

LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DE VILLERVILLE-CRICQUEBOEUF (CALVADOS) PRÉVISION DES RISQUES

O. MAQUAIRE

Docteur

Ingénieur Responsable du Laboratoire de Tours

CEBTP

1 - INTRODUCTION

A l'Est du département du Calvados, sur 12 km entre Trouville-sur-Mer et Honfleur, le plateau du Pays d'Auge est bordé de hautes falaises de 140 m d'altitude maximale, composites dans leur aspect topographique et dans leur structure géologique. Le profil variable d'une extrémité à l'autre (fig. 1) est en rapport avec l'épaisseur relative des assises sédimentaires affectées d'un faible pendage vers l'Est. Un escarpement principal formé par la craie du Cénomaniens repose sur une assise de sables glauconieux. Au-dessous, une épaisse série argilo-marneuse du Kimméridgien et de l'Oxfordien surmonte les calcaires gréseux d'Hennequeville qui, entre Trouville et la pointe du Heurt, arment le pied de la falaise et constituent un platier rocheux. Au pied de l'escarpement crayeux, la pente est plus douce, relativement rectiligne, abstraction faite des entailles de vallons qui descendent du plateau vers la mer. La pente relativement régulière est celle de formations superficielles épaisses, qui comportent d'une part des panneaux et blocs de craie glissés, et d'autre part, des « éboulis » (head) d'éclats de craie et de silex et des loess qui combrent les espaces entre les blocs de craie. Ces formations ont achevé de se mettre en place au

Pleistocène Supérieur [Flageollet J.C. et Helluin E., 1984 et 1987].

Plusieurs points du littoral sont instables et des désordres sont apparus au cours des siècles passés, particulièrement au cirque des Graves à Villerville et dans celui des fosses du Macre à Cricqueboeuf qui étaient depuis toujours réputés instables. Les mouvements du sol de faible amplitude étaient familiers aux habitants de la région qui s'y étaient progressivement accoutumés.

Dans la nuit du 13 au 14 janvier 1982, la surprise a été brutale, en raison de l'ampleur imprévue des mouvements et des conséquences sur les habitations. Au Cirque des Graves et aux fosses du Macre, à la suite de nombreux signes annonciateurs (fissures, tassements...) une accélération brutale des déplacements provoqua de nombreux dégâts avec la destruction partielle ou totale d'une trentaine de villas et la coupure, en deux endroits, du CD 513 par des affaissements de plusieurs dizaines de centimètres.

Les désordres sur le versant étaient visibles sous la forme d'affaissements compartimentés par des escarpements subverticaux de quelques dizaines de centimètres à plus de 1 à 2 m. Au sommet, la couronne du glissement, formée par un escarpement de plus de 3 m de dénivellation par endroits, décrivait un arc de cercle plus ou moins sinueux qui tangentait le bourg de Villerville sur sa façade orientale.

Mais le plus surprenant a été l'apparition d'un bourrelet de matériaux marneux d'environ 2,50 m de hauteur sur 300 m de long à la base du versant au droit du camping des Graves provoquant le soulèvement du haut de plage et des épis en enrochements. Un tel phénomène n'a pas été observé à l'avant des fosses du Macre à Cricqueboeuf.

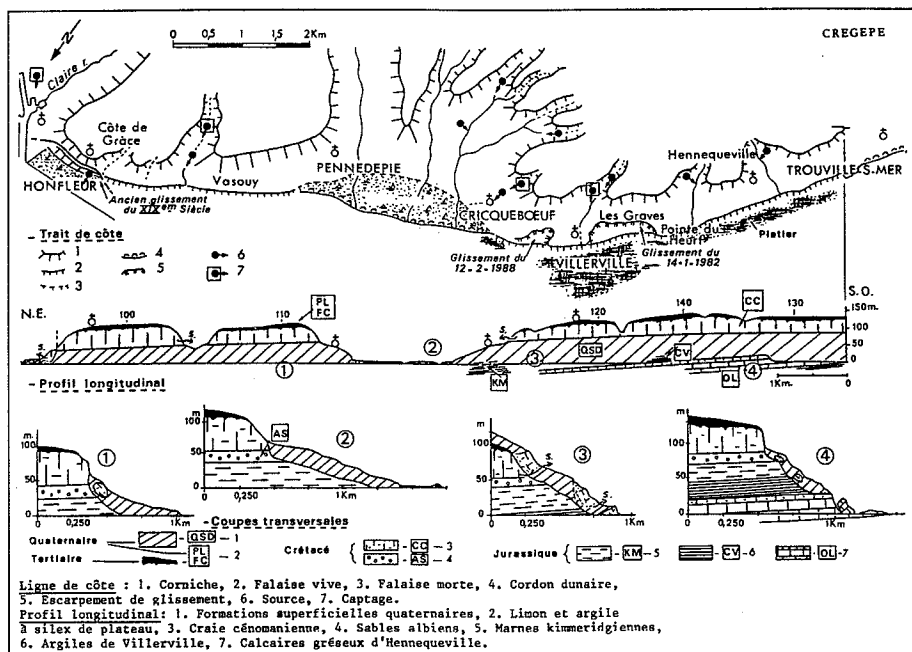


fig. 1 - Géomorphologie des falaises du Pays d'Auge (Calvados).

Geomorphology of the cliffs of Pays d'Auge (Calvados).



Vue aérienne vers l'Ouest de Cricqueboeuf à Trouville (à l'arrière-plan le port de Deauville). On distingue le	bourg de Villerville entre les deux cirques, le CD 513 et le platier rocheux (photo O. Maquaire).	<i>Aerial view towards west of Cricqueboeuf at Trouville (in background, the port of Deauville). The town of</i>	<i>Villerville can be distinguished between the two cirques; also seen are road CD 513 and the rocky flats.</i>
--	---	--	---

Les désordres ont été beaucoup plus importants au cirque des Graves qu'aux fosses du Macre. L'extension régressive des désordres en dehors des zones connues a mobilisé une bande de terrain beaucoup plus large entraînant des dégâts importants aux constructions et au CD 531. A Cricqueboeuf, la zone soumise à des glissements actifs a peu progressé par rapport à celle connue de longue date (cartographie ZERMOS) sauf principalement sur les flancs.

Après la phase de l'accélération brutale, l'amortissement des déplacements a duré environ deux semaines. A la suite de ces événements, quelques observations sans véritable étude approfondie ont montré que ces secteurs sont soumis à une **activité quasi-permanente** qui range ces glissements parmi les mouvements actifs.

Un programme de prévention des risques a été conçu afin de répondre aux interrogations suscitées par les risques encourus dans le secteur de Villerville-Cricqueboeuf. Il a été élaboré à l'initiative du professeur J.C. Flageollet par un comité scientifique et technique qui associe l'Université de Caen à plusieurs partenaires extérieurs locaux. La maîtrise d'œuvre a été confiée à l'auteur de cet article pour la réalisation d'une thèse d'université.

Une étude géotechnique approfondie nécessitant des moyens lourds d'investigation (sondages carottés de reconnaissance, etc.), le financement du programme a été assuré par différents intervenants, concernés à divers titres par ce sujet: Université de Caen, Centre National de la Recherche Scientifique, ministère de la Recherche et de la Technologie, Conseil Régional de Basse Normandie et Conseil Général du Calvados. Les moyens consentis, malgré leur importance, n'ont pu malheureusement couvrir toutes les opérations techniques souhaitables.

Malgré une réduction obligée du nombre de sondages carottés et d'inclinomètres, de piézomètres et de levés topographiques, il a été possible de réaliser une surveillance par des suivis ponctuels plus ou moins rapprochés dans le temps au cirque des Graves à Villerville.

2 — LES DÉPLACEMENTS

2.1 — Le réseau de surveillance

Les choix des méthodes et des instruments ont été guidés par les nombreux exemples récents de surveillance de plusieurs

grands glissements en France ou à l'étranger tels celui de la Clapière près de Saint-Etienne-de-Tinée [Follaci J.P., 1984; Vibert C., 1987], ou celui du remblai d'essais sur le versant instable à Sallèdes dans le Puy-de-Dôme [Pouget P. et al., 1984], le contrôle de la stabilité de la route de Fréjus à flanc d'un versant instable [Giraudin P., 1984] ou en Suisse les sites d'Hérémence [Miserez A., 1985] de Villarbeney, de la Chenaule, de Cossonay, de la Frasse, ... [DUTI, 1985].

Installé au cirque des Graves en décembre 1984, le réseau de surveillance a été suivi régulièrement jusqu'en février 1988. Ce réseau est constitué de:

- quatre-vingt-sept repères bétonnés fixés dans le sol et dont les coordonnées dans l'espace ont été régulièrement déterminées par triangulation à l'aide d'un théodolite Wild T2 muni d'un distancemètre électro-optique DI4L;
- trois sondages carottés munis de tubes inclinométriques et vingt et un puits et piézomètres dont l'un est équipé d'un limnigraphe pour suivre les battements de la nappe en continu. Les données climatiques sont fournies par la station météorologique de Saint-Gatien-des-Bois installée sur le plateau, à moins de 2 km du versant.

2.2 — Les mesures des déplacements de surface

2.2.1 — Moyens et techniques utilisés

Les quatre-vingt-sept repères ont été mis en place sur 1 km de longueur entre la bordure Ouest du bourg de Villerville et la pointe du Heurt et sur une largeur d'environ 600 m entre le platier rocheux et le rebord du plateau, soit sur une surface d'environ 60 ha. Certains possèdent une embase de nivelle, d'autres, sans embase, sont munis d'un repère de centrage de type clou de «géomètre» et d'autre sont des pointerolles en acier enfoncées en force sur l'éstran rocheux et la chaussée. Vingt-deux d'entre eux constituent le canevas des points fixes (polygonale de base), disposés en dehors de la zone actuellement en mouvement ou susceptible de l'être dans un avenir proche. La stabilité de ces points est contrôlée par topométrie et par relevé à la nivelle de précision à vis micrométrique [Pincent B., 1977].

Compte tenu des contraintes (morphologie fortement tourmentée, dénivelée d'environ 120 m, végétation arbustive assez dense, nombreuses constructions...), un maillage géométrique

Partie orientale du cirque des Graves. A gauche Villerville (photo O. Maquaire).	<i>Eastern part of the circus of Graves. Villerville is on the left.</i>
--	--



régulier n'a pu être développé comme cela aurait été préférable et de nombreux points intermédiaires ont dû être installés. Une large zone ne comporte aucun point à cause de son inaccessibilité. En raison des contraintes citées précédemment, un grand nombre de stations de mesures sont indispensables, soit trente-neuf en totalité, et un système simple de visée, basé uniquement sur deux stations fixées face au versant, n'a pu être implanté comme ce fut le cas par exemple pour la surveillance du versant de la Clapière [Follaci J.P., 1984].

Pour l'ensemble du dispositif, le temps de mesure est de l'ordre de trois à quatre jours selon les conditions météorologiques et la présence de trois à quatre personnes est nécessaire. Deux cents visées sont effectuées (fig. 2). Il faut également rappeler que les stations E1 et E4 sont installées sur le platier rocheux et qu'il faut donc attendre la marée basse pour accéder à ces stations contraignantes.

Etant donné le nombre élevé de données à traiter, environ huit cents par levé, le calcul par triangulation des coordonnées d'un point dans l'espace a été permis grâce à la mise au point de programmes de calculs spécifiques utilisant la méthode classique des moindres carrés [Maquaire O., 1990]. En planimétrie, la précision de la détermination du point est de l'ordre de 5 à 10 mm. En altimétrie, le nivellement indirect a pour conséquence une précision moindre, l'altitude des points a donc été, par la suite, déterminée par nivellement direct au niveau automatique.

2.2.2 — Les résultats

Pendant un peu plus de trois années, dix relevés ont été réalisés. Quarante-six repères ont subi un déplacement dont la valeur cumulée en planimétrie varie très fortement, entre 4 cm et 5,20 m. La direction générale des déplacements observée à l'intérieur du glissement correspond à la ligne de plus grande pente qui est perpendiculaire au littoral.

La vitesse moyenne annuelle rend mieux compte de la répartition spatiale de ces déplacements (fig. 3). Les vitesses crois-

santes de l'amont vers l'aval s'organisent en bandes plus ou moins concentriques à partir d'un noyau médian, centré sur les repères 201 et 202. Les valeurs relevées étaient prévisibles dans la zone du camping des Graves; par contre, au niveau de la pointe du Heurt, ils ont été plus importants que ceux soupçonnés auparavant.

Les courbes de déplacements cumulés montrent une tendance à l'accélération de ceux-ci tant en plan qu'en altitude (fig. 4). Elles traduisent également l'accélération des déplacements de février 1988, qui a conduit à un glissement important dans la nuit du 12 au 13 février 1988, principalement à Cricqueboeuf, causant de nombreux dégâts, une extension amont et latérale de la zone mobilisée et un soulèvement de l'estran qui a disloqué les épis et les enrochements de défense [Maquaire O., 1988].

3 — LES RELATIONS ENTRE LA PIÉZOMÉTRIE ET LES CONDITIONS CLIMATIQUES

3.1 — Piézométrie et pluviométrie

L'observation des courbes piézométriques (fig. 5) montre que les phénomènes de recharge ou de drainage se font quasiment simultanément en tous points du versant, mais que les variations altimétriques sont très différenciées d'un point à un autre, inférieures à un mètre ou supérieures à trois mètres, et sont en rapport direct avec les conditions structurales — nature du matériau, fracturation, transmissivité — et avec la puissance de l'aquifère. Les nappes proches de la surface, ou celles plus profondes mais circulant dans un milieu fissuré, par exemple, connaissent des fluctuations altimétriques importantes et de courtes durées.

Les relations entre la piézométrie et la pluviométrie sont établies à partir des pluies ou des pluies efficaces comme cela a été réalisé dans les études menées ailleurs [DUTI, 1985; Delmas Ph. et al., 1987; Cartier G. et Pouget P., 1987; Matichard P. et Pouget P., 1988].

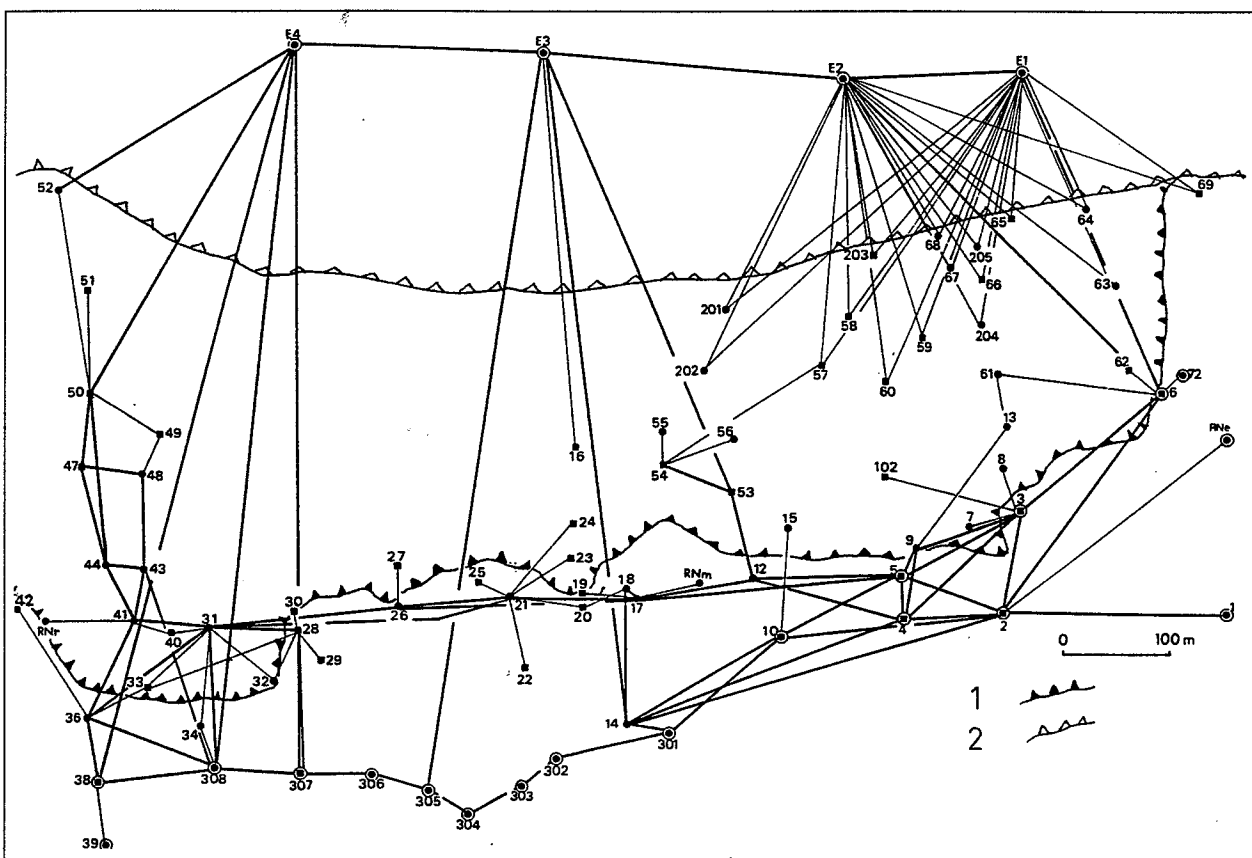


fig. 2 — Schéma des visées enregistrées durant un levé topométrique à Villerville (couronne de glissement: 1, pied de falaise: 2).

Diagram of recorded views during a topometric survey at Villerville (slide circle: 1, toe of cliff: 2).

fig. 3 –
Vitesse
moyenne
annuelle en
planimétrie
entre janvier
1985 et février
1988.

Average annual
speed in
planimetry
between
January 1985
and February
1988.

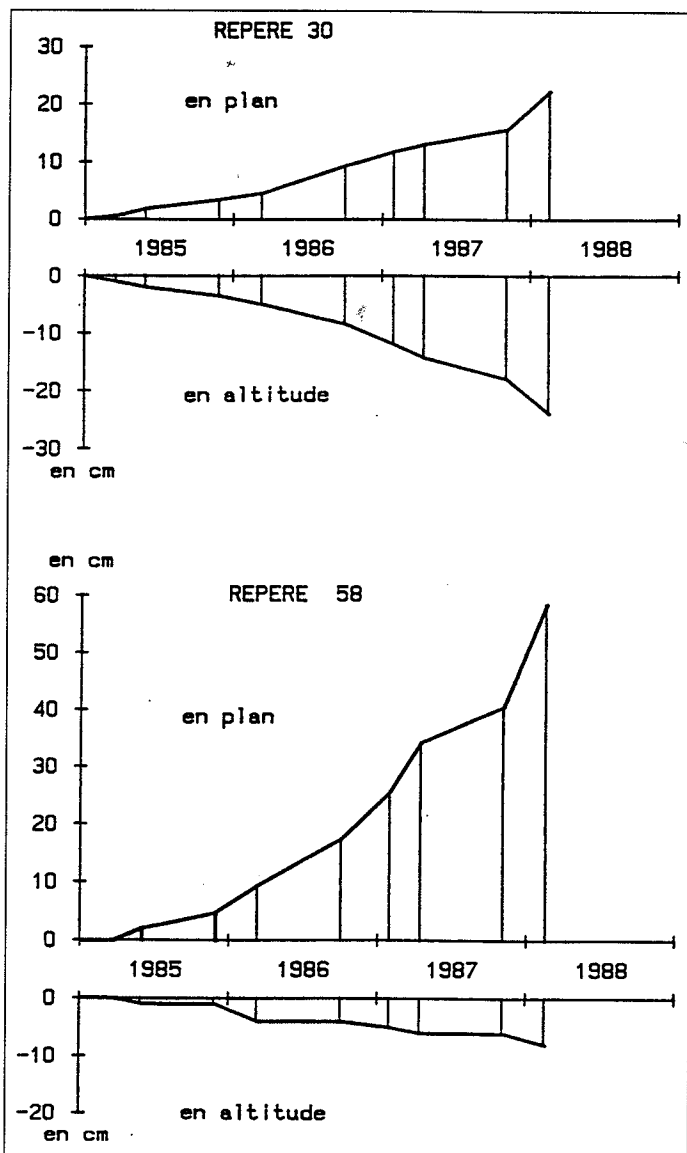
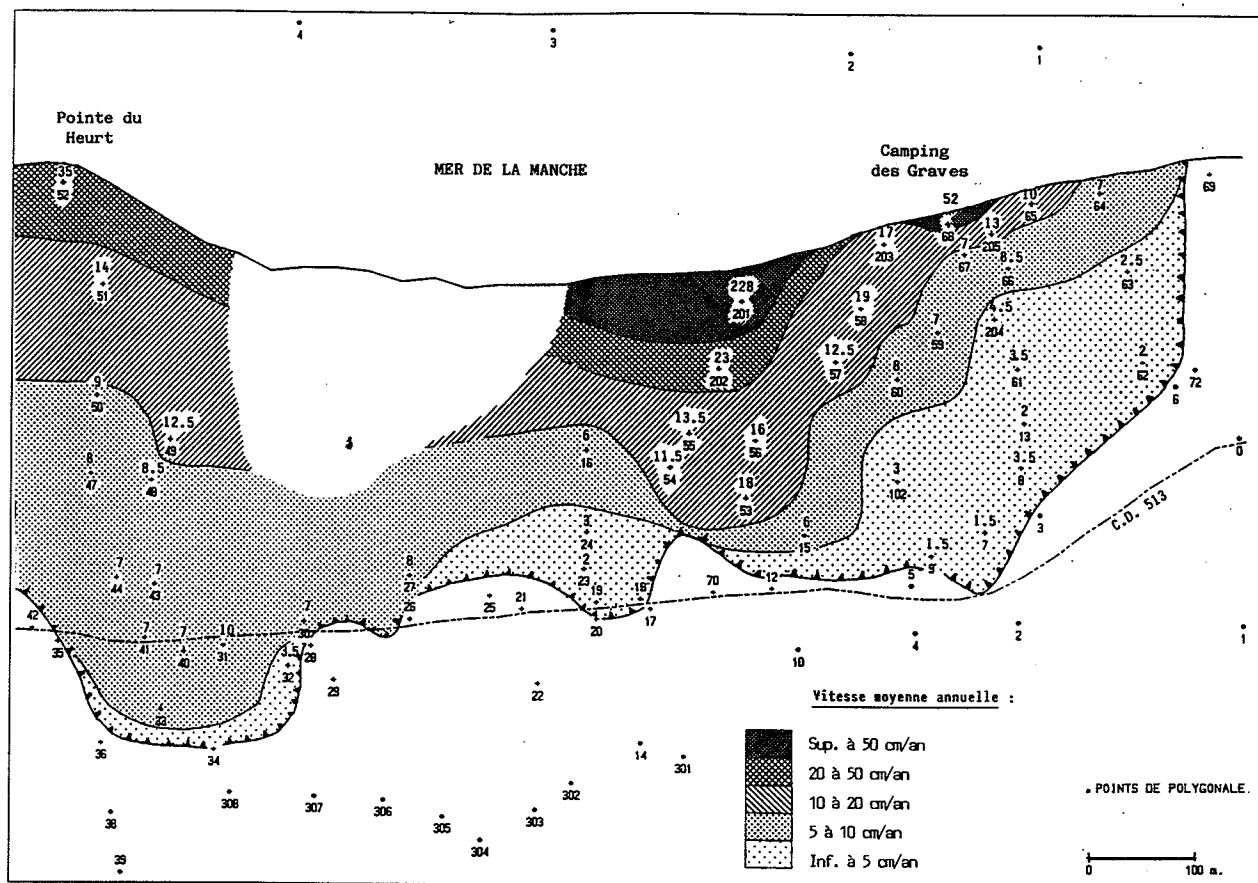
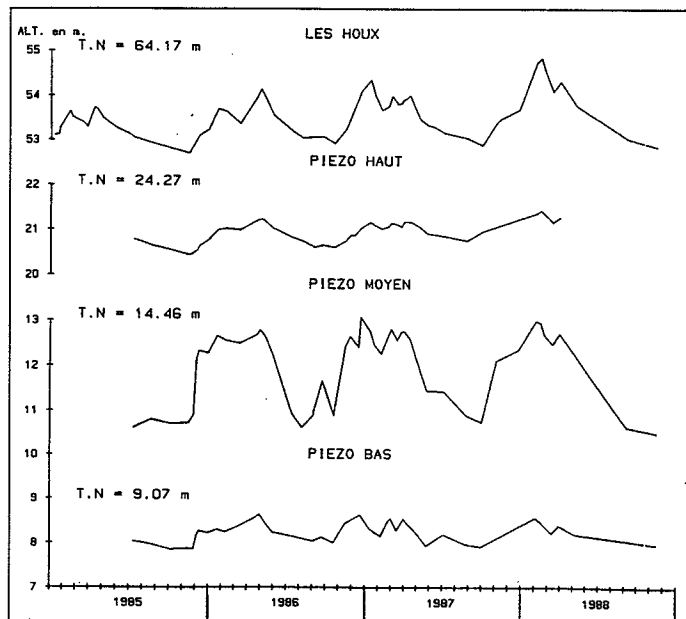


fig. 4 –
Déplacements
cumulés en
plan et en
altitude des
repères n° 30
et n° 58.

Cumulative
movements in
plan and in
altitude of
references 30
and 58.

fig. 5 –
Evolution de la
piézométrie
entre 1985 et
1988.

Evolution of
piezometry
between 1985
and 1988.



La comparaison des courbes piézométriques et de la pluie efficace décadaire cumulée ou de la pluie journalière cumulée (fig. 6) montre des variations altimétriques avec des recharges brutales consécutives à des périodes fortement pluvieuses. A contrario, les drainages s'amorcent et se poursuivent même pour des périodes déficitaires de courte durée, ou pas arrosées. Un autre phénomène souvent observé est la brièveté des épisodes de nappe haute.

La recharge de la nappe débute au mois d'octobre ou novembre et se poursuit pendant cinq à six mois, selon les années et selon la répartition temporelle des pluies, soit jusqu'à fin mars ou début avril. Cette période de hautes eaux correspond grossièrement à celle des pluies efficaces ou de l'excédent pluviométrique. Mais cette phase de remontée des eaux souterraines n'est pas soutenue: il suffit de plusieurs jours secs ou peu arrosés pour entraîner un ralentissement de la remontée ou un début de drainage de la nappe.

Le temps de réponse entre la remontée et le début de la pluie efficace est de quatre à cinq jours (fig. 6). Par exemple, en début d'année hydrologique fixé au 1^{er} novembre en 1985 et au 10 octobre pour 1986, une vingtaine de jours sont nécessaires (vingt-cinq jours en 1985 et dix-huit jours en 1986) pour qu'il y ait remontée des eaux. Ce décalage correspond à la phase de saturation du bassin versant après l'étiage et à la reconstitution de la réserve utile des sols, et au temps d'infiltration.

Pour chaque remontée, la quantité de pluie responsable et la valeur de celle-ci ont été calculées, comme cela a été effectué sur le site de Sallèles [Delmas Ph. et al., 1987; Matchard Y. et Pouget P., 1988]. Les résultats obtenus sont très dispersés en ne prenant en compte que la valeur brute des précipitations; par contre, la corrélation est meilleure avec la pluie efficace (fig. 7).

On constate que les niveaux des hautes eaux et dans une moindre mesure ceux de basses eaux, sont supérieurs une année après l'autre. Cette élévation pluriannuelle du niveau moyen de la nappe est consécutive à l'effet de « mémoire » des précipitations des années précédentes. Cette évolution est observée à partir de puits situés sur le plateau pour lesquels les enregistrements portent sur une longue période à partir de 1976.

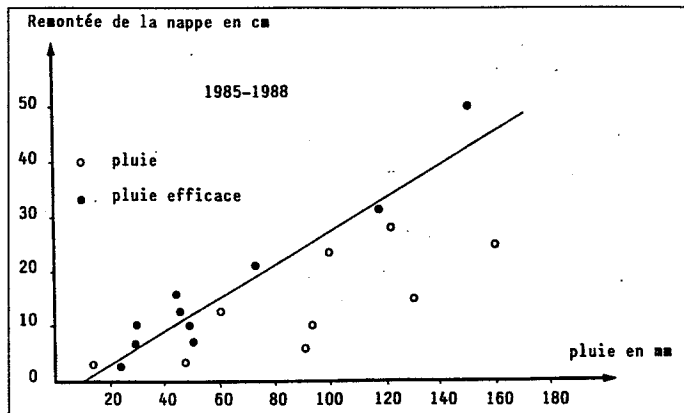


fig. 7 — Relation between rainfall and rise of water table.

La figure 8 montre que l'élévation pluriannuelle amorcée en 1978 se poursuit jusqu'en mars 1982 et avril 1983. Puis arrive un épisode de plusieurs années de niveaux moyens décroissants. Cette évolution croissante à partir de 1978 est en parfait accord avec celle des fluctuations non cycliques de la pluviométrie annuelle de la station de Saint-Gatien qui correspond à une période où les pluies sont très nettement supérieures à la moyenne avec une moyenne mobile calculée sur cinq années supérieure de 20% à la moyenne interannuelle et même de 30% en 1982 [Maquaire O., 1990]. Le niveau haut observé en 1982 est en phase avec le déclenchement du mouvement

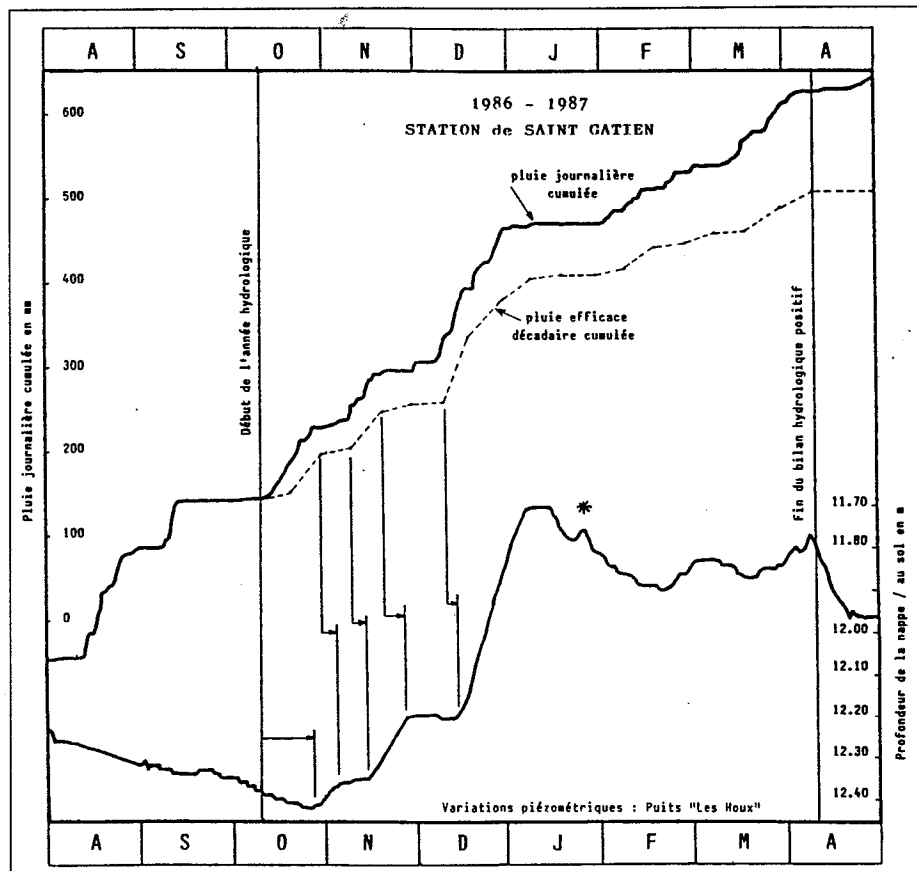


fig. 6 — Pluie journalière cumulée et pluie efficace cumulée de la station de Saint-Gatien-des-Bois et variations piézométriques du puits «Les Houx» d'août 1986 à avril 1987.

majeur du 10-11 janvier 1982. A un degré moindre, le niveau piézométrique élevé de l'hiver 1988 correspond au déclenchement des désordres de février 1988 à Cricqueboeuf.

3.2 — Piézométrie et gel

A la suite du glissement de 1982, le gel a été rendu responsable d'un blocage des écoulements de surface et, par voie de conséquence, d'une élévation des surpressions interstitielles, néfaste à la stabilité du versant.

Entre 1984 et 1987, les gels très rigoureux et persistants ont permis d'intéressantes observations. Aux principaux exutoires en pied de versant, on peut déceler le maintien d'un écoulement très faible, ralenti mais non bloqué. Parallèlement, les mesures piézométriques indiquent qu'à la suite d'une phase de maintien de la surface du plan d'eau, s'amorce une phase de tarissement liée à l'absence d'alimentation verticale, sauf après le dégel et la fonte de la neige. Par exemple, au mois de janvier 1987, il n'a pratiquement pas plu pendant une vingtaine de jours, mais de fortes chutes de neige se sont produites, avec des gels intenses pendant une quinzaine de jours. La neige, de 6 cm d'épaisseur en moyenne, a commencé à fondre le 21 janvier jusqu'au 25 et le 26 une petite remontée de 2 à 3 cm du plan d'eau est enregistrée. Cette élévation temporaire s'est maintenue deux jours puis, en l'absence d'alimentation verticale, une phase de drainage s'est amorcée à nouveau (fig. 6). Il a donc fallu environ quatre à cinq jours à l'eau de fonte pour alimenter le plan d'eau, ce qui correspond à peu près aux ordres de grandeur fournis précédemment sur le temps de réponse entre alimentation et remontée du niveau piézométrique.

Ces observations, en période de gel, sont intéressantes mais insuffisantes pour estimer l'influence du gel sur le déclenchement de l'instabilité comme en janvier 1982, par exemple. En effet, l'observation concerne les niveaux de nappe libre. Il aurait fallu implanter des cellules de mesures de la pression interstitielle au voisinage de la surface de rupture, ce qui n'a pas été possible pour des raisons budgétaires.

4 — RELATIONS ENTRE LES DÉPLACEMENTS ET LA PIÉZOMÉTRIE: VARIABILITÉ SAISONNIÈRE

Comme cela est mis en évidence dans la plupart des glissements, les déplacements varient au cours des saisons, et leur amplitude est en relation étroite avec les conditions climatiques: fortes chutes de pluies, fonte des neiges,... Cette variabilité est visible sur les graphiques des embases de nivellement ou

sur les courbes de déplacements cumulés mais elle apparaît particulièrement sur les courbes de vitesses moyennes (fig. 9). Ces dernières ont été obtenues à partir des valeurs successives du déplacement mesuré entre deux levés topographiques consécutifs et en supposant une vitesse constante entre l'intervalle de mesure, ce qui est inexact puisque les déplacements s'effectuent par des accélérations brusques d'amplitudes inégales, suivies de périodes de calme. Seul un dispositif de mesure en continu (fil invar, pendule inverse,...) aurait permis de restituer la forme exacte des mouvements et du moment de leur initialisation. Malgré ce lissage et comme sur le site de Sallè-

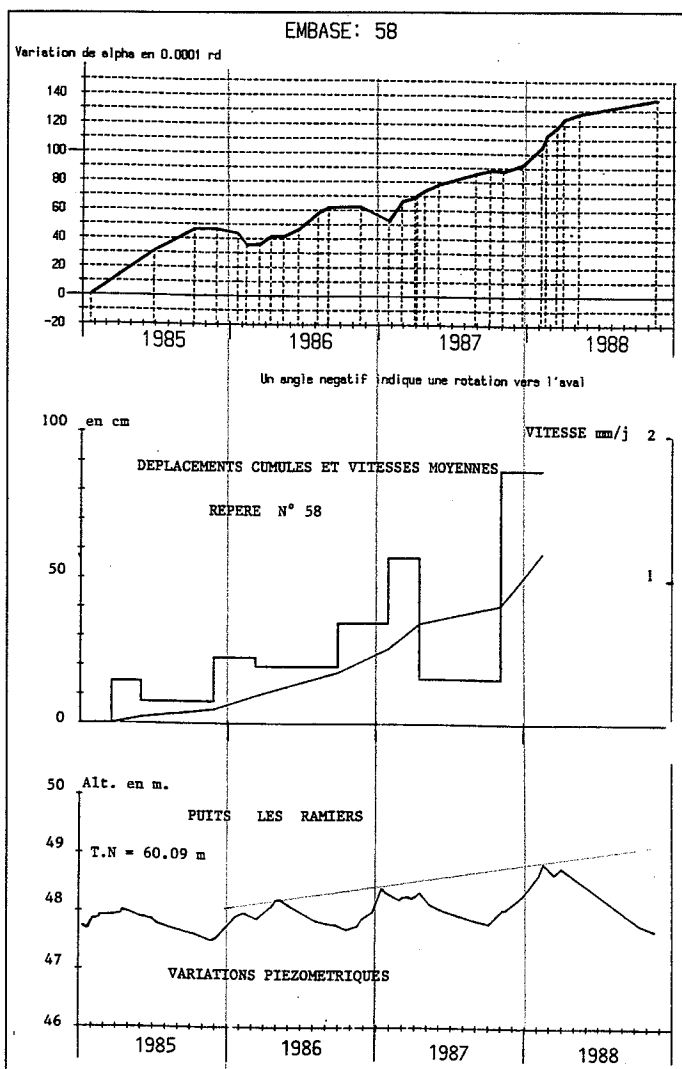


fig. 9 — Variabilité saisonnière des déplacements du repère n° 58 et variations des niveaux piézométriques. *Seasonal variability of movements of reference 58 and variations in piezometric levels.*

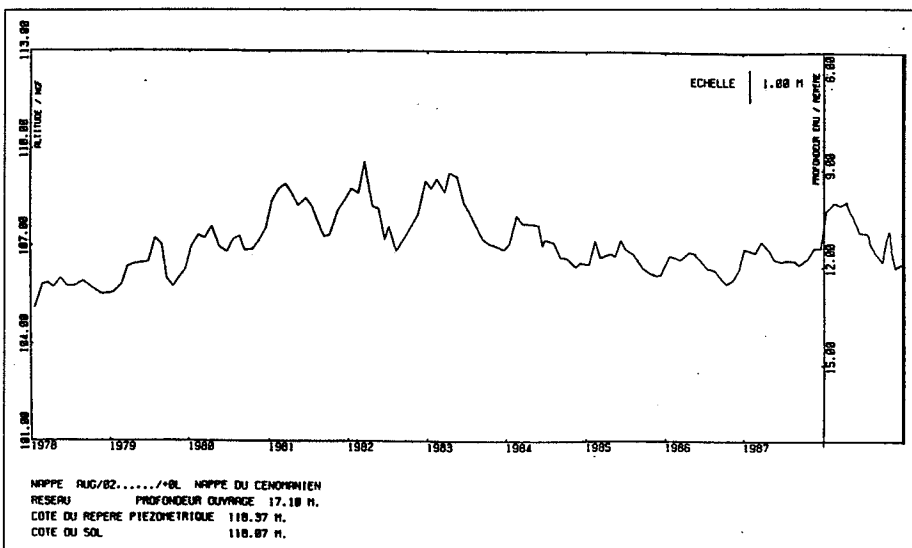


fig. 8 — Variations piézométriques entre 1978 et 1988 à Danestal (Pays d'Auge). *Piezometric variations between 1978 and 1988 at Danestal (Pays d'Auge).*



Zone en affaissement sur le CD 513 avec signal d'alerte (feu tricolore), (photo O. Maquaire).

Subsidence area on road CD 513 with alarm signal (three-colour light).

des par exemple, un comportement similaire de l'ensemble des repères du versant est observé avec des vitesses fortes en période hivernale, et hauts niveaux piézométriques: 1,50 m de la cote du terrain naturel sur le camping des Graves au «piézo moyen» et 9 m ou 11 m du terrain naturel dans la zone proche du CD 513 dans le puits «Les Houx» et dans celui des «Ramiers». En période estivale, les vitesses diminuent fortement, mais elles ne sont pas nulles lorsque le drainage de la nappe s'amorce.

La quasi-totalité des repères à des vitesses moyennes qui croissent d'une année sur l'autre. Les pics hivernaux sont de plus en plus élevés et cette évolution se retrouve dans les vitesses enregistrées en période estivale. Depuis le début 1985, la tendance des déplacements a été une accélération qui se traduit sur les courbes de déplacements cumulés, par une courbe, plus ou moins pentue, à l'allure générale de type exponentielle.

La croissance régulière des déplacements et les valeurs de plus en plus élevées des vitesses d'une année sur l'autre sont à mettre en relation avec l'élévation pluriannuelle des niveaux piézométriques.

La détermination d'un niveau critique de nappe ou d'une quantité de pluie efficace correspondant à l'initialisation ou à l'accélération dangereuse et brutale des déplacements est délicate; la difficulté majeure vient du fait que les déplacements ne sont pas mesurés en continu. Les tentatives de mettre en relation la pluviométrie cumulée et les déplacements [Meneroud J.P., 1983; Canuti P. et al., 1985], ou entre les déplacements cumulés et la pluie efficace cumulée pour tenir compte de l'histoire pluviométrique comme cela a été tenté sur le site de Champ-la-Croix [Matichard Y. et Pouget P., 1988], n'ont pas donné les résultats escomptés compte tenu de l'imprécision dans l'initialisation et l'accélération des déplacements. A partir des relevés à la nivelle et des mesures faites sur les fissures, les accélérations brutales des mouvements se produisent, en règle générale, pendant les trois mois d'hiver, décembre, janvier et février.

5 — SYSTÈME D'ALERTE ET PRÉVISION TEMPORELLE

L'examen des vitesses de déplacements et de la forme des courbes de déplacements cumulés peut être à la base d'un système d'alarme, sous réserve que tous les témoins ou la plus grande partie d'entre eux réagissent de la même façon [Flagollet J.C., 1989]. Ainsi, à partir d'observations précises sur

le battement des nappes et sur les déplacements, il est possible de prévoir une «alerte» quelques jours à l'avance, sans certitude toutefois sur l'ampleur du mouvement.

Par exemple, à Cricqueboeuf en 1988, l'accélération des déplacements a été enregistrée, en relation étroite avec une forte élévation au niveau de la nappe; cette situation était typique d'un «état d'alerte» mais sans que l'on puisse prédire exactement le jour et l'heure, l'ampleur et la vitesse du mouvement.

La prévision du comportement futur d'un versant est délicate à déterminer, les mécanismes restant en général mal connus et difficiles à appréhender mathématiquement. La plupart des auteurs insistent sur les incertitudes qui subsistent dans ce domaine. En général, dans tous les phénomènes de mouvements de terrain, pour des sols meubles ou pour des roches, les déplacements se font avec des vitesses variables dans le temps en fonction de l'évolution des sollicitations mais aussi des caractéristiques mécaniques des matériaux. La connaissance des facteurs conduisant à l'instabilité est donc indispensable à la prévision des désordres, mais il est surtout indispensable de déceler quelle est la tendance des déplacements à long terme en l'absence de sollicitations extérieures.

L'examen des courbes des déplacements cumulés en fonction du temps et des vitesses moyennes a montré une tendance à l'élévation pluriannuelle de ces déplacements. Dans ce cas précis, il est donc important d'estimer la valeur des déplacements à court ou à moyen terme. Cette prévision peut se faire en extrapolant les résultats des mesures des déplacements, à l'aide de lois, soit paraboliques, soit exponentielles, soit hyperboliques. Cette prévision du comportement futur d'un versant se résume donc à la recherche d'une valeur finie t (temps) pour laquelle les déplacements ou les vitesses tendent vers l'infini [Azimi C. et al., 1988; Vibert Ch. et al., 1988].

L'allure régulièrement croissante de la quasi-totalité des courbes de déplacement par rapport au temps a conduit à les ajuster à une loi de type exponentiel $Y = A \cdot \text{Exp} Bx$. A la suite du levé topométrique de novembre 1987, les premiers ajustements ont été entrepris pour déterminer les déplacements prévisibles durant les mois d'hiver 1987-1988. Les mesures des déplacements du 24 février 1988 ont confirmé pour la plupart des repères, les prédictions envisagées (fig. 10). Mais dans certains cas, l'ajustement fournissait des valeurs inférieures de 3 cm par rapport à celles réellement enregistrées.

L'une des nombreuses villas détruites à la suite du glissement du 11-12 janvier 1982. A

l'arrière-plan, l'escarpement de la couronne du glissement (photo O. Maquaire).

One of the many houses destroyed following the landslide of

11-12 January 1982. In background, the scarp of the slide circle.



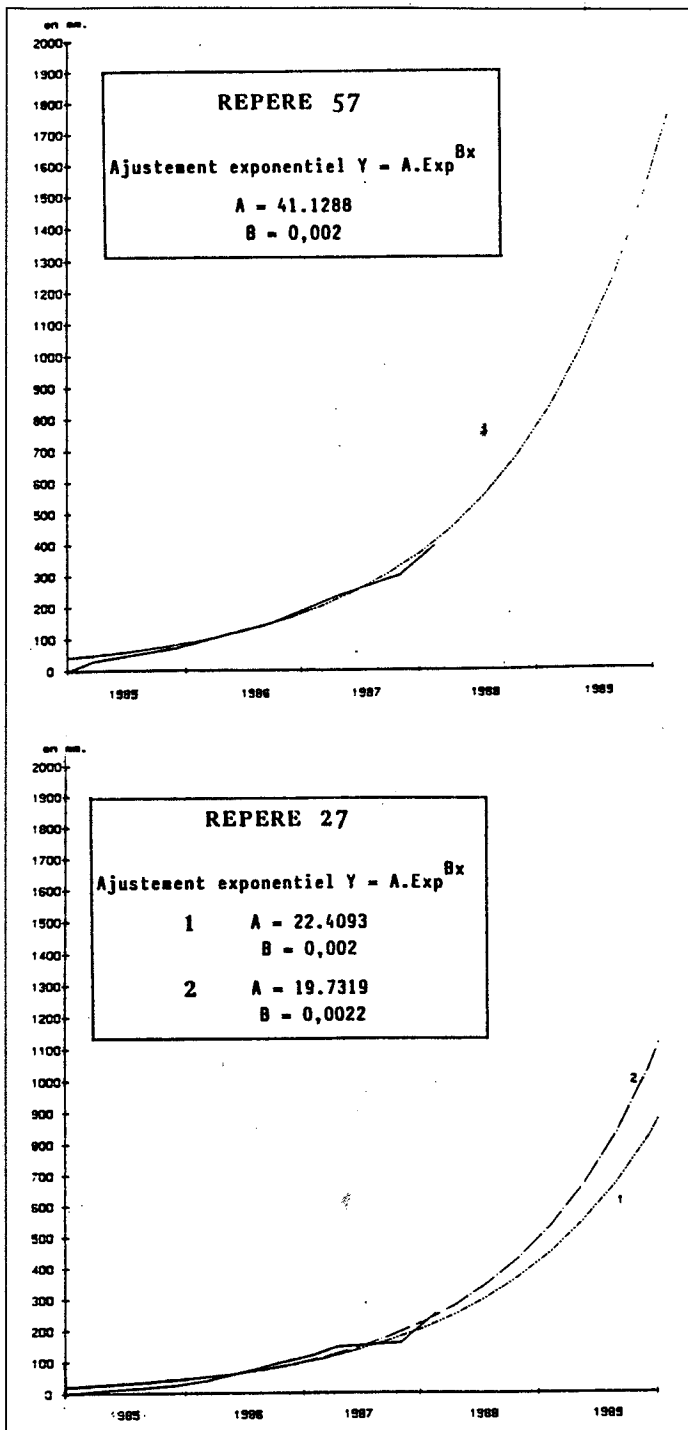


fig. 10 —
Ajustement
d'une courbe
exponentielle
sur la courbe
de déplacement
cumulé du
repère n° 57
et n° 27.

*Adjustment of
an exponential
curve on the
cumulative
displacement
curve of
reference 57
and 27.*

L'escarpement
de la couronne
à Cricqueboeuf
réactivé à la
suite du
glissement du
12-13 février
1988 (photo
O. Maquaire).

*The scarp of
the circle at
Cricqueboeuf
reactivated
following the
slide of
12-13 February
1988.*

De telles différences soulignent bien la difficulté de la prévision du comportement d'une masse instable soumise à des sollicitations temporaires telles que les élévations saisonnières du niveau de la nappe. Les ajustements doivent donc être recalculés, après chaque levé, pour tenir compte de l'évolution réelle des déplacements et affiner la prévision. L'extrapolation réalisée à la suite du levé de février 1988 sur le repère 27 (fig. 10) fournit ainsi une courbe prévisionnelle plus pessimiste avec des déplacements prévisibles plus importants.

La prévision des déplacements à long terme sur plusieurs années, est délicate. Les incertitudes qui subsistent sont importantes et la justesse des prévisions à court terme pour l'hiver 1987-1988 doit être néanmoins discutée. En effet, l'augmentation régulière des vitesses de déplacements en période hivernale ou estivale est à mettre en relation avec une élévation pluriannuelle des nappes. Ces dernières contribuent à maintenir ou à provoquer les désordres. Il faudrait donc pouvoir, par des enregistrements plus réguliers au cours de l'année — enregistrement en continu par exemple — séparer la part liée au mouvement continu et celle liée aux fluctuations périodiques.

Le modèle prévisionnel est donc directement dépendant des fluctuations piézométriques en relation avec l'évolution climatique et la succession des événements pluviométriques.

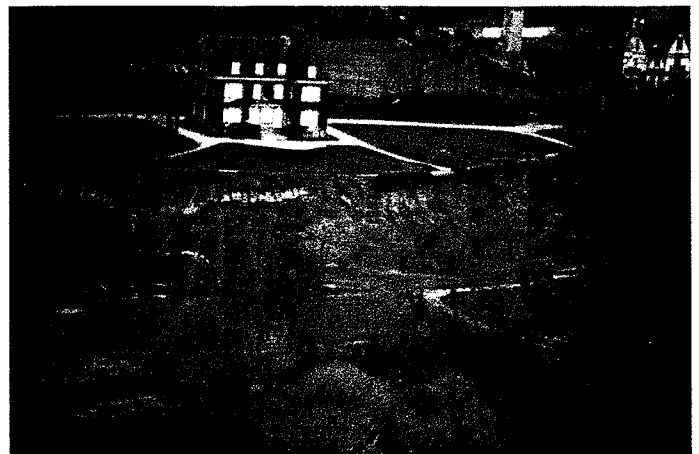
Depuis la fin de l'hiver 1988, les déficits d'alimentation pluviométrique ont conduit à un ralentissement des déplacements. Il faudra donc pouvoir à nouveau mesurer les déplacements réels pour permettre leur mise en relation avec les enregistrements piézométriques et pluviométriques.

L'incertitude qui demeure souligne donc bien la nécessité de disposer de mesures, de préférence en continu, sur une durée très longue, pour pouvoir faire une prévision fiable.

6 — MODÉLISATION : CALCULS DE STABILITÉ

Les modélisations, réalisées à partir de profils topographiques, des caractéristiques géomécaniques des matériaux, de la forme et de la position des surfaces de rupture indiquées par les données inclinométriques, fournissent un bilan chiffré du rôle respectif des différents facteurs d'instabilité.

Des calculs de stabilité ont été réalisés par des méthodes globales déterministes (méthode des perturbations du LCPC) et par des méthodes probabilistes (variations aléatoires des caractéristiques mécaniques). Selon plusieurs hypothèses de travail (fig. 11), on montre qu'un abaissement ou qu'un relèvement de la hauteur de la nappe de un mètre dans le versant modifie la valeur du coefficient de sécurité global pour environ 5 à 6%. Un recul de 10 m du pied de versant intervient pour seulement 1 à 2%. Pour mémoire, le recul moyen déterminé par comparaison de plans cadastraux en face du cirque des Graves est de l'ordre de 60 à 70 m entre 1829 et 1987, soit un recul



moyen annuel de 40 cm [Maquaire O., 1990]. Outre la faiblesse des caractéristiques mécaniques (cohésion nulle et angle de frottement interne moyen de 13°), le rôle déterminant de l'eau comme facteur déclenchant est démontré une nouvelle fois. Si l'incidence d'une suppression de butée semble faible sur le coefficient de sécurité global, son rôle est néanmoins indispensable dans l'entretien de l'instabilité, puisque la probabilité d'amorce de glissement en pied de versant est sensiblement élevée.

7 – CONCLUSION

Le versant n'est stabilisé ni à Cricqueboeuf, ni à Villerville et d'une manière plus générale, les mouvements se poursuivent en plusieurs points jusqu'à Trouville. Dans l'état actuel des choses et sans aménagements, les désordres se poursuivront et le risque d'extension régressive et latérale des zones en mouvement, est à craindre dans un avenir plus ou moins lointain. Il pourra entraîner de graves dégâts à la route et aux maisons situées à l'amont de celle-ci.

La confrontation, des résultats fournis par la topométrie, par l'inclinométrie et par les calculs de stabilité probabilistes, pour l'activité observée durant quatre années, a conduit à choisir une enveloppe de rupture plane pour un glissement mobilisant les formations quaternaires sur les marnes de l'ancien versant fossilisé et une partie des marnes sous-jacentes, principalement dans la partie aval de la zone en mouvement. L'enveloppe maximale d'allure curviligne, limite un glissement profond qui se manifeste en de grandes occasions comme en janvier 1982 avec la création d'un bourrelet en pied de versant.

Pour la prévention, les dispositifs de confortement devront reposer prioritairement sur des moyens de drainage qui pourront être mis en œuvre à divers niveaux. Les techniques de drainage devront être associées à d'autres travaux telle la mise en place d'une protection contre l'érosion du pied de falaise. Il faudra favoriser l'écoulement de surface et réduire l'infiltration en réaménagement, bien que cela ne soit pas facile, les systèmes de drainage naturels ou artificiels, qui sont endommagés et inopérants. Un captage de toutes les zones sourceuses et une évacuation jusqu'à la mer de l'ensemble des eaux récoltées devrait être entreprise; ensuite, il sera nécessaire de rabattre de plusieurs mètres la nappe par les systèmes de drainage situés à l'amont du CD 513 tels que des puits avec drains rayonnants ou bien tranchée drainante tout au long du front de glissement.

Mais si des schémas classiques d'aménagement peuvent être proposés, le dimensionnement, le nombre et la localisation des ouvrages devront faire l'objet d'études complémentaires et particulières de la part de géotechniciens: essais de pompage pour estimer les débits, sondages de reconnaissance, calculs pour juger de l'efficacité des moyens envisagés,...

Un système d'alerte simple pourra s'appuyer sur une partie du réseau actuel de surveillance, avec des mesures topométriques en quelques points représentatifs et un suivi en continu du niveau de la nappe dans un ou deux puits pour déceler les élévations rapides de celles-ci dans le sol en période hivernale. Le niveau maximal enregistré en février 1988 peut, d'ores et déjà, constituer un seuil d'alerte « rouge ». Mais, une imprécision concernant les relations entre piézométrie et déplacements demeure, et les connaissances acquises sur le site ne permettent pas encore tout à fait d'établir finement les relations climatologie-déplacement. Pour arriver à un tel résultat, à l'exemple des études menées en d'autres régions, il faudrait pouvoir installer, pendant plusieurs années, un système permanent de mesure des déplacements sur la surface de glissement et du niveau phréatique contenue dans la masse en mouvement, l'exploitation pouvant servir au dimensionnement des systèmes de confortement.

En augmentant le nombre des observations, le suivi du déplacement en surface de quelques points du réseau permettrait de réajuster les courbes de déplacements prévisionnelles qui ont été faites sur de courtes périodes d'observation.

BIBLIOGRAPHIE

- Azimi C., Biarez J., Desvarreux P., Keime F. (1988). *Prévision d'éboulement en terrain gypseux*. C.R. V^e Symposium International sur les glissements de terrain, Lausanne, 10-15 juillet, Vol. 1, p. 531-563.
- Canuti P., Focardi P., Garzonio C.A. (1985). *Correlation between rainfall and landslides*. Bull. Assoc. Int. de Géol. de l'Ing., 32, p. 49-54.
- Cartier G., Pouget P. (1987). *Corrélation entre la pluviométrie et les déplacements de pentes instables*. 9^e Congrès Européen de Mécanique des sols et des Travaux de Fondations. Dublin.
- Delmas Ph., Cartier G., Pouget P. (1987). *Méthodes d'analyse des risques liés aux glissements de terrain*. Bull. Liaison Labo. P. et Ch. 150/151, octobre, p. 29-38.
- DUTI (1985). *Projet d'école. Détection et utilisation des terrains instables*. Rapport final, Rapport général. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, juin, 229 p. + Annexes 36 p.
- Flageollet J.C., Helluin E. (1984). *Formations quaternaires et zonage des risques de glissements de terrain à Villerville et à Cricqueboeuf (Calvados)*. « Mouvements de terrain ». Colloque de Caen, mars. Documents du BRGM, n° 83, p. 29-40.
- Flageollet J.C., Helluin E. (1987). *Morphological investigations of the slidings areas along the coast of Pays d'Auge, near Villerville, Normandy, France*. International Geomorphology, 1986, Part I, Edited by V. Gardiner, John Wiley and Sons Ltd, p. 447-486.

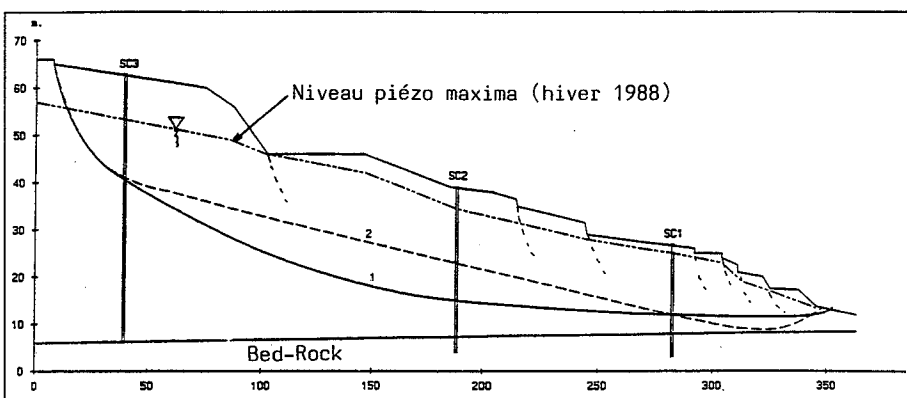


fig. 11 –
Calculs de
stabilité:
surfaces de
rupture testées.
Stability
calculations:
test failure
areas.

Flageollet J.C. (1989). *Les mouvements de terrain et leur prévention*. Collection géographe, Masson Ed., 224 p.

Follaci J.P. (1984). *Surveillance des déplacements du versant de la Clapière à Saint-Etienne-de-Tinée*. Journées d'études « Auscultation des ouvrages en terre et des terrains ». 11 et 12 décembre, ENPC, Paris, 9 p.

Giraudin P. (1984). *Contrôle de stabilité de la route de Fréjus à flanc d'un versant instable*. Journées d'études « Auscultations des ouvrages en terre et des terrains », 11 et 12 décembre, ENPC, 5 p.

Maquaire O. (1988). *Les mouvements de terrain de l'hiver 1987-1988 sur le versant littoral de Villerville-Cricqueboeuf*. In « Risques naturels et analyses pour une prévision. L'hiver 1987-1988 en Basse-Normandie ». Note du CREGEPE, Université de Caen, n° 1, juin, p. 17-19.

Maquaire O. (1990). *Recherches sur les mouvements de terrain de la côte du Calvados en vue de leur prévention (Bessin et Pays d'Auge)*. Thèse de doctorat de l'Université des sciences et techniques de Strasbourg, option: géomorphologie appliquée, 431 p.

Matichard Y., Pouget P. (1988). *Pluviométrie et comportement de versants instables*. CR V^e Symposium International sur les

glissements de terrain, Lausanne, 10-15 juillet, Vol. 1, p. 725-730.

Meneroud J.P. (1983). *Relations entre la pluviosité et le déclenchement des mouvements de terrain*. Bull. Liaison Labo. P. et Ch. 124, mars-avril, réf. 2772.

Miserez A. (1985). *Les travaux de mensuration en terrain instable. Projet d'école. Détection et utilisation des terrains instables*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, mai, 27 p.

Pincent B. (1977). *Surveillance des glissements de terrain*. Revue française de Géotechnique, n° 1, p. 92-104.

Pouget P., Cartier G., Pilot G. (1984). *Comportement de remblais construits sur un versant instable à Sallèles*. Journées d'études « Auscultation des ouvrages en terre et des terrains », 11 et 12 décembre, ENPC, 5 p.

Vibert Ch. (1987). *Apport de l'auscultation de versants instables à l'analyse de leur comportement. Les glissements de Laxle-Roustit et Saint-Etienne-de-Tinée*. Thèse Ecole des Mines de Paris, 206 p.

Vibert Ch., Arnoult M., Cojean R., Lecleac'h J.M. (1988). *Essai de prévision de rupture d'un versant montagneux à Saint-Etienne-de-Tinée, France, CR V^e Symposium International sur les glissements de terrain, Lausanne, 10-15 juillet, Vol. 1, p. 789-792.*

RÉSUMÉ FRANÇAIS

Les glissements de terrain de Villerville-Cricqueboeuf (Calvados). Prévision des risques

O. Maquaire

La prévision des risques liés aux mouvements de terrain nécessite la mise en place de surveillance pour permettre d'appréhender le poids respectif des différents facteurs d'instabilité dans la création ou le maintien de l'activité. Un suivi réalisé sur environ quatre années sur le glissement de Villerville-Cricqueboeuf (Calvados) a permis de mettre en relation la pluviométrie, la piézométrie et les déplacements et de montrer le rôle majeur de l'eau dans l'instabilité des pentes. Il souligne également le besoin de disposer de séries de mesures suffisamment longues et de préférence en continu pour permettre une prévision temporelle fiable et une définition précise des moyens de confortement.

ENGLISH SUMMARY

The landslides of Villerville-Cricqueboeuf (Calvados region of France). Risk prediction

O. Maquaire

The prediction of risks associated with land movements calls for the setup of monitoring

networks for determining the respective roles of the different factors involved in the creation or maintenance of the instability. Monitoring carried out over a period of about 4 years on the Villerville-Cricqueboeuf landslide site in the Calvados region has allowed the establishment of a relation between rainfall, piezometry and movements, and to show the major part played by water in slope instability. Also shown is the need for measurement series sufficient long and preferably continuous to enable reliable prediction and accurate definition of strengthening techniques.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Die Erdbeben bei Villerville-Cricqueboeuf, (Bezirk Calvados). Die Voraussetzung der Risiken

O. Maquaire

Die Voraussetzung der mit den Erdbewegungen in Verbindung stehenden Risiken erfordert den Einsatz von Ueberwachungsnetzen um das respektive Gewicht der verschiedenen Unstabilitätsfaktoren beim Entstehen oder bei der Beständigkeit der Erdtätigkeit erfassen zu können. Eine ständige Ueberwachung, während vier Jahren, der Erdbeben bei Villerville-Cricqueboeuf erlaubte die Einbeziehung

der Niederschlagsmessung, der Piezometrie und der Erdverschiebungen sowie der Hauptrolle des Wassers bei der Unstabilität der Hänge hervorzuheben. Der Verfasser betont auch die Notwendigkeit genügend lange und fortlaufende Messreihen aufzeichnen zu können um eine zeitliche und zuverlässige Voraussetzung zu erlauben und die genauen Verfestigungsmassnahmen zu definieren.

RESUMEN ESPAÑOL

Corrimientos de tierra de Villerville-Cricqueboeuf (Calvados). Previsión de riesgos

O. Maquaire

La previsión de los riesgos relacionados con los desplazamientos de tierra requiere la organización de una red de vigilancia para evaluar la importancia que revisten los diversos factores de inestabilidad con respecto a la creación o al mantenimiento de la actividad. Un estudio realizado en un período de unos cuatro años en el corrimiento de Villerville-Cricqueboeuf (Departamento de Calvados) permitió establecer una relación entre la pluviometría, la piezometría y los desplazamientos, y mostrar la gran importancia del agua en relación con la inestabilidad de las pendientes.

tes. Este estudio pone también de relieve la necesidad de disponer de series de medidas suficientemente largas y preferentemente en continuo para realizar una previsión temporal fiable y para definir con precisión los medios de consolidación.

RESUMO EM PORTUGUES

Os deslizamentos de terreno de Villerville-Cricqueboeuf (Calvados). Previsão dos riscos

O. Maquaire

A previsão dos riscos ligados aos movimentos de terreno torna necessária a instalação de uma rede de vigilância para possibilitar a captação do peso respectivo dos diferentes fatores de instabilidade na criação ou na conservação da atividade. Um acompanhamento realizado durante cerca de quatro anos sobre o deslizamento de Villerville-Cricqueboeuf (Calvados), possibilitou colocar em relação a pluviometria, a piezometria e as deslocacoes, mostrando a importancia da agua na instabilidade das encostas. Ele sublinha, também, a necessidade de dispor-se de uma série de medidas, suficientemente longas e de preferência contínuas, que possibilitem uma previsão temporal fidedigna e uma definição precisa dos meios de consolidação.