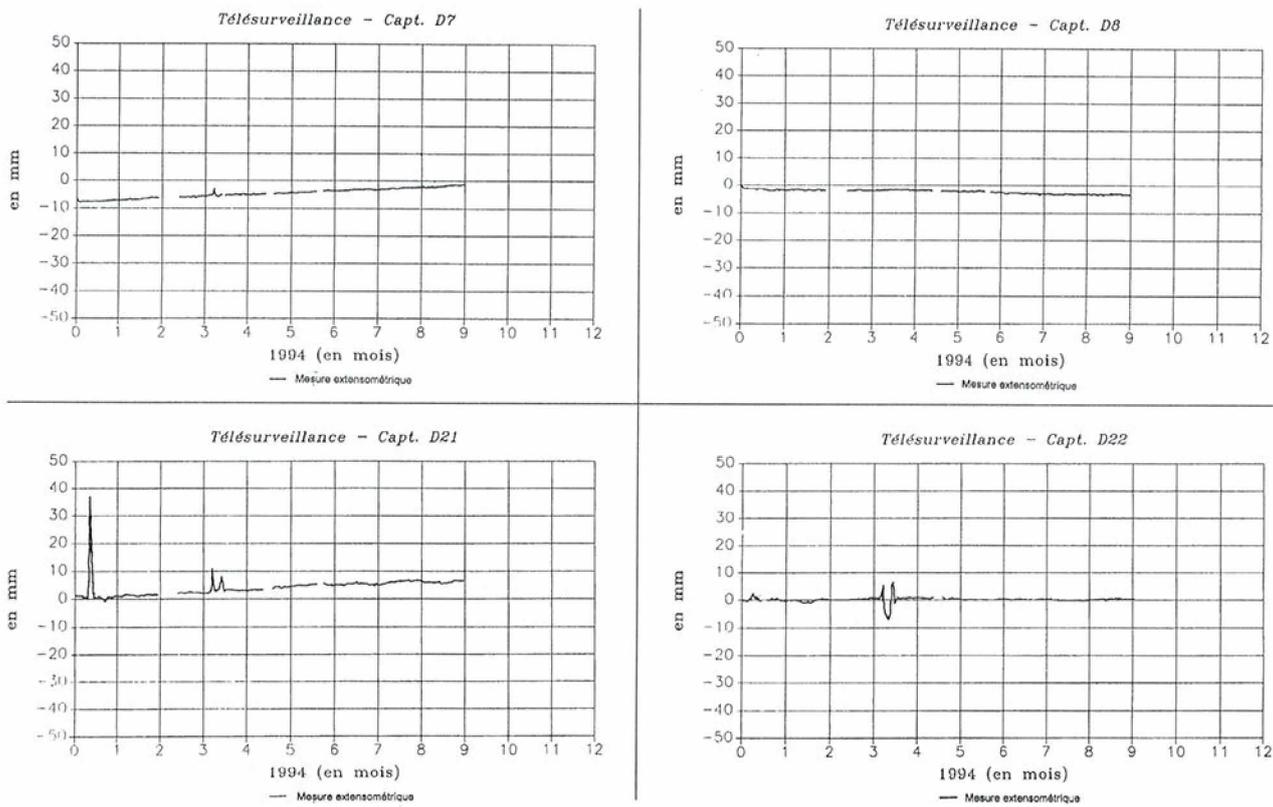
**Fig. 9.** Implantation du canevas d'appui géodésique. Les mesures des 35 points du réseau, effectuées annuellement de 1988 à 1996, sont répétées plus fréquemment depuis 1996 grâce à l'installation d'un théodolite à visée automatique. La précision de détermination des points permet d'obtenir une incertitude inférieure à 1 cm sur les composantes des vecteurs déplacement. Le réseau de mesures optiques est complété par des mesures satellitaires (GPS).



**Fig. 10.** Auscultation géodésique du versant Sud du Mont-Sec. Les déplacements planimétriques mesurés de février 1988 à décembre 1995 confirment l'existence d'un mouvement actif affectant l'ensemble de la partie supérieure du massif. Ils sont relativement homogènes à l'exception de la zone frontale la plus active (à l'Est) où ils atteignent 20 cm/an.



**Fig. 11.** Vue en coupe des vecteurs déplacements mesurés par géodésie.  
 La faible inclinaison des vecteurs déplacement (20 à 25° en moyenne dans la partie supérieure, 5 à 10° dans la partie inférieure) est un des arguments qui plaident en faveur d'un mécanisme complexe de rupture interne du massif avec dilatace (déformation horizontale). L'orientation globale N150 des vecteurs déplacements n'est pas celle de la plus grande pente mais elle est perpendiculaire à la direction des fractures majeures qui déterminent le découpage en «lanières» du versant.



**Fig. 12.** Ouverture fractures mesurées en 1994 par les capteurs de la balise 2 dans le haut du versant. Capteurs D21, D22, D7, D8.

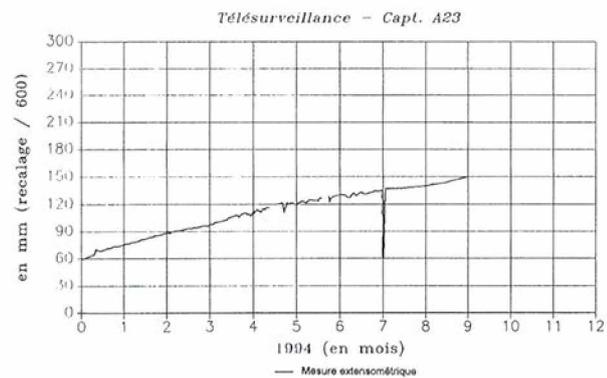
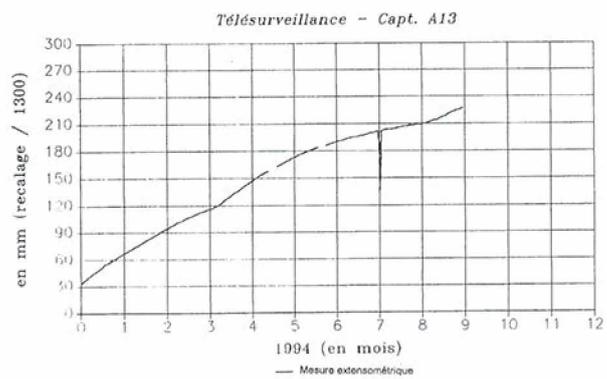
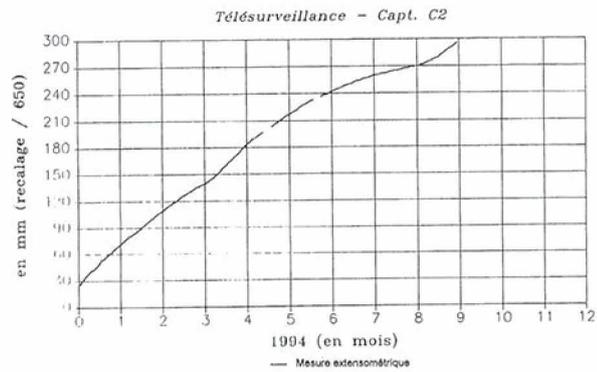
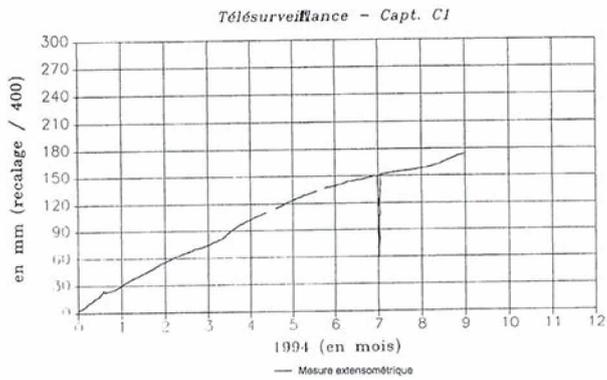


Fig. 13. Ouverture fractures mesurées en 1994 par les capteurs de la balise 3 dans le bas du versant. Capteurs A13, A23, C1, C2.

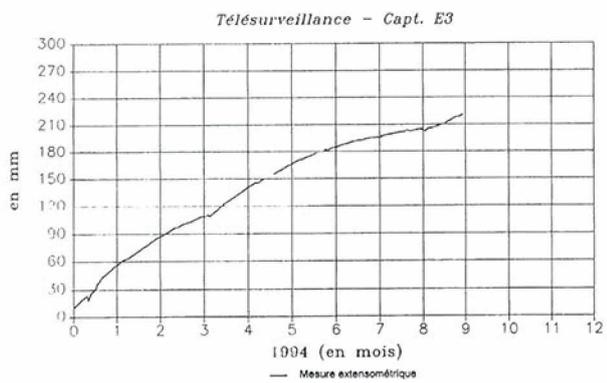
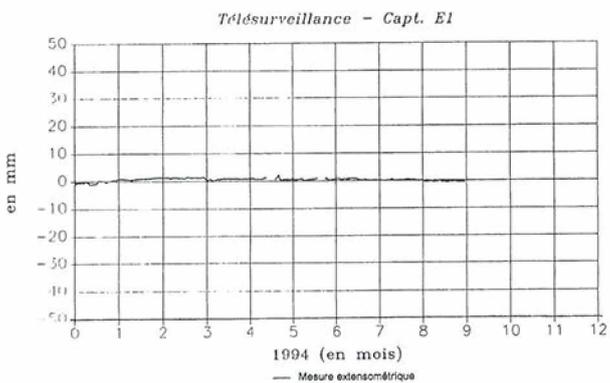
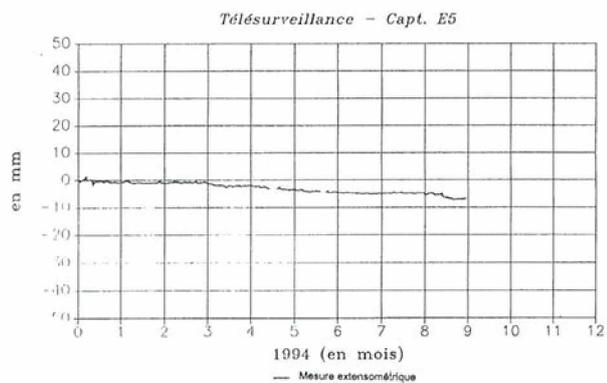
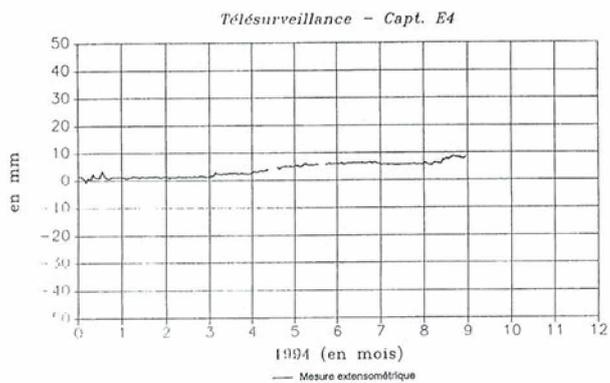


Fig. 14. Ouverture fractures mesurées en 1994 par les capteurs de la balise 3 dans le bas du versant. Capteurs E1, E3, E4, E5.

l'ensemble de la partie supérieure du versant (amplifiée localement au débouché de la limite Est de la zone instable) ;

– les déplacements sont supérieurs dans le haut du versant (limite inférieure remontant dans le versant vers l'Ouest) et les plus importants sont observés dans la partie Est du tassement du Mont-Sec, dont la morphologie semble bien indiquer une déformation plus marquée ;

– l'évolution depuis 1988 montre une tendance générale à l'accentuation des mouvements dans toutes les zones (moyenne 3 à 6 cm/an, avec 20 cm/an pour la zone frontale inférieure Est) ;

– le repère géodésique 500 révèle la présence d'un épaulement stable le long de la limite Est au-dessus de la zone frontale intérieure, dont la résistance joue probablement un rôle important dans le contrôle de la déformation du versant supérieur ;

– les vecteurs déplacements sont en moyenne orientés N150, normaux à la direction des fractures majeures déterminant le découpage en lanières du versant (donc oblique par rapport à la pente, ce qui confirme le contrôle structural de la déformation) ;

– les vecteurs déplacement sont faiblement inclinés: 20 à 25° en moyenne dans la partie supérieure et 5 à 10° dans la partie inférieure. Ces inclinaisons sont très inférieures à la pente du versant et indiquent l'existence d'une importante déformation horizontale (comportement dilatant).

#### 6.4. Analyse des mesures extensométriques

L'analyse des données extensométriques confirme l'existence d'une déformation de toute la zone active, croissante avec le temps, avec des ouvertures de fractures sur la limite Est en accord avec les mouvements observés par géodésie et notamment plus grandes (10 à 30 fois) dans la zone frontale Est en dislocation active (voir les graphes des ouvertures enregistrées par les balises 2 et 3: fig. 12-13-14-17).

L'existence d'une composante cyclique nette dans l'ouverture des fractures de la zone frontale (accélération en hiver et au printemps, ralentissement en été et à l'automne fig. 15) traduit l'influence d'une commande hydraulique du mécanisme d'évolution. Celle-ci est confirmée par l'étude des corrélations entre les vitesses de déformation et les apports hydriques cumulés du massif (données de la station météorologique du Mont-Sec, corrigées de l'évapotranspiration et de la fonte de neige fig. 16). Cette étude fait apparaître pour la zone frontale inférieure une réponse intégrée correspondant à des effets à moyen et long terme traduisant le comportement hydrogéologique complexe du site.

#### 6.5. Centrale d'acquisition sismo-acoustique

Une centrale d'acquisition équipée de trois géophones a été installée en 1993 dans une galerie de mine à la cote 900 m.

Le dépouillement des enregistrements exploitables avec le concours du Laboratoire de Géophysique Interne et de Tectonophysique (IRIGM, Grenoble) a permis d'observer une activité sismo-acoustique du site. Des études plus fines du contenu fréquentiel et énergétique des signaux sont en cours.

### 7. ETAT ACTUEL DE LA MODÉLISATION

#### 7.1. Modèle géologique

La masse instable est formée de micaschistes sains hétérogènes (passées micacées et mylonites observées en galerie), avec une foliation d'allure isoclinale sensiblement subverticale.

Elle est limitée latéralement à l'Est par un accident N-S et s'enracine à W dans l'épaulement des Rivoirands.

La limite inférieure de la zone active est située à mi-pente, remontant obliquement vers W, et la limite supérieure correspond à l'escarpement du Mont Sec.

#### 7.2. Modèle hydrogéologique

Aucun modèle simple ne répondant aux observations réalisées, on a été conduit à retenir des hypothèses dessinant un modèle complexe :

– une alimentation de fond due au massif arrière du Mont Sec («réservoir») ;

– une zone d'écoulement à faible profondeur à la limite de la zone disloquée (contraste de conductivité) ;

– des échanges entre ce niveau «superficiel» et le niveau plus profond du massif qui s'écoule probablement sous le fond de vallée vers la nappe inférieure de la Romanche.

#### 7.3. Modèle hydraulique

Pas d'éléments fiables actuellement.

La difficulté à bâtir un modèle hydraulique du site (pourtant capital pour sa compréhension) provient tout d'abord de l'indétermination globale des conditions d'écoulement et d'alimentation aux limites : le niveau de la «nappe du Mont Sec» n'est pas connu, non plus que celui de la nappe inférieure de la Romanche où doit s'écouler le débit qui transite par le versant.

De plus, les observations faites dans le versant sont extrêmement rares et difficiles à interpréter :

– les écoulements observés dans la galerie cote 585 m durant l'hiver peuvent être dus à l'infiltra-

## SECHILIENNE - Capteur extensométrique A22+A16

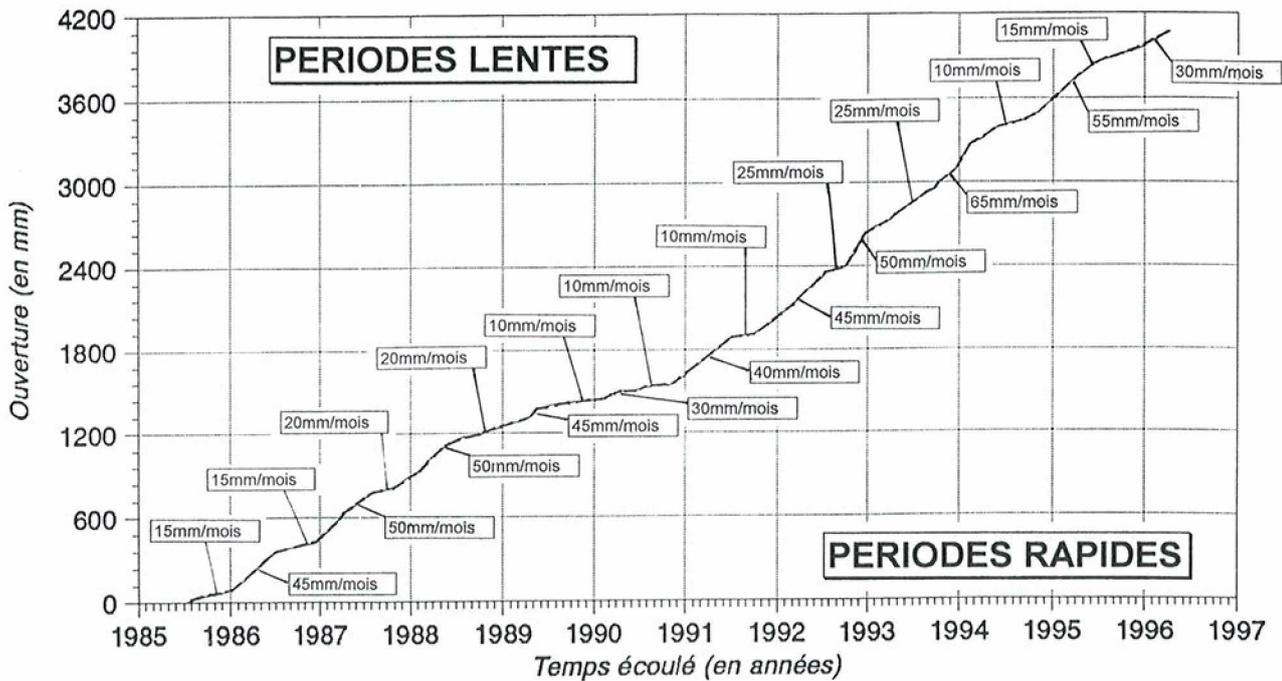


Fig. 15. Mesures extensométriques de l'ouverture de la crevasse en tête de la zone frontale la plus instable, de 1985 à 1996. L'alternance saisonnière de périodes rapides (30 à 65 mm/mois) et de périodes lentes (10 à 25 mm/mois) indique un contrôle hydraulique des déformations.

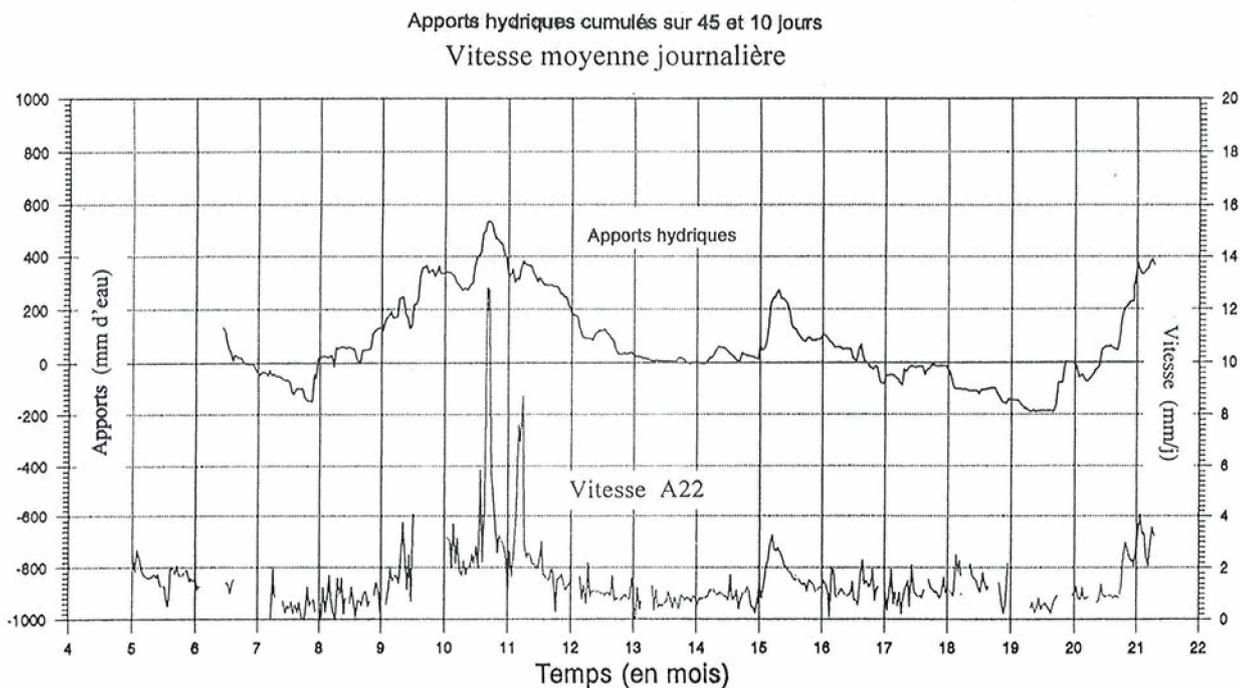
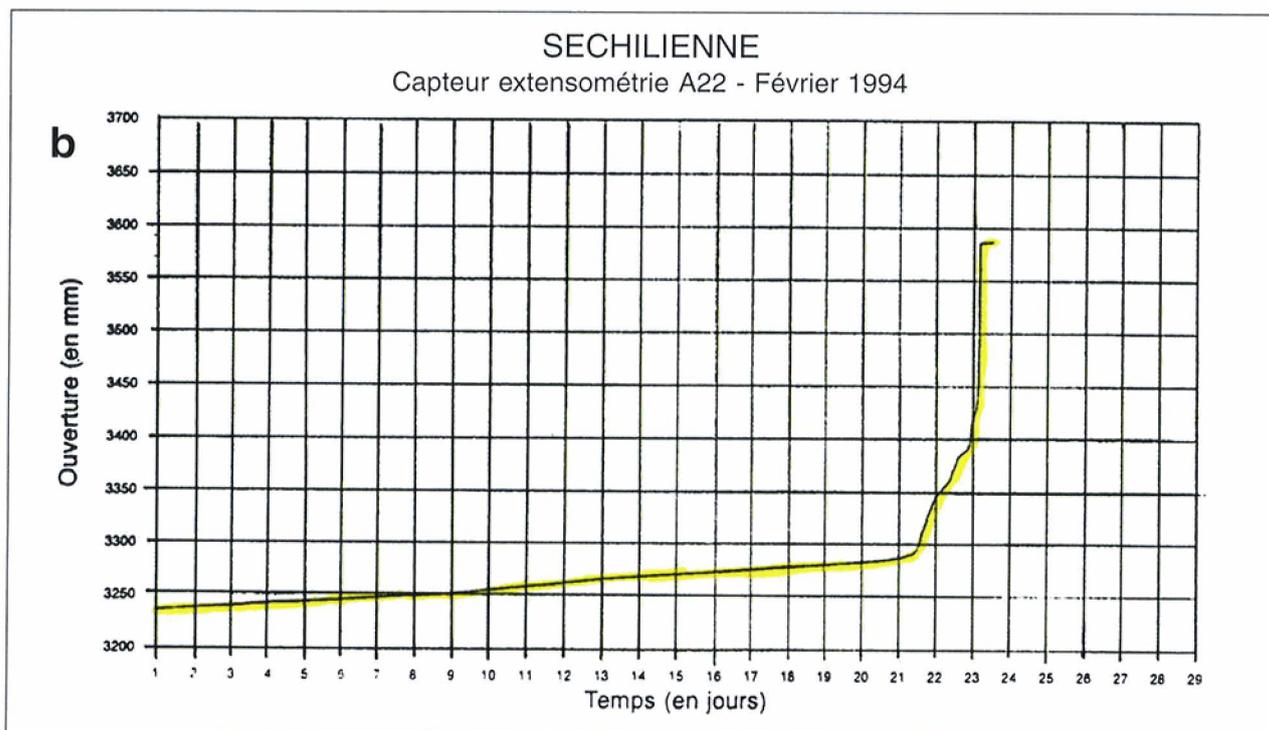
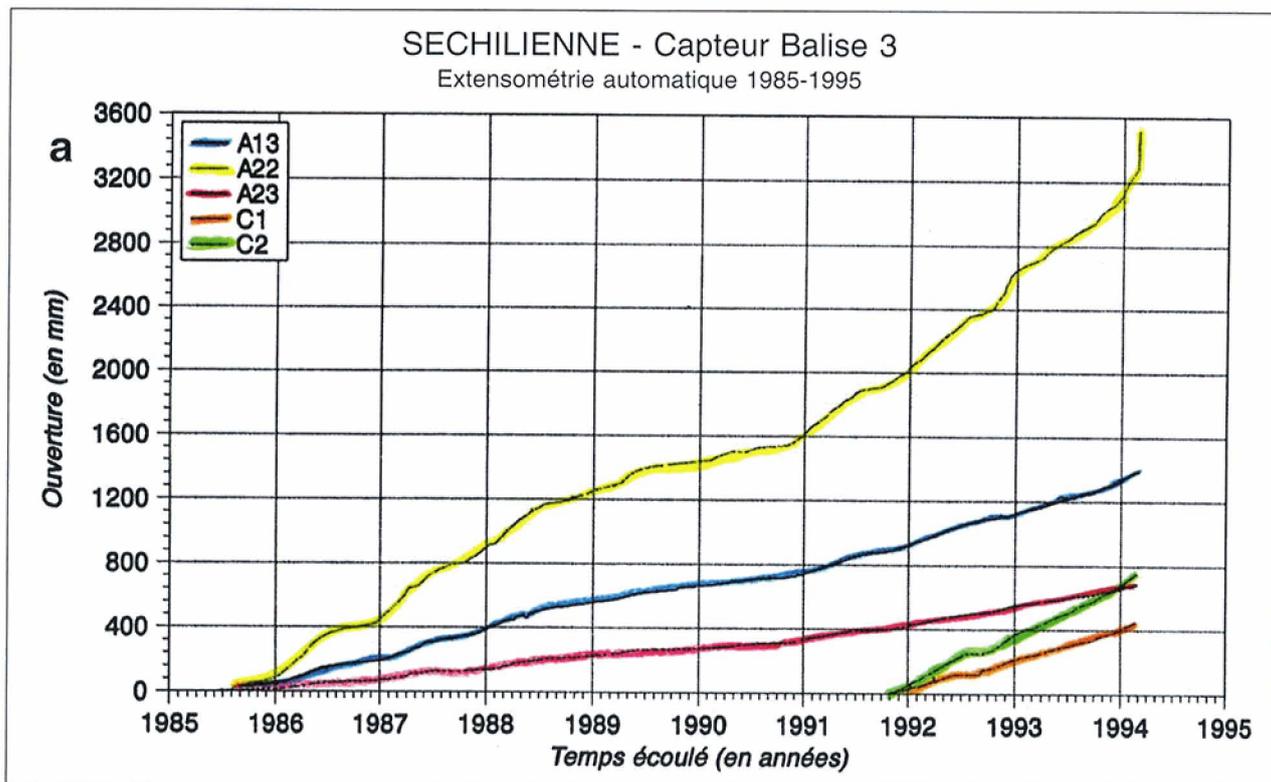


Fig. 16. Corrélation entre les vitesses moyennes journalières relevées par le capteur A22 et les apports hydriques cumulés sur 45 et 10 jours. La fonction de cumul hydrique à deux temps de retard donne les meilleurs coefficients de corrélation avec les vitesses de déplacement pour 45 et 10 jours. Cette observation purement numérique précise le contrôle hydraulique du phénomène : la composante sur 45 jours représente la mise en charge du massif par une alimentation lointaine alors que celle sur 10 jours représente l'infiltration de l'impluvium dans la masse instable.



**Fig. 17.** (a) Mesures extensométriques relevées au sommet de la zone frontale la plus instable (balise radio n. 3), de 1985 à 1995. Le capteur A22, relié à un édifice rocheux disloqué dominant le vide, se comporte comme un amplificateur naturel : il traduit mieux la «respiration saisonnière» des vitesses que les autres capteurs.  
 (b) Mesures extensométriques du capteur A22 le mois précédant la chute de l'éperon rocheux auquel il était relié (février 1994).

tion de l'impluvium sur le site instable et donc ne pas être représentatifs d'un «niveau haut» de l'écoulement profond à alimentation lointaine,

– les suintements et les écoulements observés durant l'été 1993 dans la galerie EDF d'amenée de la chute de Péage de Vizille sont également sujets à caution car la galerie n'était vidangée que depuis une semaine environ, ce qui n'exclut pas que le massif environnant soit encore influencé par le niveau hydrostatique local induit par l'écoulement dans la galerie (bien qu'elle ne soit pas exploitée en charge). De plus, le plan de la galerie présente des imprécisions topographiques qui empêchent la localisation précise de la galerie au droit de la zone instable.

#### 7.4. Modèle géomécanique

Le massif est découpé en grandes lanières verticales déterminées par la fracturation NE-SW, propices à une décompression du massif. Elles sont recoupées par la foliation N-S, ce qui favorise le desserrement latéral de ces compartiments.

Les fractures discontinues à pendage aval favorisent le développement de ruptures dans la partie inférieure des lames, commandées par les pressions hydrauliques développées par les variations du niveau hydrostatique.

Une analyse bidimensionnelle simple par éléments finis (code CESAR, fig. 18) et par éléments distincts (code UDEC, fig. 19) a confirmé que le schéma structural entraînait un comportement individualisé de chaque compartiment (ou «lanière»). Dans les modèles utilisés, les grandes fractures verticales sont supposées purement frottantes et leur flexion vers l'aval a lieu par basculement en tête pour les compartiments proches du pied du versant et par bombement en pied pour les compartiments du haut du versant. Ces déformations entraînent des accumulations ou des déficits localisés de contrainte, propices à des ruptures locales en cisaillement ou en traction. Cette répartition de contraintes est discontinue d'un compartiment à l'autre, ce qui illustre la thèse selon laquelle ce mécanisme de déformation ne nécessite pas pour se développer de surface de rupture continue à l'échelle du versant. On peut également penser qu'il est favorable à des ruptures partielles.

#### 7.5. Modèle de rupture

Les données structurales et la cinématique des mouvements observés conduisent à écarter l'hypothèse d'un glissement d'ensemble de la partie supérieure du versant au profit d'un **mécanisme de rupture interne du massif entraînant une importante dilatance**, favorisée par les grands systèmes de fracturation NE-SW et compatible avec l'amplification des déplacements vers le haut du versant.

Le caractère discontinu de la fracturation à pendage aval, de même que la faible inclinaison des vecteurs déplacement sont en effet peu compatibles, au stade actuel de déformation, avec l'existence éventuelle d'une surface de glissement localisée.

Le mécanisme de rupture interne avec dilatance utilise les systèmes de discontinuités verticales E-W et NE-SW associées à des fractures discontinues inclinées vers le Sud pour se développer en direction de la surface libre du versant sans que la foliation, sensiblement N-S, ne joue de rôle direct autre qu'un affaiblissement d'ensemble du massif. Cette structure, héritée de l'histoire tectonique régionale, a pu être complétée par la décompression du versant lors du creusement de la vallée et lors de la fonte des glaciers (déconfinement associé à des pressions hydrauliques élevées).

La décroissance des déplacements vers la partie inférieure du versant et l'absence de désordres observables dans la galerie EDF de Vizille (cote 430m environ) confirment l'existence d'une limite inférieure de la zone active.

Enfin, l'existence d'anciennes exploitations minières, localisées en différents points du versant, n'intéresse que des zones limitées du massif et ne semble pas jouer de rôle significatif dans le développement de l'instabilité actuelle.

### 8. EVOLUTION DE L'ACUITÉ DU RISQUE

Les 5 scénarios de risque suivants ont été retenus et permettant d'extrapoler les conséquences des événements réels intermédiaires. Le raisonnement prend en compte les données d'une crue bicentennale de la Romanche.

- Scénario dit «de non événement» :

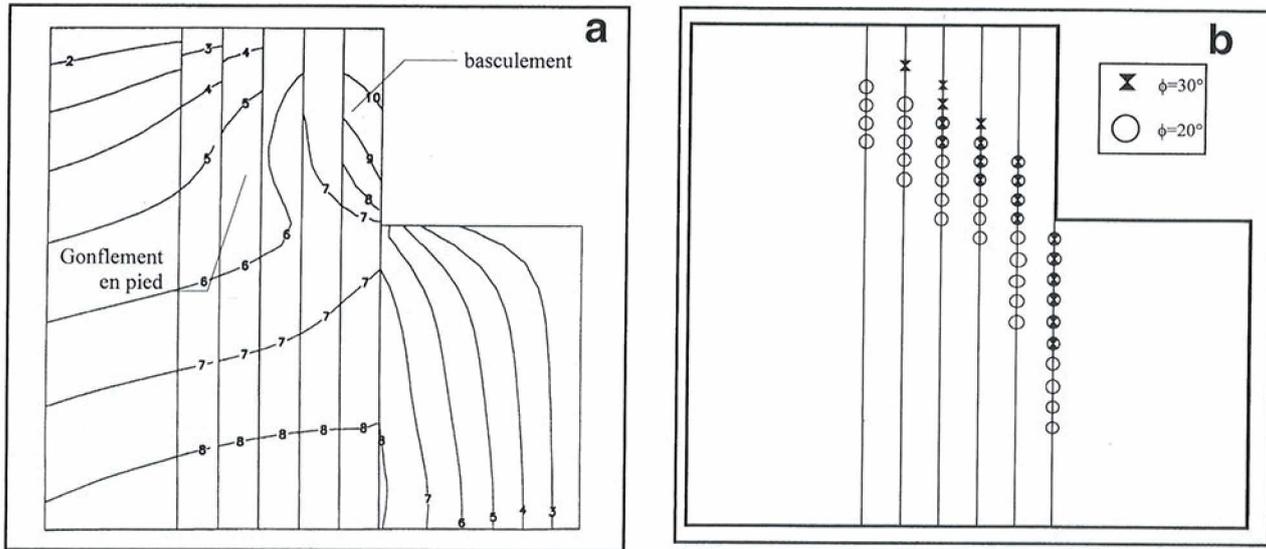
Les capteurs de surveillance du site signalent une accélération très importante des mouvements, conduisant l'autorité préfectorale à déclencher le plan de secours spécialisé (PSS) et dans ce cadre, à ordonner l'évacuation de la population menacée. Le mouvement se stabilise alors sans qu'il y ait eu d'effondrement. Quelles mesures pourront être alors prises vis à vis de la population ? Comment et dans quelles conditions organiser le retour de celle-ci ?

- Scénario dit «sans barrage» :

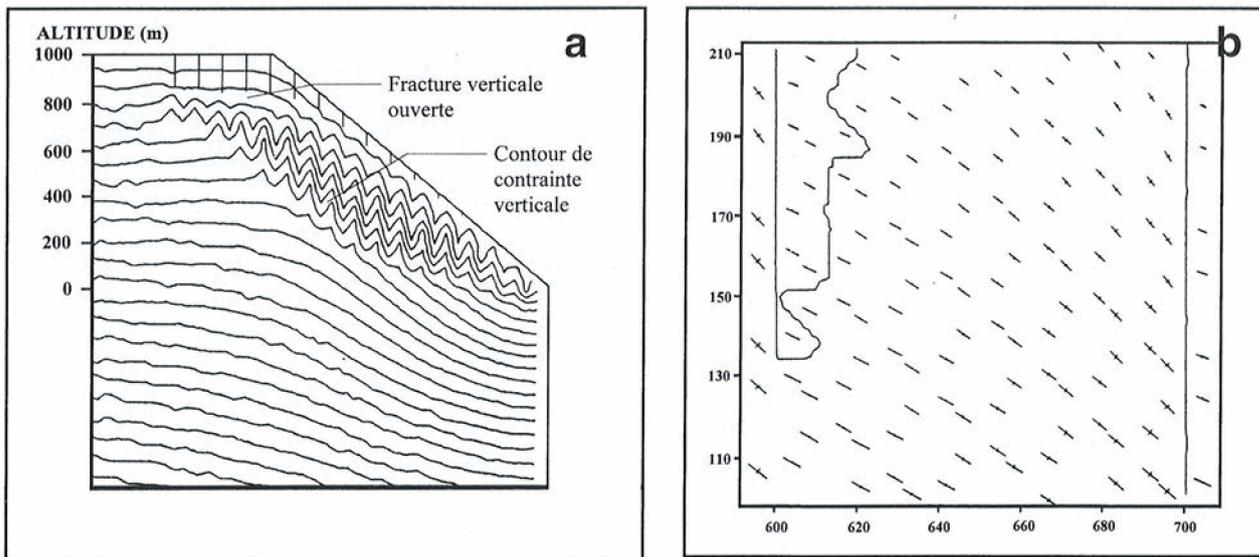
5 millions de m<sup>3</sup> s'effondrent. Le barrage formé n'obture pas complètement la vallée. Une petite partie de l'île Falcon est détruite par l'effondrement. La Romanche n'a plus de lit. Elle divague, venant dès la crue centennale inonder le reste de l'île Falcon et la RN 91.

- Scénario dit «à barrage fragile» :

7 millions de m<sup>3</sup> s'effondrent. Il se forme un barrage dit «fragile» dont la crête est à une cote voisine de 350 (cote au sol 330). Une retenue d'eau



**Fig. 18.** Modélisation bidimensionnelle par éléments finis (code CESAR) du creusement d'une vallée rectangulaire dans un massif comportant six discontinuités verticales semi-infinies.  
 (a) Déplacement horizontal : la zone frontale bascule vers le vide tandis que l'arrière du massif subit un gonflement dans le tiers inférieur des «lanières».  
 (b) Zone de glissement sur les fractures verticales : l'épaisseur de la zone augmente lorsque l'angle de frottement sur les fractures diminue.



**Fig. 19.** Modélisation bidimensionnelle par éléments distincts (code UDEC) du creusement d'une vallée triangulaire dans un massif comportant dix discontinuités verticales semi-infinies.  
 (a) Oscillations de la contrainte verticale induites par le glissement le long des fractures verticales : accumulation de contrainte sur la face avant des lanières, déficit sur la face arrière.  
 (b) Détail d'une zone de tension sur la face arrière de la quatrième lanière. Cette répartition de contrainte est favorable à la propagation du réseau de fractures inclinées vers la vallée.



**Fig. 20.** Vue de la partie inférieure du site depuis la déviation de la Route Nationale 91 : au centre le cône d'éboulis actif, au premier plan La Romanche dans le chenal de déviation réalisée en 1986.



**Fig. 21.** Entrée de la galerie de reconnaissance orientée N/S, à la cote 710 m.

de 2.1 millions de m<sup>3</sup> se constitue en un temps qui va de 4 à 7 heures en période de crue. Quelques habitations de l'île Falcon sont détruites par l'éboulement, ainsi que la RN 91. L'eau recouvre l'usine Rhodia et l'usine EDF (Noyer Chut) et atteint la moitié des habitations du lotissement du Grand Serre. Le risque d'effacement de ce barrage, mince et donc très fragile, rend vulnérable la totalité de l'île Falcon, et peut avoir des conséquences importantes sur Péage de Vizille, Vizille, et les usines classées «Sevezo» du sud de l'agglomération grenobloise.

- Scénario dit à «barrage solide» :

25 millions de m<sup>3</sup> s'éboulent soit la totalité de la partie fortement active du massif. Il se forme un barrage plus solide dont la crête est à une cote voisine de 380 (cote au sol 330). Une retenue d'eau, elle aussi de l'ordre de 25 millions de m<sup>3</sup> se constitue en un temps qui va de 22 à 28 heures en période de crue. A titre d'illustration, le barrage du Chambon a une capacité de 50 millions de m<sup>3</sup>. Une partie plus large encore de l'île Falcon est détruite par l'éboulement, de même que l'usine Rhodia, l'usine EDF et la RN 91. L'eau recouvre la totalité de la plaine de Séchilienne jusqu'à l'entrée de la gorge de Gavet. Toutes les communications viaires sont coupées : il y a près de 15 m d'eau au carrefour du CD 113 et de la RN 91. Il est impossible de prévoir l'état des bâtiments après l'éventuel retrait des eaux. La rupture éventuelle du barrage provoque un déferlement des eaux en aval jusqu'à Pont de Claix avec des conséquences incalculables sur l'ensemble des zones urbanisées et sur les secteurs industriels lourds (usines chimiques de Jarrie, Pont-de-Claix...).

- Scénario maximal

100 millions de m<sup>3</sup> s'éboulent, soit la totalité du massif en mouvement, en un ou plusieurs épisodes. Il se forme un barrage solide. La cote de la crête est indéterminée (430m). Dans tous les cas, la totalité de l'île Falcon est détruite par l'éboulement, de même que l'usine Rhodia, l'usine EDF et la RN 91. Le risque hydraulique s'accroît à l'amont et reste probablement de même ampleur à l'aval.

## BIBLIOGRAPHIE

– ANTOINE P., CAMPOROTA P., GIRAUD A., ROCHET L. (1987), *La menace d'écroulement aux Ruines de Séchilienne (Isère)*. Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, 150/151, p. 55-64.

– EVRARD H., GOUIN T., BENOIT A., DURANTHON J.P. (1990), *Séchilienne, risques d'éboulements en masse. Point sur la surveillance du site*. Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, 165, p. 7-16.

– ROCHET L., EVRARD H., ANTOINE P., GIRAUD A. (1994), *La déformation du versant sud du Mont-Sec dans le secteur des ruines de Séchilienne*. Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur (AIGI) n. 50, Oct. 1994.

– ANTOINE P., GIRAUD A., EVRARD H., ROCHET L. (1994), *A. Huge Slope Movement at Séchilienne, Isère, France*. Landslide news n. 8 - ISSN 0919 - 5629 - August 1994.

– VENGEON J.-M., HANTZ D., GIRAUD A., RACT D. (1996), *Numerical modeling of rock slope deformations*. International Symposium on prediction and performance in rock mechanics and rock engineering, Torino, Italy, September 1996.

Finito di stampare  
nel mese di febbraio 1998  
per i tipi de «L'Artistica Savigliano»