

LA DÉFORMATION DU VERSANT SUD DU MONT-SEC DANS LE SECTEUR DES RUINES DE SÉCHILIENNE (ISÈRE)

THE DEFORMATION OF THE MONT-SEC SLOPE IN THE AREA OF « LES RUINES DE SÉCHILIENNE » (ISÈRE, FRANCE)

L. ROCHET*, A. GIRAUD***, P. ANTOINE***, H. ÉVRARD**

Résumé

Entre Vizille et Séchilienne (Isère), dans le secteur des « Ruines de Séchilienne », la vallée de la Romanche est le siège d'un grand mouvement de versant qui affecte le flanc Sud du Mont-Sec et menace la route nationale 91 Grenoble-Briançon. 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 RN 91. Pour parer à cette menace, une déviation de la RN 91 et la création d'un chenal de dérivation pour la Romanche ont été réalisés en 1986.

La poursuite des 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. Le présent article, après avoir fait la synthèse des données géologiques et de celles provenant de l'auscultation, propose un modèle cinématique applicable au site.

Abstract

The Romanche valley, between Vizille and Séchilienne (Isère), is prone to a huge landslide in the area known as « Les Ruines de Séchilienne ». This movement is located on the southern side of the Mont-Sec mountain and it threatens the highway from Grenoble to Briançon (RN 91). Following its reactivation during the 1984-85 winter and spring there is a distinct possibility of a rockfall occurring in the short term, involving about two to three million cubic metres. There was a risk that such a fall could partially destroy the bed of the Romanche river and cut the highway. In 1986, the road was diverted and a channel excavated to divert the river in the event of it being naturally dammed by the rockfall. Geological and geotechnical follow-up studies indicated that this instability affects most of the rocky slope, up to the crest and mobilizes a volume of some ten million cubic metres. Consequently, there is still a major risk of a huge rockfall which could possibly dam the valley. The present paper, after summarising the data drawn from geological surveys and monitoring studies proposes a kinematic model which best fits the site.

Le versant rive droite de la vallée de la Romanche entre Vizille et Séchilienne recoupe la partie externe du massif de Belledonne. Ce massif ancien (hercynien), fortement fragilisé par une longue évolution géologique (tectonique polyphasée), est affecté par des mécanismes de rupture consécutifs aux épisodes glaciaires plus récents que cette vallée a connus.

Dans le secteur des « Ruines de Séchilienne », les nombreux indices géomorphologiques et structuraux (zones basculées, dépressions soulignant des fractures ouvertes, affaissements...) prouvent l'existence d'un mécanisme de dislocation avancé du massif. Par ailleurs les éboulements périodiques, la désorganisation de certaines zones ainsi que les mouvements mesurés par le dispositif d'auscultation montrent que le processus se poursuit.

Cette instabilité qui affecte le flanc Sud du Mont-Sec, se développe sur la majeure partie du versant rocheux (800 m de dénivelée) jusqu'à la crête (1 125 m) et mobilise un volume atteignant plusieurs dizaines de millions de mètres cubes (fig. 1). Il nous a donc paru opportun de présenter une synthèse des travaux réalisés sur ce site après neuf années d'étude.

1. Contexte Géologique (fig. 2)

Le massif cristallin hercynien de Belledonne est scindé en deux rameaux par une dislocation majeure appelée « accident médian » de direction sensiblement N-S qui passe à Séchilienne.

* Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 4, rue Clément-Ader, 69500 Bron.

** Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement, 109, avenue Salvador-Allende, 69674 Bron.

*** Institut de Recherches Interdisciplinaires de Géologie et de Mécanique, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9.



Fig. 1 : Vue aérienne du versant Sud du Mont-Sec.

Le rameau externe à l'Ouest, principalement constitué de micaschistes (série satinée) contient également quelques pincées de terrains houillers au contact d'accidents tectoniques, comme cela est visible au hameau des Finets. A l'Est, le rameau interne est essentiellement constitué de roches amphiboliques (série verte).

Le secteur étudié appartient au rameau externe, les micaschistes y étant parfois recouverts en discordance par des sédiments triasiques et liasiques comme cela est le cas à l'Est du Mont-Sec sur le plateau de Fau-Laurent. Le façonnement de la vallée a été assuré, entre autres, par le puissant glacier würmien de la Romanche : des placages morainiques se retrouvent à différents niveaux du versant qui présente une morphologie glaciaire typique (Antoine *et al.*, 1987).

1.1. Lithologie

L'instabilité ne concerne que les micaschistes. Il s'agit d'une série extrêmement monotone présentant des alternances métriques, tantôt micacées, tantôt plus quartzueuses ainsi que des niveaux plus compacts d'amphibolites.

Dans la partie basse et médiane du versant la foliation métamorphique est subverticale et de direction sensiblement méridienne, donc orthogonale à la vallée. Par contre, dans la partie haute (crête du Mont-Sec) cette foliation présente des orientations plus variées qui traduisent l'existence de plissements au sein de la série.

L'altération des micaschistes étant très limitée, on peut dire que le risque d'instabilité ne concerne, dans sa quasi-totalité, qu'un matériau rocheux sain. Ces micaschistes renferment d'anciennes fractures injectées de filons de quartz et minéralisées, qui ont fait jadis l'objet de travaux miniers.

1.2. Fracturation

Un inventaire détaillé de la fracturation a été mené entre la Croix du Moutet à l'aval et le village de Séchillienne à l'amont.

1.2.1. Au niveau de la zone instable

Le secteur affecté par les mouvements montre nettement quelques grandes familles de discontinuités :

- des failles N-S et de grandes fractures sensiblement E-W, qui appartiennent à un schéma ancien (ère primaire). Elles ont été réactivées en failles normales au début de l'ère secondaire (Carne, 1971);
- 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;
- des fractures discontinues, à faible pendage (20 à 30°) vers le Sud, qui présentent des caractères de fentes de traction, peuvent elles aussi résulter de cette phase de



Fig. 2 : Carte géologique du versant Sud du Mont-Sec.

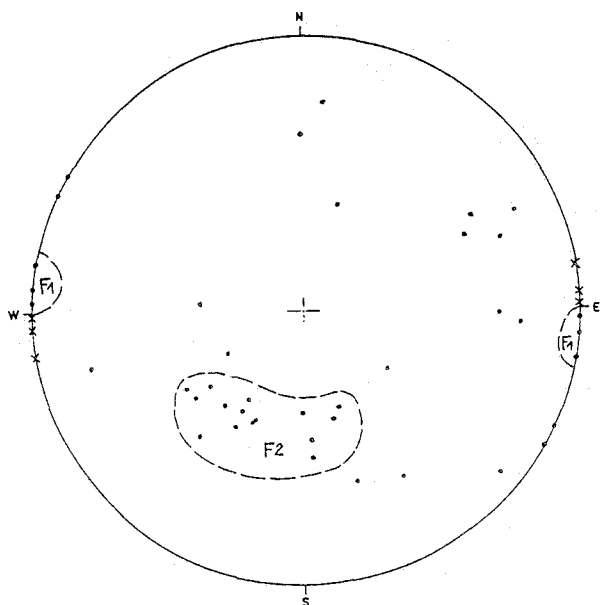


Fig. 3 : Répartition spatiale des pôles des principales familles de fractures mesurées entre la zone instable et l'accident médian (Wülf hémisphère supérieur).

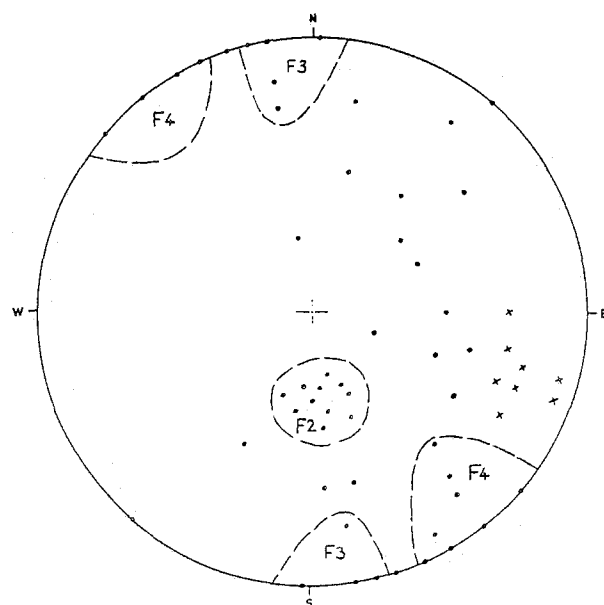


Fig. 4 : Répartition spatiale des pôles des principales familles de fractures mesurées au niveau de la zone instable (Wülf hémisphère supérieur).

serrage et traduisent un étirement de la masse rocheuse vers le haut. Mais celles qui sont plus fortement pentées pourraient trouver leur origine dans la décompression du massif à proximité du versant. Elles ont été accentuées par la disparition progressive de la masse glaciaire et par les effets connexes.

1.2.2. Entre la zone instable et l'accident médian

Dans ce secteur, les failles N-S (F1), qui sont sans doute des fractures satellites de « l'accident médian », prédominent ainsi que les fractures discontinues pentées en moyenne de 45° vers la vallée (F2). Par contre, il n'existe que de très rares fractures verticales E-W et NE-SW (fig. 3).

1.2.3. Synthèse

Les fractures pentées vers la vallée (F2) sont omniprésentes. Le plus souvent discontinues, elles sont réparties de façon homogène dans tout le versant étudié. Dans la zone qui menace de s'effondrer nous pensons que ces fractures associées aux accidents E-W (F3) et NE-SW (F4), qui découpent le versant en lanières, jouent un rôle essentiel (fig. 4).

Ces dernières remarques viennent d'être confirmées par un relevé géologique récent effectué dans une ancienne galerie de mine située dans la zone instable inférieure. Cette galerie horizontale de direction N-S est située à la cote 590, c'est-à-dire une trentaine de mètres en dessous de la zone de rupture présumée antérieurement. Sur 240 m, perpendiculairement au versant, on observe un grand nombre de fractures ouvertes verticales, de direction N90 à N110, ainsi que de nombreuses fractures discontinues d'orientation comprises entre NW-SE et

NE-SW pentées majoritairement vers le Sud. Une telle disposition structurale favorise grandement la déformation de cette portion du versant, ce qui a pu être confirmé par le fait que ces fractures sont très ouvertes dans la galerie (fig. 7).

Il est intéressant de constater que dans le secteur situé entre les zones en mouvement et « l'accident médian », l'absence des fractures sensiblement E-W et NE-SW coïncide avec l'absence de grandes instabilités. Le rôle de ces fractures dans la localisation des zones actives est confirmé par le fait que la niche d'arrachement sommitale (au niveau du Mont-Sec) est en grande partie orientée par les accidents de direction E-W et NE-SW. Ces remarques ont été confirmées par la visite d'une galerie EDF creusée à la partie inférieure du versant (cote 430) et de direction E-W. Cette galerie montre que les fractures E-W ne sont observables qu'au droit de la zone instable.

1.3. Hydrogéologie

L'hydrogéologie du massif est sous la dépendance de deux mécanismes distincts et complémentaires. L'alimentation est liée pour partie à l'infiltration directe des eaux météoriques (pluie et neige) dans le bassin versant, qui détermine principalement les écoulements dans la zone supérieure du massif, mais également à l'existence de circulations profondes, le long de fractures privilégiées, liées à l'hydrogéologie interne du massif.

Dans toute la zone instable on n'a jamais pu mettre en évidence d'émergences. On note également l'absence de venues d'eau au voisinage de la base de la zone active. La seule certitude est apportée par les résultats de l'auscultation effectuée depuis 1985. Les mesures mettent en

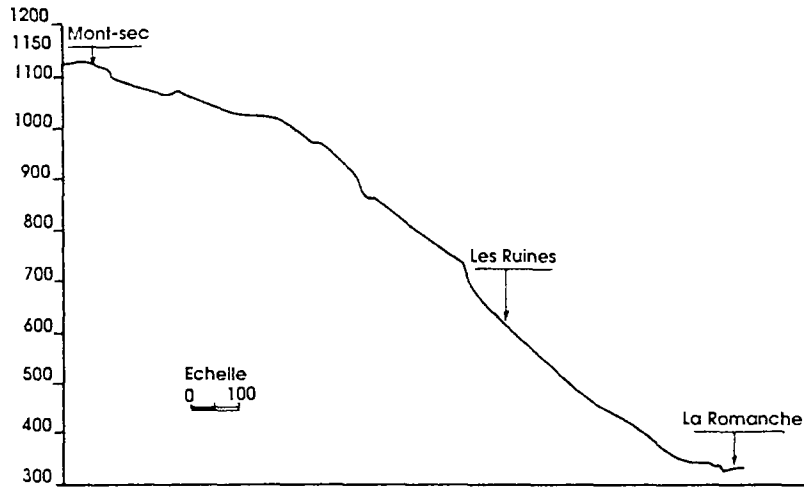


Fig. 5 : Profil topographique au droit du Mont-Sec.

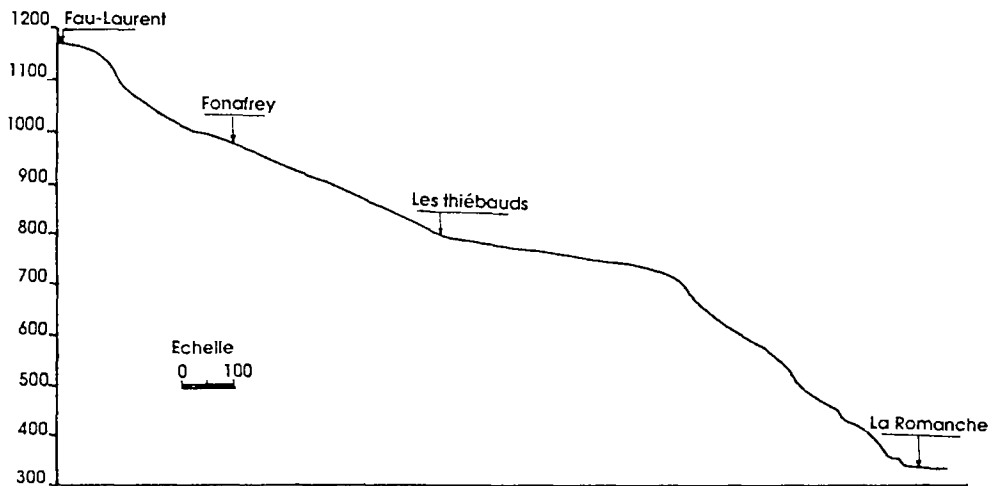


Fig. 6 : Profil topographique suivant l'axe les Thiébauds, Fau-Laurent.

évidence une variation cyclique des vitesses de déplacement que l'on peut classiquement rapporter à des fluctuations saisonnières des niveaux d'eau dans le système de fractures.

Ces résultats nous amènent à conclure qu'il subsiste en profondeur une perméabilité de fractures suffisamment faible pour permettre, à l'issue des périodes humides, une élévation momentanée suffisante du niveau piézométrique et une baisse lente et régulière de celui-ci pendant les périodes sèches.

Les observations récentes dans la galerie désaffectée de 240 m de longueur (cote 590), montrent des venues d'eau peu importantes mais bien réparties entre 50 et 200 m depuis l'entrée. Ceci donne sans doute l'ordre de grandeur de la cote que peut atteindre le niveau de saturation dans certaines parties du massif.

Les observations faites lors de la vidange de la galerie EDF implantée à la base du versant (cote 430) montrent l'existence d'un niveau d'écoulement plus profond correspondant sensiblement à la cote de cette galerie.

2. Contexte morphologique

2.1. Morphologie actuelle

Nous analyserons la morphologie actuelle de la vallée à l'aide de deux profils topographiques, l'un selon la ligne de plus grande pente de l'instabilité du Mont-Sec (fig. 5), l'autre passant par le village des Thiébauds et se poursuivant jusqu'à la crête de Fau-Laurent (fig. 6).

Le premier profil nous montre, entre le fond de la vallée (cote 325) et la base de la déformation sommitale du Mont-Sec (cote 950), une pente moyenne du versant assez homogène de 45° . De la cote 950 à la crête du Mont-Sec (1 125 m) la pente moyenne est de 20° .

Le profil topographique passant par le village des Thiébauds indique lui aussi, entre le fond de la vallée et la cote 725, une pente moyenne de 45° . A cette pente fait suite un replat (pente 10°) d'origine glaciaire, entre la cote 725 et le village des Thiébauds (cote 800). Nous avons ensuite une pente moyenne de 30° jusqu'au sommet du versant (cote 1 150).

2.2. Histoire glaciaire

Au Quaternaire, les Alpes ont connu plusieurs glaciations, dont les dernières (Riss et surtout Würm) ont laissé, dans le modelé de la vallée de la Romanche, des traces évidentes.

Des sondages réalisés en fond de vallée, au droit du secteur des Ruines de Séchilienne, montrent qu'à ce niveau l'épaisseur des alluvions est de l'ordre de 80 à 100 m. Par contre, à l'aval, au niveau de la Croix du Moutet, le seuil rocheux se situe à plus faible profondeur.

Sur les flancs de la vallée, le glacier würmien voit son extension maximale au Würm II (il y a plus de 45 000 ans). Il a laissé des traces de son passage jusqu'à 1 400 m d'altitude. Il est sans doute à l'origine des dépôts morainiques que l'on trouve au sommet du Mont-Sec.

A cette phase d'extension maximale fait suite l'interstadaire (Würm II-III), période pendant laquelle la vallée a probablement été libérée de l'emprise glaciaire.

Au Würm III (entre -37 000 et -25 000 ans) une nouvelle avancée du glacier de la Romanche ramène la glace jusqu'à 800 à 900 m d'altitude. Cette dernière incursion glaciaire est suivie par une fusion lente du glacier sur place.

2.3. Relation entre l'histoire glaciaire et la morphologie actuelle

Il est bien connu que, dans les vallées alpines, la fusion des glaciers a permis l'amorce d'importants mouvements gravitaires. L'effet conjugué de la suppression de butée latérale, de l'augmentation des pressions interstitielles liées à la fusion et de l'augmentation de la fatigue des massifs (induite, entre autres, par des écarts thermiques cycliques très importants), fait que des instabilités affectant des versants entiers (plusieurs millions de m³) ont pu prendre naissance à cette époque et se développer pendant les millénaires qui ont suivi. Ce phénomène a sans doute été accentué par le fait qu'au moment de la décrue glaciaire, des circulations d'eau importantes ont pu se produire, tout particulièrement sur ce versant Sud.

En outre, le fait que la base de certains mouvements gravitaires avérés soit perchée au dessus du fond de la vallée actuelle, peut indiquer des cotes de stationnement du glacier et mettre en évidence des niveaux au-dessus desquels le versant était libéré de glace à une époque donnée.

A cet égard, la déformation sommitale du Mont-Sec, qui s'est produite jusqu'à la cote 950 (voir fig. 5), pourrait correspondre à un interstadaire du Würm ou à un stade précoce de retrait final du glacier. On remarquera toutefois que ce mouvement qui affecte une zone à pente naturelle faible (de l'ordre de 20°) résulte vraisemblablement d'un mécanisme de rupture interne du massif soumis aux sollicitations développées par le glacier. Par la suite, les déformations observées au-dessous de cette cote ont pu se propager au fur et à mesure de la fusion du glacier.

Un autre guide utilisé dans la reconstitution de l'histoire glaciaire d'un secteur est constitué par les ruptures morphologiques qui accidentent souvent, de replats marqués, la pente moyenne des versants. Par rapport à l'écoulement du glacier, ces replats sont le plus souvent inclinés vers l'amont (contre-pente). La surface ascendante au pied de la zone en mouvement, entre la cote 650 et la cote 675, qui se poursuit par le replat glaciaire des Rivoirands (à l'Ouest de la zone en mouvement), pourrait appartenir à ce type de morphologie. On remarquera que les indices d'instabilité disparaissent sous cette surface, qui représenterait un épaulement glaciaire.

Au niveau des Thiébauts (à l'Est de l'instabilité du Mont-Sec) on observe une morphologie glaciaire typique présentant elle aussi une contre-pente (de l'ordre de 10°). Comme aux Rivoirands, cette surface (à la cote 800) coïncide avec la base du grand tassement de versant de Fonafrey (actuellement stabilisé) qui date probablement de la même époque.

Enfin, il faut mentionner le surcreusement important (voir 2-2) du fond de la vallée, qui ne semble pas avoir, pour le moment, joué de rôle significatif dans l'instabilité du fait du confinement exercé par le remblayage alluvial.

On peut conclure que si l'on éprouve de grandes difficultés pour resituer les différentes étapes dont on vient de parler dans la chronologie des fluctuations glaciaires régionales connues, il existe par contre un lien évident entre l'histoire glaciaire et la déformation gravitaire du versant.

3. Analyse des données d'auscultation

3.1. Le dispositif d'auscultation

Un premier dispositif d'auscultation et de surveillance a été mis en place en 1985 par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Lyon. Il a été complété en 1988 (Evrard *et al.*, 1990) et tout récemment en 1993.

Le dispositif mis en place comporte trois systèmes de mesure complémentaires et indépendants (fig. 7) destinés à analyser les mouvements d'ensemble et les déformations locales de la zone instable :

- un réseau d'auscultation géodésique couvrant l'ensemble du versant rive droite de la Romanche entre la Bathie et les Rivoirands. Ce réseau s'appuie sur un canevas de cinq piliers de référence situés de part et d'autre de la vallée en dehors de la zone instable et de trois points de contrôle éloignés. Il est équipé d'un ensemble de repères géodésiques permanents implantés sur des affleurements rocheux caractéristiques répartis sur la zone active;
- un réseau de télémessure assurant un suivi permanent du site depuis le Centre d'Exploitation de Lyon*. Ce réseau comporte en particulier un ensemble de capteurs extensométriques mis en place sur les principales frac-

* Centre d'exploitation de télé-surveillance des Mouvements de Terres implanté au CETE de Lyon, 109, avenue Salvador-Allende, 69674 Bron.

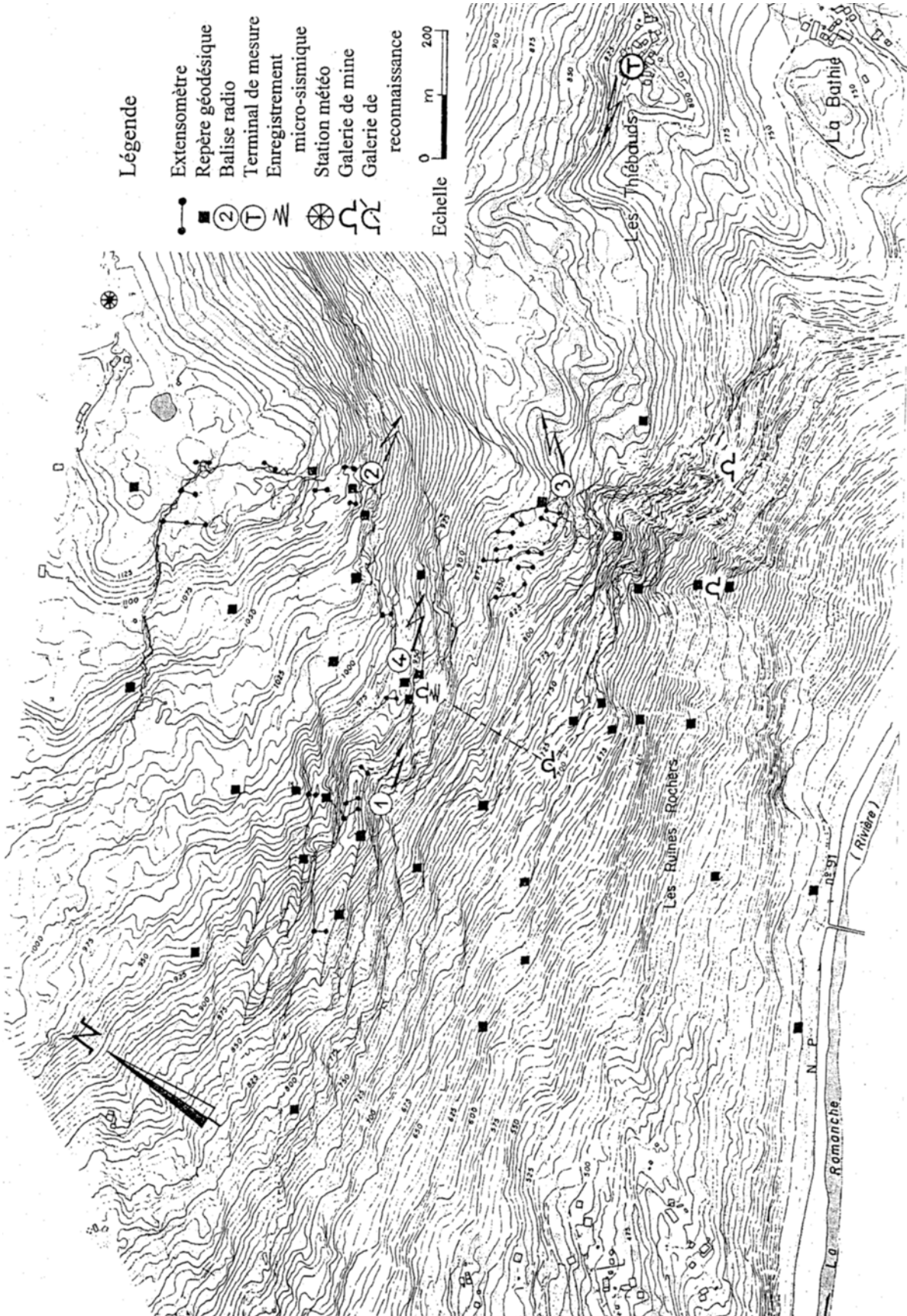


Fig. 7 : Plan de situation du dispositif d'auscultation et de surveillance.

tures, contrôlé par un terminal de mesure situé hors du site et relié au Centre d'Exploitation ;

– un ensemble de repères topométriques équipant les principales fractures, permettant une mesure manuelle directe de leurs mouvements. Ces dispositifs peu onéreux permettent de compléter et de densifier le réseau de mesure, ils concourent également à assurer le contrôle et le recalage des capteurs extensométriques.

3.1.1. Le réseau d'auscultation géodésique

Un premier réseau de mesure géodésique local a été mis en place au printemps 1985, dès le début de la surveillance du site. Ce réseau comportant une dizaine de points de mesure était limité au suivi des mouvements de la zone frontale inférieure (zone disloquée de trois millions de mètres cubes en bordure du couloir d'éboulement Est).

Ce premier réseau local a été remplacé à partir de l'hiver 1987-1988 par le réseau de géodésie actuel couvrant l'ensemble du versant instable. Equipé à l'origine de 18 repères géodésiques répartis sur les différents affleurements rocheux observables, ce réseau a été complété en 1993 par un ensemble de points nouveaux permettant d'élargir la zone d'auscultation en vue de préciser les limites de la zone active. Au total 35 points de mesure sont actuellement suivis.

Parallèlement à sa densification et à son extension le réseau géodésique a été diversifié, faisant appel aux méthodes de géodésie optique (triangulation, mesures de distances) et aux méthodes de géodésie satellitaire (méthode GPS). Cette complémentarité permet à la fois d'améliorer, dans les conditions du site, la précision de la détermination altimétrique et de s'affranchir pour partie des contraintes de visibilité de certains points.

La précision de détermination des points permet d'assurer une incertitude inférieure à un centimètre sur les composantes des vecteurs déplacement. Actuellement, la périodicité des mesures géodésiques est annuelle et comporte une détermination générale du réseau. La fréquence et le niveau de détermination peuvent être adaptés en fonction des circonstances. En période critique, la localisation des piliers de mesure situés sur le versant rive gauche, autorise la mise en place de stations de mesure automatiques permettant un suivi permanent des mouvements d'un ensemble de points dans la zone instable.

3.1.2. Le réseau de télé-surveillance

Les principales fractures actives du site ont été équipées de capteurs extensométriques à grandes bases (extensomètres à fils d'Invar LPC) reliés à des balises radio assurant la transmission des données et la liaison avec le Terminal de Site installé au hameau des Thiébauds. Ce réseau a été complété et étendu au cours du temps et comporte actuellement 26 extensomètres répartis sur l'ensemble du site : zone frontale inférieure, grande fracture médiane, zone frontale supérieure, escarpement sommital.

Les mesures sont automatisées et pilotées par le Terminal des Thiébauds. La fréquence d'interrogation des cap-

teurs est variable en fonction de l'évolution du site. Actuellement le cycle de mesure est horaire en temps normal et réduit à un quart d'heure en période de crise. L'ensemble des processus de mesure est paramétrable et modifiable depuis le Centre d'Exploitation de Lyon.

Le Terminal de Site assure également des fonctions de contrôle technique (capteurs, réseau de transmission du site) et de contrôle des mesures. Ces dernières sont comparées en permanence à des valeurs prévisionnelles déterminées par une projection de l'évolution des trois jours antérieurs, définissant des valeurs de référence. Le dépassement de ces dernières ou la détection d'une anomalie technique donne lieu à l'émission d'un message d'alerte à destination du Centre d'Exploitation de Lyon. Ce dernier en assure le traitement en fonction de leur nature, et alerte en conséquence le personnel d'astreinte de manière permanente (24 heures sur 24) par message téléphonique et liaison Alphanet.

Parallèlement au réseau de capteurs extensométriques le site est également équipé d'une station météorologique spécifique implantée sur le plateau du Mont-Sec. Cette station assure des mesures de température, de pluviométrie et de nivométrie. Les informations sont télétransmises et recueillies sur un serveur.

3.1.3. Les mesures extensométriques manuelles

Implantées dès le début de la surveillance du site en 1985, ces bases extensométriques mises en place initialement sur les principales fractures de la zone frontale inférieure, ont été complétées par la suite au fur et à mesure de l'extension du réseau d'auscultation. A ce jour, une cinquantaine de bases extensométriques sont régulièrement mesurées avec une périodicité bimestrielle en temps normal, et adaptée en fonction des besoins en période de crise.

Les mesures sont effectuées au moyen d'un extensomètre à ruban (pour les bases courtes) ou plus généralement d'un distancemètre orientable à fil d'Invar LPC avec une précision de l'ordre de 0,1 à 0,2 mm.

3.2. Analyse des mesures

3.2.1. Auscultation géodésique

L'analyse des déplacements des repères géodésiques implantés sur le versant, confirme l'existence d'un mouvement actif affectant l'ensemble de la partie supérieure du massif sous le Mont-Sec. Depuis la mise en place du réseau de surveillance géodésique (1988) les déplacements cumulés sont compris entre 10 et 25 cm environ. Ces mouvements sont amplifiés sur le front de la zone inférieure Est où le déplacement cumulé dépasse 85 cm. Ces données appellent plusieurs observations (fig. 8) :

– une bonne homogénéité d'ensemble des mesures confirme l'hypothèse d'une déformation intéressant l'ensemble de la partie supérieure du versant. Le mouvement de la zone frontale inférieure en constitue une amplification locale au débouché de la limite Est de la zone instable ;

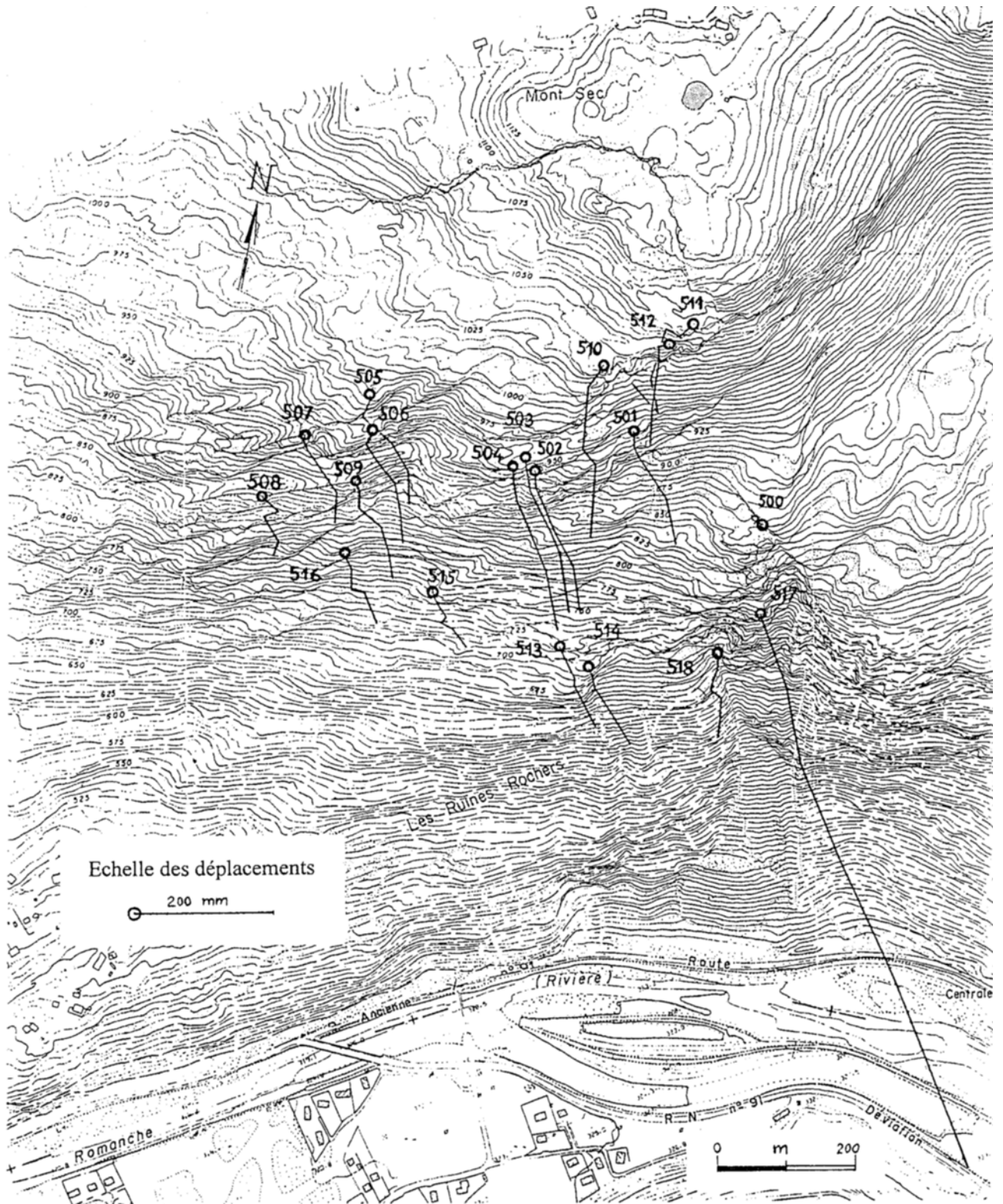


Fig. 8 : Vecteurs déplacement mesurés par géodésie (entre 1988 et 1993).

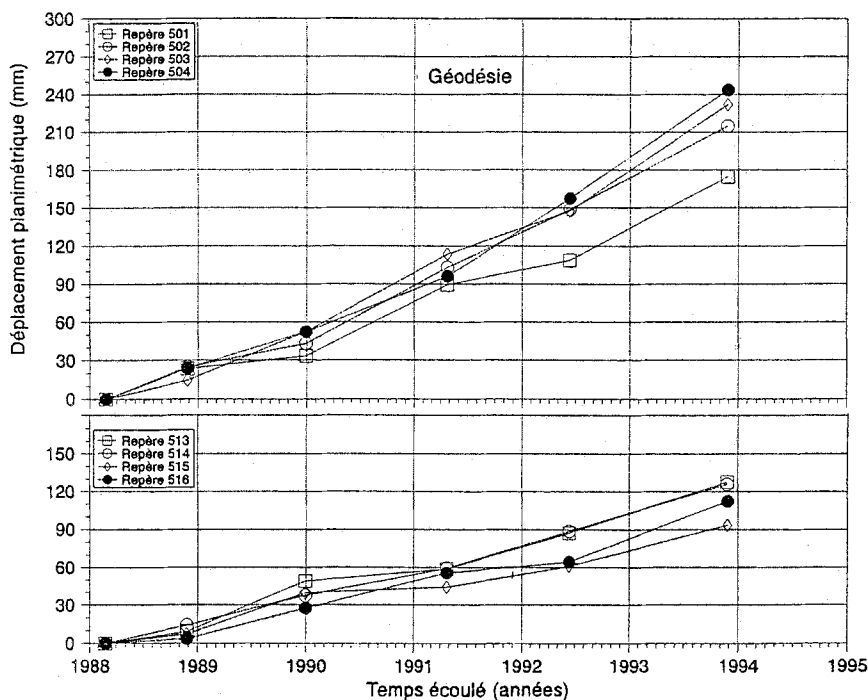


Fig. 9 : Évolution des déplacements en fonction du temps.

- une amplitude croissante des déplacements vers le haut du versant et dans le sens Sud-Nord, qui semble indiquer l'existence d'une limite inférieure des déformations, remontant dans le versant vers l'Ouest;
- les mouvements 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'orientation générale des vecteurs déplacement indique un mouvement d'orientation moyenne N 150, normal à la direction des fractures majeures, déterminant le découpage en lanières du versant. On notera que la direction des mouvements est sensiblement oblique par rapport à celle de la ligne de plus grande pente. Ceci confirme le contrôle structural de la déformation;
- l'évolution observée depuis 1988 montre une tendance générale à l'accroissement des mouvements sur l'ensemble des zones. Cette accélération est plus sensible dans la partie supérieure Est, mais elle est également observable à la partie inférieure (fig. 9). Les vitesses moyennes annuelles actuelles sont respectivement de l'ordre de 6 et 3 cm/an;
- l'amplitude des mouvements de la zone frontale inférieure Est, où la dislocation est la plus active, montre une individualisation progressive de celle-ci. La vitesse de déplacement atteint de l'ordre de 20 cm/an, soit de 5 à 8 fois supérieure à celle du mouvement d'ensemble;
- l'existence d'une zone fixe formant un épaulement stable (repère géodésique 500) le long de la limite Est, entre l'extrémité Est du tassement du Mont-Sec et la zone frontale inférieure. Ce point de résistance joue vraisemblablement un rôle important dans le contrôle de la déformation du versant supérieur.

Les mesures altimétriques effectuées par géodésie spatiale (méthode GPS) permettent de déterminer, avec une précision sensiblement homogène avec celle de la planimétrie, l'amplitude de la composante verticale des mouvements, et de déterminer l'inclinaison des vecteurs déplacement (fig. 10). Ces informations montrent que celle-ci est faible, de l'ordre de 20 à 25 degrés en moyenne à la partie supérieure, et de l'ordre de 5 à 10 degrés à la partie inférieure. On remarquera que ces inclinaisons sont très inférieures à la pente du versant et indiquent l'existence d'une importante déformation horizontale traduisant un comportement fortement dilatant.

3.2.2. Mesures extensométriques

L'analyse des données des mesures extensométriques montre une évolution analogue à celle des mesures géodésiques. En particulier l'ouverture des fractures principales NE-SW est progressivement croissante avec le temps, confirmant une accentuation des déformations du versant. L'interprétation des données des extensomètres permet de préciser le comportement de la masse instable :

- à la partie supérieure du versant et sur sa limite Est on enregistre des mouvements d'amplitude comparable à celle des mouvements observés par géodésie;
- le mécanisme d'ouverture des fractures est observable sur l'ensemble du versant, confirmant l'existence d'une déformation intéressante toute la zone active;
- l'importance des mouvements est notablement plus grande dans la zone frontale inférieure Est, la plus fracturée, que sur le reste du versant. Les ouvertures mesurées sont de 10 à 30 fois supérieures aux valeurs

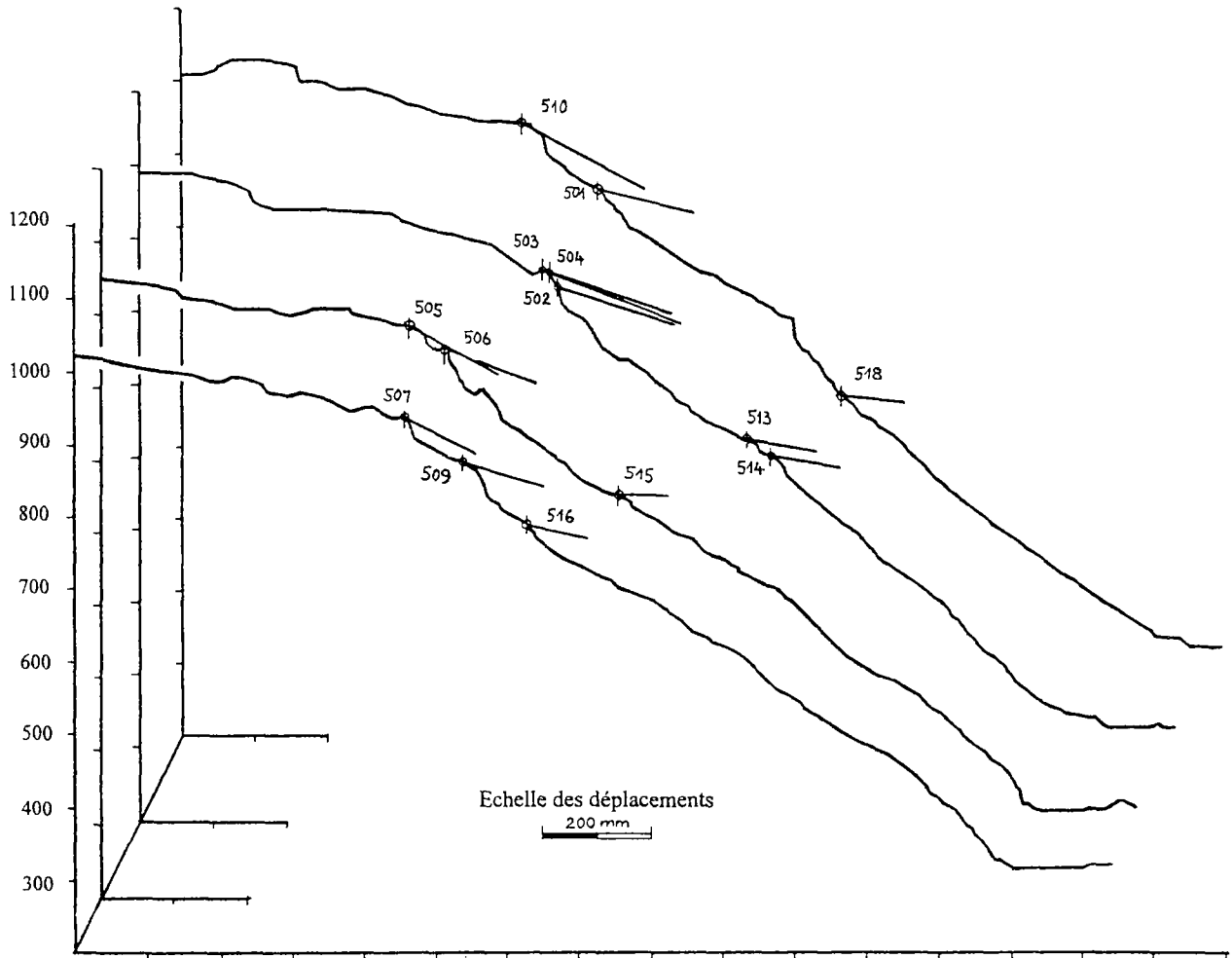


Fig. 10 : Inclinaison des vecteurs déplacement.

observées sur le mouvement principal. Ceci confirme la dislocation active de cette zone ;

– l'existence d'une composante cyclique annuelle particulièrement nette dans l'ouverture des fractures de la zone frontale. Ce phénomène cyclique caractérisé par une alternance de périodes d'accélération en hiver et au printemps et de ralentissement pendant l'été et l'automne, traduit l'influence d'une commande hydraulique du mécanisme d'évolution (fig. 11). Le passage, pratiquement sans transition, de la période lente à la période rapide indique vraisemblablement l'existence d'un mécanisme à seuil dans le comportement hydromécanique du massif.

L'étude des corrélations entre les vitesses de déformation et les apports hydriques cumulés du massif, tenant compte des précipitations, de la fonte de la neige et de l'évapo-transpiration au cours d'une période précédente de durée déterminée, confirme l'hypothèse d'un mécanisme de contrôle hydraulique (fig. 12). Cette analyse fait apparaître pour la zone frontale inférieure une réponse intégrée correspondant à des effets à moyen terme et à long terme, qui traduit un comportement hydrogéologique complexe du site.

4. Conclusion – Éléments pour un modèle cinématique

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, et à retenir plutôt l'hypothèse d'un mécanisme de rupture interne du massif entraînant une importante dilatance. Un ensemble d'observations et d'analyses peuvent être avancées à l'appui de cette thèse :

- le caractère discontinu de la fracturation à pendage aval, peu compatible avec l'existence éventuelle d'une surface de glissement localisée, au stade actuel de déformation du massif ;
- l'existence des systèmes de fracturation NE-SW déterminant un découpage en lanières du massif parallèlement à la vallée, favorisant le développement d'un mécanisme de décompression ;
- la décompression du massif liée au creusement glaciaire et le déconfinement du versant consécutif à la fonte des glaciers. Cette phase de déchargement associée à des pressions hydrauliques élevées, a entraîné une importante décompression du versant fragilisé par les sys-

Capteur extensométrique A22

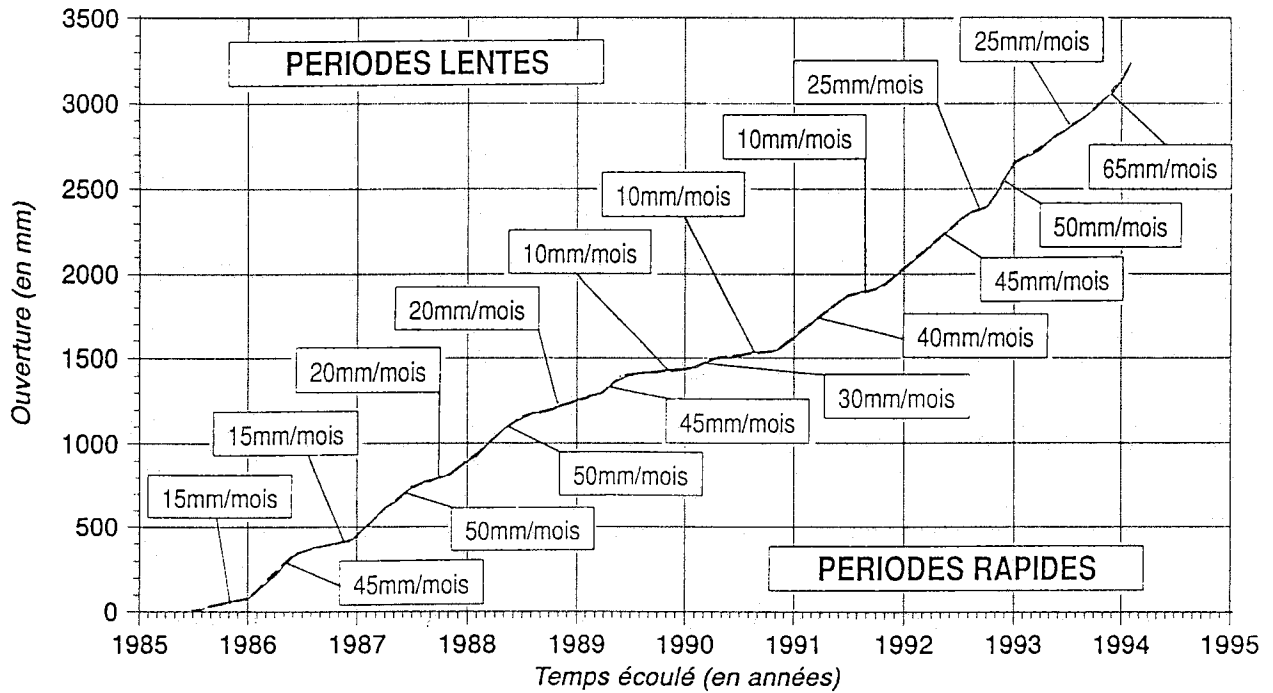


Fig. 11 : Mise en évidence d'une composante cyclique des déplacements.

Apports cumulés sur 45 et 10 jours
Vitesse moyenne journalière

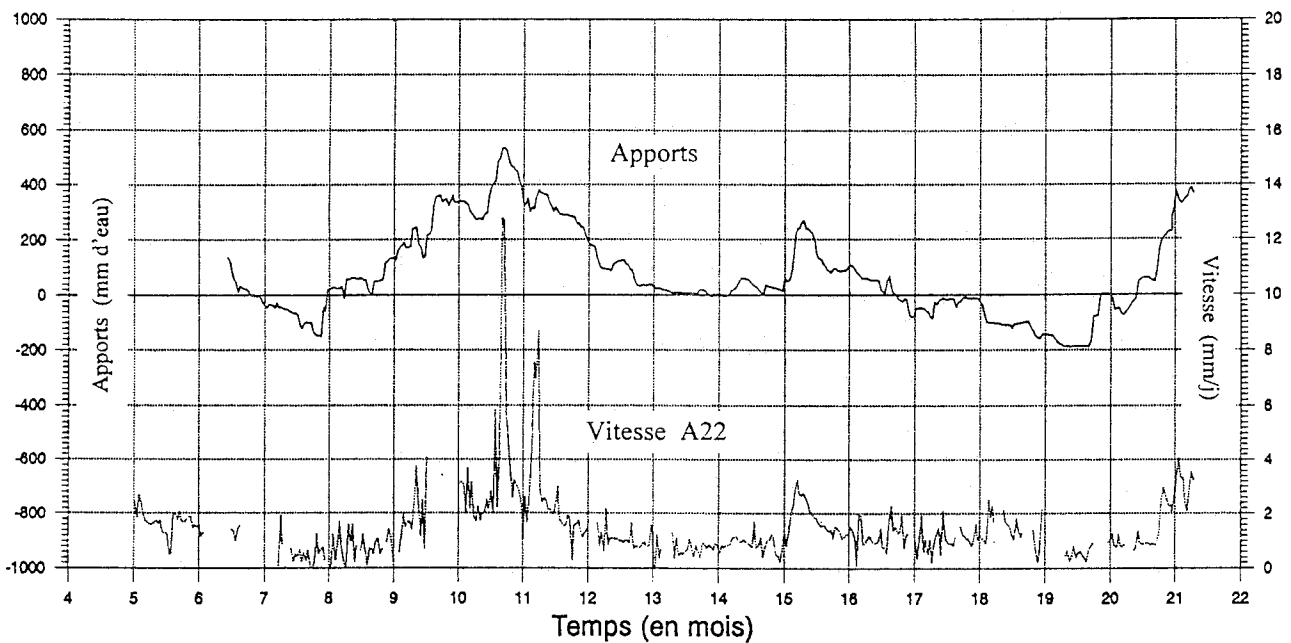


Fig. 12 : Analyse des corrélations entre apports hydriques et déplacements.

tèmes de fracturation induits par les états de contraintes antérieurs;

– l'existence de systèmes de discontinuités subverticales d'orientation E-W et NE-SW associées à des fractures discontinues inclinées vers le Sud permettant le développement d'un mécanisme de rupture interne avec dilatance. Celui-ci se développe en direction de la surface libre déterminée par le versant. La foliation, subverticale, d'orientation sensiblement N-S ne joue pas de rôle direct dans le mécanisme de rupture interne. Elle contribue cependant à favoriser son développement en affaiblissant les caractéristiques de la roche et en réduisant la rigidité d'ensemble;

– la très faible inclinaison des vecteurs déplacement, peu compatible avec un mécanisme de glissement. Elle est par contre plus conforme à un mécanisme de rupture interne qui entraîne une importante dilatance. Cette dernière hypothèse est également compatible avec l'existence d'une amplification des déplacements vers le haut du versant;

– la décroissance des déplacements vers la partie inférieure du versant et l'absence de désordre observable

dans la galerie EDF confirment l'existence d'une limite inférieure de la zone active. Cette limite remonte obliquement dans le versant vers l'Ouest.

Par ailleurs, l'existence d'anciennes exploitations minières, localisées en différents points du versant, n'intéresse que des zones limitées du massif. Ces anciens travaux ne semblent pas jouer de rôle significatif dans le développement de l'instabilité actuelle.

Bibliographie

ANTOINE P., CAMPOROTA P., GIRAUD A., ROCHET L., 1987 : La menace d'écroulement aux Ruines de Séchilienne (Isère). Bull. Liaison P. et Ch., 150/151, p. 55-64.

CARME F., 1971 : Les phases successives de déformation continue dans l'ensemble Belledonne - Aiguilles Rouges. C. R. Acad. Sc., t. 273, p. 1771-1774.

EVARD H., GOUIN T., BENOIT A., DURANTHON J.P., 1990 : Séchilienne, risques majeurs d'éboulements en masse. Point sur la surveillance du site. Bull. Liaison P. et Ch., 165, p. 7-16.

GIRAUD A., ROCHET L., ANTOINE P., 1990 : Processes of slope failure in cristallophyllian formations. Eng. Geol., 29, p. 241-253.