

## **Evolution comparée des conditions hydrologiques et des mouvements du glissement de la Frasse (Alpes suisses occidentales)**

F. NOVERRAZ

Centre interdépartemental d'Etude des Terrains Instables (CETI), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne, Suisse

A. PARRIAUX

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire de Géologie (GEOLEP), 1015 Lausanne, Suisse

RESUME: Le glissement de la Frasse, important glissement du retrait glaciaire situé dans les Alpes suisses occidentales, a fait l'objet d'études pluridisciplinaires très poussées, dont est résulté un nombre élevé de données relatives à l'évolution des mouvements, à l'hydrogéologie, à l'hydrologie de surface et à la climatologie. Ces dernières données, et notamment les mesures de débits de la rivière érodant le pied du glissement, sont disponibles sur plusieurs dizaines d'années; l'évolution des mouvements, connue en détail sur les vingt dernières années, fait l'objet de données remontant à plus de 200 ans.

La confrontation de ces informations, visant à expliquer les fluctuations de la vitesse des mouvements, et notamment les crises destructrices périodiques du glissement, a fourni d'intéressants résultats: elle a permis d'établir qu'aucun paramètre hydrologique pris isolément ne parvenait à rendre compte de ces fluctuations. Le déclenchement des crises semble consécutif à une conjonction de conditions défavorables incluant la pluviométrie antécédente, la pluviométrie à court terme, un état de charge élevé des eaux souterraines et vraisemblablement une évolution défavorable du profil en long du glissement.

### INTRODUCTION

Le glissement de terrain de la Frasse, qui représente un volume de 50 millions de mètres cubes, est actif en permanence et provoque d'importantes déformations de deux routes cantonales, dont l'une est fréquentée par un trafic intense en saison touristique. Ce glissement subit en outre de très fortes accélérations temporaires, qui provoquent la destruction totale de la route inférieure. Trois phases d'accélérations ont eu lieu au cours de ce siècle, et les deux dernières (1966 et 1981-82) sont bien connues (Lugeon et al., 1922; Bersier & Weidmann, 1970; Bonnard & Noverraz, 1986). Cette ultime crise s'est même produite durant la période d'étude que lui a consacré le projet de recherche pluridisciplinaire de l'EPFL DUTI (Détection et Utilisation des Terrains Instables) entre 1980 et 1984. Ces investigations ont notamment donné lieu à d'importants travaux géodésiques et photogrammétriques qui ont conduit à une excellente connaissance de la répartition des mouvements sur le court terme

depuis 1980, sur le moyen terme (tranches de quelques années) depuis 1957 et sur le long terme (tranches de plusieurs décades) depuis 1768 et 1861 (comparaison graphique et numérique de trois états cadastraux notamment) (Engel, 1986). La courbe d'évolution des mouvements qui en résulte peut être directement comparée à celle des données hydrologiques au cours des dernières décennies.

#### BUT DE LA RECHERCHE

Il était dès lors très intéressant de chercher à établir les relations entre les deux crises de 1966 et 1981-82, au cours desquelles la vitesse du glissement dans sa partie basse passait de quelques dm/an à 2-3 m/mois durant deux à quatre mois.

Des accélérations aussi importantes des mouvements pour un glissement d'une telle ampleur sont rares. Si les fluctuations climatiques sont globalement une cause majeure, il restait à établir quels facteurs avaient joué un rôle dominant.

Les études antérieures sur le glissement de la Frasse lors du projet DUTI avaient mis l'accent sur une caractérisation hydrologique basée sur les conditions à la surface de la masse glissée (Bonnard & Noverraz 1986). Les indicateurs comme la pluie efficace mensuelle n'ont pas permis de corrélation univoque satisfaisante avec la fonction déplacements.

Le but de cette communication est la recherche de paramètres hydrologiques plus explicatifs des mouvements.

Notre choix s'est tourné vers deux facteurs complémentaires qui a priori pourraient avoir un rôle important dans la dynamique de ce glissement (voir fig. 2):

- un indicateur des conditions hydrogéologiques globales dans le massif: le régime de la grande source karstique du Fontaney.
- un indicateur du pouvoir d'érosion du pied de la masse glissée: le régime de la rivière Grande Eau.

Nous avons également cherché quels pas de temps devaient être considérés pour obtenir la meilleure explication du mouvement. D'emblée, nous nous sommes orientés vers la recherche de conjonction de facteurs, non seulement entre paramètres hydrologiques mais également avec les considérations géomécaniques.

#### CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE

Le glissement de la Frasse s'est développé probablement à la suite du dernier retrait glaciaire dans un synclinal de Flysch ultrahelvétique constitué de roches schisto-marneuses à bancs grésocalcaires, occupant le coeur d'un grand pli déjeté formé par d'épaisses séries mésozoïques du Trias et du Malm et par des Couches Rouges marno-calcaires de l'Eocène (fig. 1) (Lombard et al, 1974; Gabus & Badoux, 1990). Les calcaires massifs du Malm y dominant et affleurent largement à l'amont du glissement, donnant lieu à un vaste karst superficiel (lapiez) et profond (réseau souterrain de plus d'un kilomètre de développement appelé gouffre du Chevrier). Ce gouffre a été exploré par l'un des auteurs, qui a pu notamment établir qu'il ne s'était plus trouvé noyé (en charge) depuis fort longtemps, même dans sa partie profonde (~ 500 m p.s à l'entrée) située près de la tête du glissement (Lutz et al, 1987).

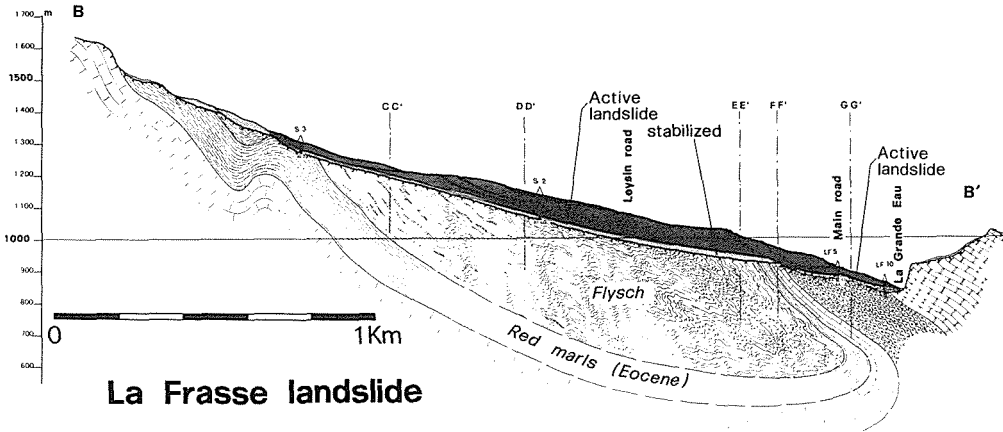


FIG. 1 Profil en long géologique du glissement et de son substratum.

Un essai de traçage à l'uranine a permis d'établir que la majeure partie des eaux circulait très rapidement en direction de la plaine du Rhône (source du Fontaney), et n'avait de ce fait que peu de relations avec le glissement.

La masse glissée, épaisse de plusieurs dizaines de mètres, voire de plus de cent mètres dans certaines zones, est constituée presque entièrement de roches du Flysch disloquées et broyées en une masse de fins débris argileux et de blocs de toutes tailles de calcaires marneux, de calcaires gréseux et de grès. Cet ensemble est peu perméable ( $K 10^{-6}$  à  $10^{-7}$  m/s). Les dix-huit forages profonds réalisés à ce jour dans le glissement ont montré que les conditions hydrogéologiques différaient beaucoup entre les parties hautes, médianes et basses du glissement. Un aquifère complexe propre à la masse glissée, à zones de potentiels très différents, a été observé. Le substratum rocheux en place présente une faible charge dans le haut du glissement (marnes rouges éocènes), un état artésien dans la partie médiane (Flysch crétacé), et un état de nouveau passablement drainé dans la zone basse (flanc renversé du pli, avec une série amincie de calcaires du Malm et des calcaires dolomitiques et cornieules du Trias).

Long de deux kilomètres environ pour une surface de  $1 \text{ km}^2$ , le glissement offre une pente moyenne de  $11^\circ$  sur les trois quarts supérieurs, et de  $20^\circ$  pour la zone en glissement plus active du bas (fig. 1). Plusieurs niveaux superposés de glissement ont été identifiés grâce aux inclinomètres et un coussin de matériaux glissés actuellement stabilisés sépare la base du glissement actif de la roche en place; ce niveau plus perméable à potentiel hydraulique faible semble exercer le rôle de drain à la base du glissement dans la plus grande partie de sa moitié inférieure. Le pied du glissement est érodé par la rivière Grande Eau sur une largeur de 600 m; cette érosion est responsable d'une activité permanente sur l'ensemble du glissement. Il a pu être établi que le profil en long de la rivière s'est progressivement élevé au cours des dernières décennies (fig. 2), ce qui démontre que la rivière ne parvient actuellement pas à évacuer la totalité des matériaux amenés par le glissement.

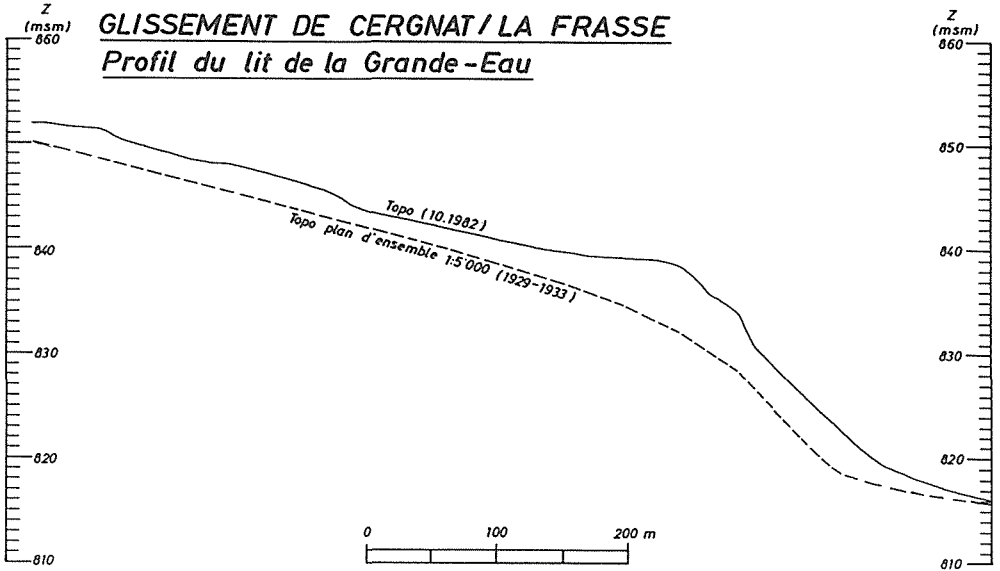


FIG 2 Evolution au cours du temps du profil en long du lit de la Grande Eau au front du glissement.

#### DONNEES DISPONIBLES

Les données de déplacement sont connues par quatre procédés:

- La comparaison d'états cadastraux a fourni les déplacements à long terme pour les périodes 1768-1861-1981/82 (Miserez et al., 1982; Bonnard, 1983; Engel, 1986).
- Les mesures photogrammétriques ont fourni les déplacements à moyen terme pour les périodes 1957-1969-1974-1980-1982-1985 (Miserez et al., 1982).
- Les mesures géodésiques ont fourni les déplacements à moyen et court terme pour la crise de 1966, localement pour la période 1951-1982, et de manière resserrée pour la période 1981-1985 (Bonnard & Noverraz, 1985 et 1986).

#### Données de déplacement

L'ensemble de ces mesures a permis la mise en évidence de variations considérables de l'activité du glissement entre différentes périodes d'activité "normale" d'une part, et surtout entre ces périodes d'activité normale et les périodes de crise d'autre part: la crise de l'hiver 1966 a provoqué un déplacement de l'ordre de 12 m de la partie basse du glissement en trois à quatre mois (7-8 m pour la route), alors que celle de 1981-1982 s'est conclue par un déplacement de 4 m de la route en trois mois (fig. 3).

On ne connaît pas avec précision la répartition et l'amplitude des mouvements durant l'ensemble de la crise de 1966. Les déplacements totaux sont tirés des mesures pour la période 1957-1969, par déduction des déplacements moyens à long terme pour les douze années.

On sait que les mouvements furent très faibles durant la période 1969-1974 et vraisemblablement 1967-1974 (quelques cm/an pour la

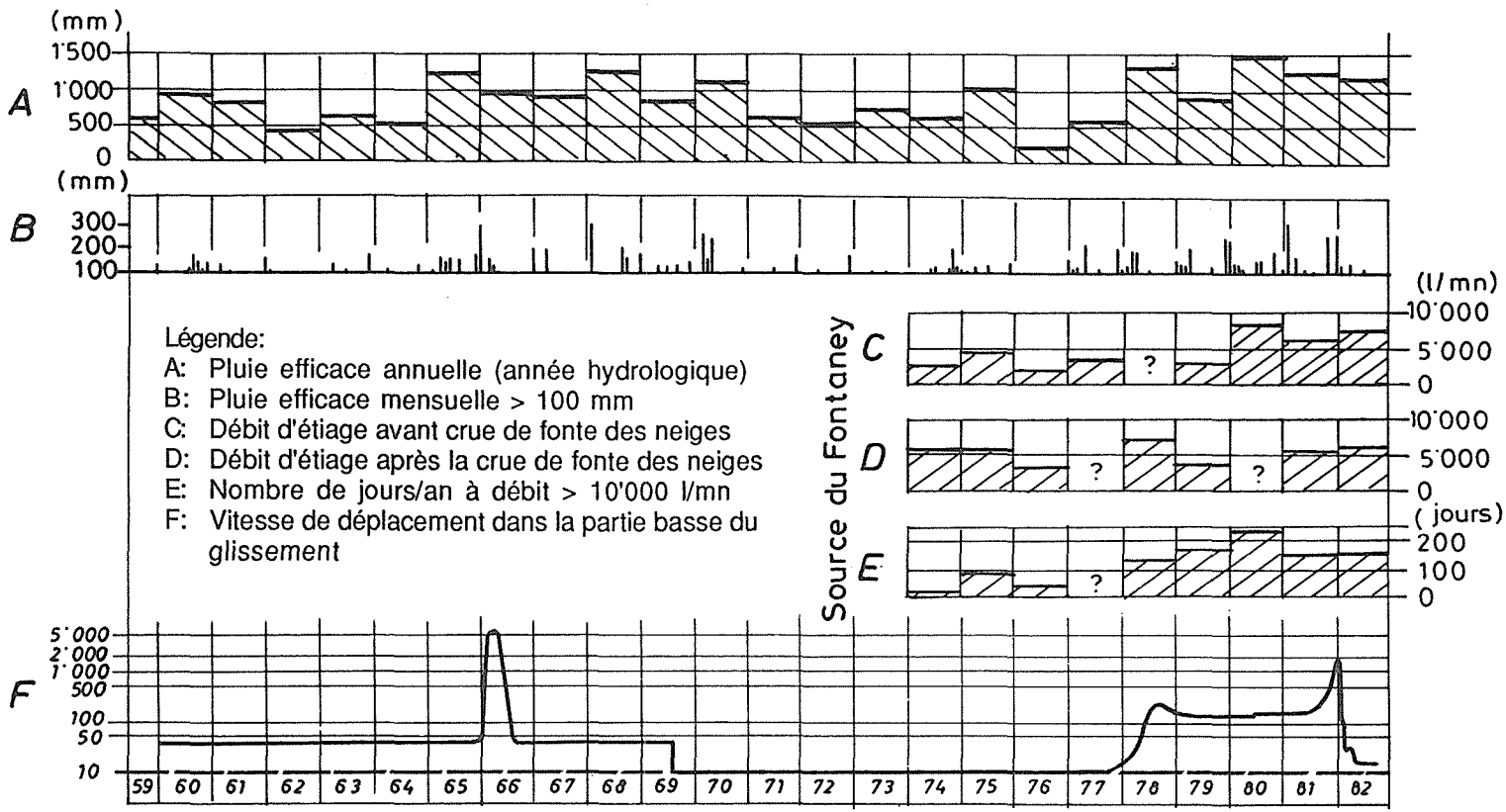


FIG 3 Comparaison des séries temporelles hydrologiques et des vitesses de déplacement du glissement.

partie la plus rapide du glissement), et cela malgré le printemps très humide de 1970, marqué par une fonte rapide d'un tapis neigeux très épais. On sait aussi que les années postérieures à la crise de 1981-1982 furent caractérisées par des mouvements également très faibles

Pour le très long terme, on sait par la comparaison d'états cadastraux que les déplacements dans la partie basse du glissement furent de 45 cm/an de 1768 à 1861 et de 62 cm/an de 1861 à 1982; sachant en outre que le mouvement de la route fut de 22 m entre 1840 et 1867 (Lugeon et al., 1922), on peut évaluer les déplacements à 36 cm/an de 1768 à 1840 (72 ans) et à 65 cm/an de 1840 à 1985 (125 ans), soit une accélération très importante. Les données climatiques manquent cependant pour permettre une corrélation avec ces valeurs. On peut voir par contre dans celles-ci l'explication de la surélévation actuelle du lit de la rivière.

### Données hydrologiques

Grâce aux réseaux fédéraux, nous bénéficions de longues séries temporelles sur les paramètres suivants :

- Pluviométrie : pluies journalières à la station Leysin jusqu'en 1976 et Le Sépey depuis 1977.
- Climatologie : mesures de la hauteur de neige, mesures de température de l'air plusieurs fois par jour aux mêmes stations de Leysin et du Sépey.
- Hydrométrie : enregistrement des débits instantanés de la Grande Eau à la station Aigle depuis 1935.

Une autre série temporelle importante a été mise en valeur grâce aux services industriels de la Commune d'Aigle :

- Hydrogéologie : mesures mensuelles du débit de la source du Fontaney depuis 1974.

Les mesures acquises lors du projet DUTI (hydrométrie des ruisseaux, pluviométrie complémentaire, piézométrie dans le glissement) sont plus détaillées mais portent sur des périodes nettement plus réduites (4 ans) et sont moins utiles pour l'étude du comportement à long terme du glissement.

La mise en valeur des données hydrologiques brutes en vue de la comparaison histoire hydrologique - histoire des mouvements a été conçue de la manière suivante (fig. 3):

- Pluviométrie : reprise de l'analyse du projet DUTI avec les pluies efficaces depuis 1960.
- Hydrométrie de la Grande Eau : étude d'événements de crue par le traitement des débits de pointe.
- Hydrogéologie : traitement des hydrogrammes de la source du Fontaney pour en faire ressortir l'état des eaux souterraines à des moments choisis de l'année. Notamment, nous avons cherché à cerner les conditions de part et d'autre de la période potentiellement dangereuse de la fonte des neiges. Nous avons retenu ainsi une décomposition en trois paramètres (fig. 3):
  - caractérisation de l'état de charge des eaux souterraines en fin d'hiver, avant la crue de fonte de neige. Le débit à cette période représente le volume de la réserve d'eau dans le milieu souterrain avant une nouvelle recharge.

- état après la recharge du printemps. Ce débit sert de valeur d'index pour décrire globalement l'efficacité de l'infiltration durant la fonte.
- intensité et durée de la recharge souterraine printanière avec le nombre de jours à débit supérieur à 10'000 l/mn.

#### CORRELATION ENTRE DONNEES HYDROLOGIQUES ET MOUVEMENTS

En premier lieu nous examinons quelles ont été les conditions hydrologiques avant et pendant chacune des crises importantes d'activité :

- hiver et printemps 1966
- hiver 1981 - 1982

Puis nous verrons d'autre périodes caractérisées par des conditions hydrologiques a priori défavorables mais qui n'ont pas donné lieu à des mouvements importants.

#### I Crise de 1966

- Pluviométrie: Les précipitations du printemps et de l'été 1965 ont été particulièrement importantes. Celles de novembre et décembre se distinguent par une somme de 518 mm soit 235% des précipitations mensuelles moyennes. Cette grosse couverture neigeuse a été restituée en février 1966, mois au cours duquel les précipitations furent encore de 163 mm; elles furent à nouveau de 147 mm le mois suivant.
- Hydrométrie: Le débit de la Grande Eau a présenté une crue assez importante (39 m<sup>3</sup>/s, environ 8 fois le débit annuel moyen) au début de la période d'accélération des mouvements (février).
- Hydrogéologie: en l'absence de mesures à la source du Fontaney, il est difficile de caractériser l'état des eaux souterraines. Il est logique de penser au vu des pluies du printemps et de l'été 1965 que le débit d'étiage durant l'hiver 1965-1966 devait être très élevé.

Les conditions hydrologiques qui semblent avoir régi cet événement sont donc une conjonction pluviométrie (y compris fonte) et état général des eaux souterraines. Les débits maxima de la rivière sont restés relativement bas.

#### II Crise de 1981 -1982

- Pluviométrie: Dès le début de l'année, 1981 a été très pluvieux, jusque et y compris durant les mois critiques où les précipitations ont atteint 300 mm en octobre (environ 3 fois la valeur moyenne) et 290 mm en décembre (partiellement sous forme de neige, rapidement fondue).
- Hydrométrie: La crue d'octobre dans la Grande Eau a nettement dépassé celle de 1966 avec des débits de pointe supérieurs à 50 m<sup>3</sup>/s. Cet événement a cependant été de courte durée et n'a pas agi tout au long des mouvements.

- **Hydrogéologie:** La figure 3 montre un état élevé des eaux souterraines avant les déplacements, sur la base des hydrogrammes de la source du Fontaney.

Les conditions des mouvements sont ici liées à la conjonction pluviométrie antécédente et par conséquent haut niveau des eaux souterraines avec une nouvelle période très pluvieuse en automne, essentiellement sous forme liquide.

Il convient maintenant d'examiner aussi les cas où des conditions hydrologiques similaires n'ont pas conduit aux mêmes conséquences sur la stabilité des terrains. L'histoire hydrologique récente permet de sélectionner au moins trois événements de hautes eaux:

- **Été 1968:** 660 mm d'eau sont tombés de juillet à septembre, soit un total comparable à celui des deux périodes de crise. La pluviométrie efficace est cependant moindre du fait de l'évapotranspiration plus élevée des mois d'été. Les débits de la Grande Eau furent importants avec une pointe de 33 m<sup>3</sup>/s en août et surtout une pointe de 77 m<sup>3</sup>/s en septembre, correspondant à un débit journalier maximum de 37 m<sup>3</sup>/s. En revanche, les précipitations antécédentes furent modérées; il n'y a donc pas lieu de penser que les eaux souterraines étaient dans un état critique. Cet événement correspond par ailleurs lui aussi à la période de faibles mouvements ayant fait suite à la crise majeure de 1966.
- **Printemps 1970:** Le régime pluviométrique de cette période est très semblable à celui de 1966: fort couvert neigeux, pluie printanière accompagnant la fonte. Les débits de la Grande Eau sont également du même ordre de grandeur, bien que beaucoup plus persistants. Ce qui diffère en revanche, c'est les précipitations antécédentes de l'année avant l'événement. Ces conditions n'ont conduit à aucune accélération des mouvements qui sont restés très bas au cours de toute la période 1969-1976 (voir fig. 3). Il faut chercher les raisons de cette différence d'incidence sur le mouvement notamment dans le fait que les eaux souterraines n'étaient pas dans une situation critique.
- **Hiver 1979-1980:** 707 mm d'eau sont tombés de novembre 1979 à janvier 1980, et même 870 mm jusqu'à février 1980 ou 1'000 mm jusqu'à mars 1980. Les débits de la Grande Eau furent importants en nombre 1989 (pointe à 36 m<sup>3</sup>/s) et février (pointe à 22 m<sup>3</sup>/s). Ces précipitations sont cependant tombées en partie sous forme de neige, dont la fonte a été fortement différée et étalée en mai. Les précipitations antécédentes furent importantes; néanmoins l'étiage avant la crue de printemps 1989 de la source du Fontaney avait été particulièrement bas suite à la série d'années sèches qui avaient précédé (tandis que l'étiage d'été 1989 fut moyen).

A côté de ces critères hydrologiques, un autre élément semble pouvoir jouer un rôle: en période d'activité normale du glissement, le profil en long de celui-ci évolue dans le sens d'un "gonflement" de la partie médiane (+ 1 à 1,5 mètre, établi par photogrammétrie entre 1969 et 1980); cette déformation, défavorable à la stabilité, conduirait à une situation de plus en plus critique, jusqu'au moment où la conjonction d'éléments hydrologiques moteurs, non suffisants en d'autres périodes, aboutit à la crise. Cette dernière se traduirait par un profil moins critique du glissement. Celui-ci resterait par conséquent moins sensible aux événements hydrologiques défavorables durant une période de plusieurs années (voire de dix à vingt ans) après la crise, au point que son activité est même réduite à un



niveau bien inférieur à celui de l'activité moyenne à long terme (période 1967-1974 et depuis 1982). Toutefois, pour mieux étayer cette thèse, un contrôle de l'état du profil avant les mouvements de 1966 aurait été nécessaire, et celui-ci n'a pu être effectué, faute de photographies aériennes de qualité adéquate.

#### SYNTHESE

L'examen des événements étudiés permet de conclure de la manière suivante :

Les événements qui ont donné lieu à une accélération des mouvements montrent une conjonction d'une situation critique des eaux de pluie et de fonte avec une situation de hautes eaux des réserves souterraines. La période critique a donc été dans les deux cas l'hiver. Ce qui semble différencier la crise plus grave de 1966 de celle de 1981-1982, c'est la simultanéité de la pluie et de la fonte en février, sur une courte période.

Les événements hydrométéorologiques qui n'ont pas donné lieu à des mouvements particuliers montrent des conditions hydrologiques individuellement défavorables (surtout la pluviométrie), mais sans la conjonction avec une situation critique des eaux souterraines.

Le rôle des crues dans la Grande Eau est sans effet si la conjonction avec les autres critères n'est pas remplie. Le cas de crues isolées très violentes comme celle du 23 novembre 1944 (123 m<sup>3</sup>/s) le démontre bien. Inversement, les débits de pointe durant les crises de glissement n'étaient ni très élevés ni persistants. Cela s'explique par le fait que les crues de la rivière jouent surtout un rôle d'évacuation des matériaux en pied de glissement après les mouvements et assurent ainsi la régénération progressive des conditions d'instabilité. Elle ne sont donc pas un facteur déclenchant des mouvements.

#### CONCLUSIONS

La présente étude contribue à mieux connaître les relations entre les eaux et les glissements de terrain dans un cas de mouvement de grande dimension de type alpin.

La comparaison historique entre les événements hydrologiques et l'évolution des déplacements montre la nécessité de choisir très précautionneusement les paramètres caractéristiques. Chacun d'entre eux doit être abordé selon différents pas de temps pour déterminer quelles conditions ont les effets les plus sensibles sur la stabilité du versant. La prise en compte globale des facteurs hydrologiques est indispensable pour déterminer ces conditions.

Dans le cas du glissement de la Frasse, nous avons pu comparer des événements hydrologiques à première vue similaires, dont certains avaient abouti à une accélération importante des mouvements, et d'autres n'avaient eu aucun effet sur ceux-ci: l'analyse détaillée de ces événements a montré que l'une des données hydrologiques les moins apparentes, le régime des eaux souterraines, jouait un rôle déterminant et permettait de distinguer les événements hydrologiques de hautes eaux ayant effectivement conduit à une phase de crise du glissement.

#### REFERENCES

Bersier, A. & Weidmann, M. (1970) Le glissement de terrain de Cergnat-La Frasse. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., 334.

- Bonnard, Ch. (1983) Nouvelles techniques de mesure au glissement de La Frasse (VD). Route et trafic, 1/83.
- Bonnard, Ch. & Noverraz, F. (1985) Projet d'Ecole DUTI, rapport final. EPFL, Lausanne.
- Bonnard, Ch. & Noverraz, F. (1986) Le glissement de Cergnat-La Frasse, analyse pluridisciplinaire. DUTI-EPFL, Lausanne.
- Engel, T. (1986) Nouvelles méthodes de mesures et d'analyse pour l'étude des mouvements du sol en terrains instables. Thèse EPFL, Lausanne.
- Gabus, J.H. & Badoux, H. (1990) Atlas géologique de la Suisse, feuille 1985 Les Diablerets. Service hydrologique et géologique national, Berne, sous presse.
- Lombard, A. et al. (1974) Atlas géologique de la Suisse, feuille 1267 Les Mosses. Service hydrologique et géologique national, Berne.
- Lugeon, M., Paschoud, E. & Rothpletz, F. (1922) Le glissement de Cergnat-la Frasse, rapport d'expertise. Dép. des trav. publ. Vaud, Service des Routes, Lausanne.
- Lutz, T., Parriaux, A. & Tissières, P. (1987) Traçage au Gouffre du Chevrier (Préalpes vaudoises) et méthodes d'identification de l'uranine à faible concentration. Bull. Centre d'Hydrogéologie Univ. Neuchâtel, 7.
- Miserez, A., Gabus, J.H., Koelbl, O., Stuby, J.J., Dupraz, H., Durussel, R. & Engel, T. (1982) Divers articles relatifs aux travaux de mensuration sur le glissement de la Frasse. Mensuration, Photogrammétrie, Génie Rural, 9/82.