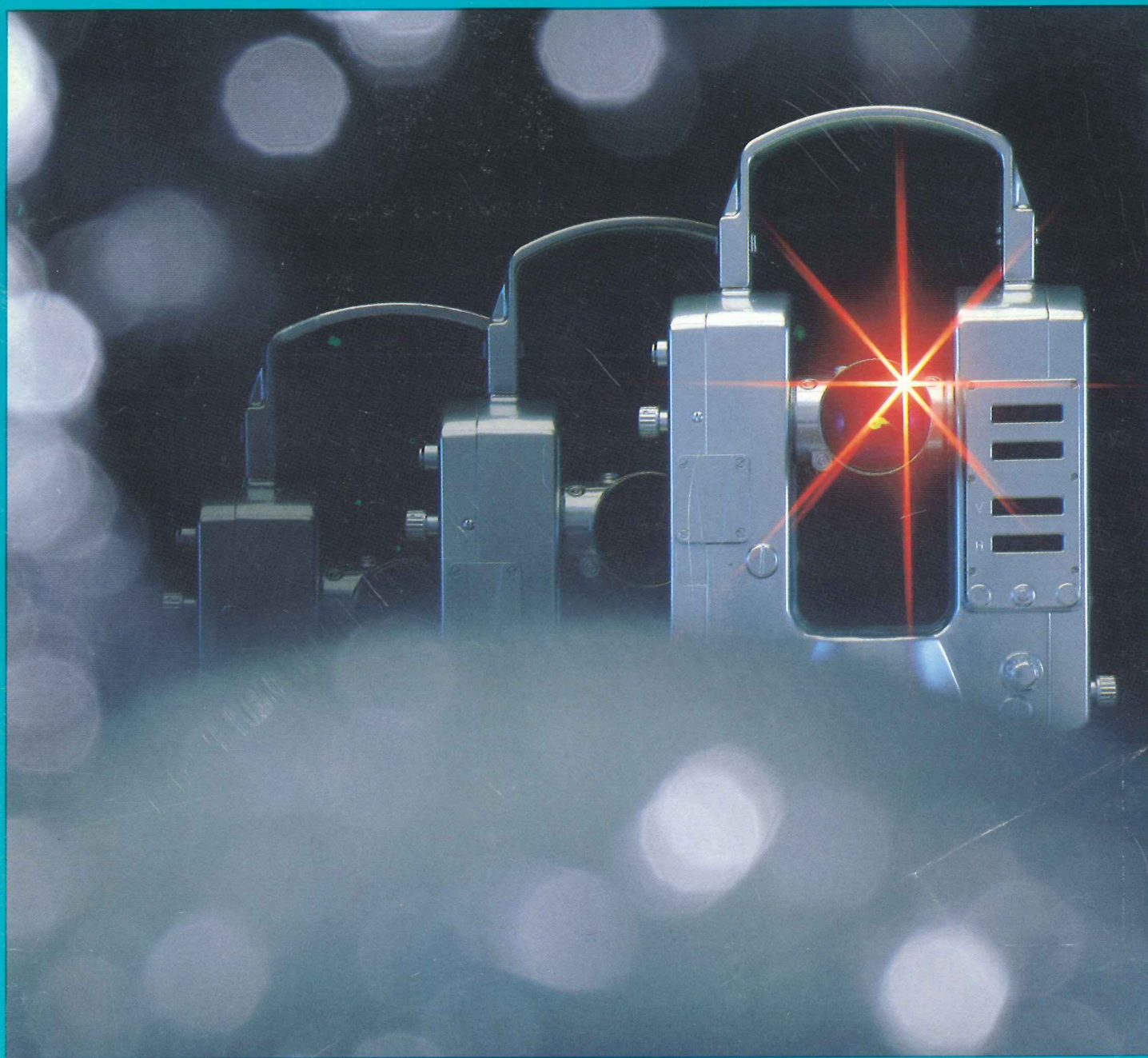


xyz

*Revue
de l'Association
Française
de Topographie*



**LA TOPOGRAPHIE DANS LA PREVENTION DES RISQUES NATURELS
ET TECHNOLOGIES MAJEURS**

13^e colloque de L'AFT 25-26 AVRIL 1986 — GRENOBLE

N° 28 SEPTEMBRE 1986
8^e ANNEE
ISSN 0290-8057

**Entretien
avec Haroun Tazieff**
Voir pages 2 et 3

COUVERTURE

Ne vous y trompez pas ! Le genre futuriste choisi par notre photographie pour le théodolite Kern E2 n'est pas destiné à un ouvrage de science-fiction.

En effet, le théodolite électronique Kern E2 a déjà fait ses preuves sur le terrain. Mais l'on peut malgré tout le traiter d'avant gardiste : par exemple, avec son système de calage à deux vis, ou son système de compensation de l'influence de l'erreur de calage sur les angles verticaux et les directions horizontales, ou comme unité centrale du système modulaire Kern.

Foto : Kern et Co. AG. Aarau.

Editorial

A nos lecteurs

Nous avons décalé la date de parution de ce numéro d'XYZ pour publier l'entretien avec M. Haroun Tazieff.

Les prochaines dates de parution d'XYZ sont les suivantes :
N° 29 Décembre 1986. Thème : Satellite aujourd'hui et demain (Rencontre de Cachan) AFT.
N° 30 Mars 1987. Thème : 1^{er} résultat de Spot 1 (colloque de Toulouse).
N° 31 Juin 1987. Thème : Historique des instruments et livres anciens.
N° 32 Septembre 1987. Thème : Forum International de l'instrumentation et de l'information géographique (FIG Lyon).

Les articles de M. Paul et M. Riou paraîtront dans le n° 29 d'XYZ.

A. B.

TRIMESTRIEL

Le numéro : 95 F
L'abonnement d'un an
(4 numéros) : 370 F

Secrétariat de l'AFT
et Rédaction XYZ
39 ter, rue Gay-Lussac
75005 PARIS
Tél. : (1) 43.54.19.21 pte 333
Ouverts les mardi et vendredi
de 10 h à 12 h

Comité de lecture

PRESIDENT

Robert VINCENT
Ingénieur E.C.P.
Président de l'A.F.T.

RAPPORTEUR

André BAILLY
Ingénieur ETP

MEMBRES

Jean COMBE
Ingénieur ESGT
Guy DUCHER
Ingénieur Général Géographe
Jean-Jacques LEVALLOIS
Ingénieur Général Géographe
Jean PUYCOUYOUL
Ingénieur E.P.
Roger SCHAFFNER
Géomètre DPLG
Bernard SCHRUMPF
Ingénieur en Chef
de l'Armement

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

André BAILLY

IMPRIMERIE MODERNE

U.S.H.A.
AURILLAC 15001
Tél. : 71.63.44.60

L'Association Française de Topographie n'est pas responsable des opinions émises dans les conférences qu'elle organise ou dans les articles qu'elle publie.

Tous droits de reproduction ou d'adaptation sont strictement réservés.

sommaire

Colloque de Grenoble

- Entretien exclusif avec M. Haroun TAZIEFF 2
- Détection des risques naturels par l'examen stéréoscopique des photographies aériennes, par Raymond d'HOLLANDER 4
- Etude et prévision des mouvements de terrains, par Chahrokh AZIMI et Pierre DESVARREUX 8
- Surveillance des déformations sur les volcans français, par P.-A. BLUM 15
- Mesures topographiques pour le contrôle des mouvements de terrains en Italie, par Roberto CHIABRANDO 19
- Les risques d'avalanches, par Claude CHARLIER 25
- Prévention des risques technologiques, l'auscultation, par Jean COMBE et Gérard CHAZALET 28
- Surveillance des déplacements du versant de la Clapière à Saint-Etienne-de-Tinée (Alpes-Maritimes), par Paul OLLIE, André BLANC et Jean-Paul FOLLACCI 43
- Surveillance des zones de glissements et de modifications techniques. Le système tachéométrique Georobot à visée automatique, par Heribert KAHMEN, H.-R. SCHWENDENER, traduit par P. MIGNAVAL 45
- Mesures de déformations dans la zone des Afars, par M. KASSER 49
- Préventions des risques naturels par télédétection, par Daniel BELLAN 53
- Séisme et glissements de terrain au volcan Ontake (Japon), par Pierre DUFFAUT 59
- IRAM - Observatoire radio-millimétrique du plateau de Bure. Visite du 4 juillet 1986 par des membres de l'AFT 61
- Le Géodimètre 140 AGA : étude et utilisation pratique, par Pierre GRUSSENMEYER 63
- Wild et les Géomètres : tous dans le même bateau 64
- Mt-Blanc réévalué — C. BOUCHER - P. WILLIS III CV

Un entretien exclusif avec M. Haroun Tazieff

Il est bien connu qu'un colloque se déroule souvent au pas de charge pour les organisateurs qui doivent faire face, en dépit de toutes les précautions prises, à des difficultés de dernière heure. Les maîtriser afin d'alléger la tâche de chaque conférencier et d'assurer le confort des participants et des exposants, est bien leur principal souci.

A Grenoble, nous avons eu la chance de compter sur la présence effective de l'insaisissable explorateur pour toute la durée du colloque. Aussi tenons-nous à le remercier ici, d'avoir prêté une attention soutenue aux brillants et jamais ennuyeux exposés et illustrations sur des phénomènes qui l'intéressent toujours au plus haut point.

Nous laissons la primeur de son allocution d'ouverture et de ses interventions, en ne les publiant pas, aux seuls participants présents qui l'ont écouté attentivement et chaleureusement approuvé.

En revanche, il nous est particulièrement agréable de vous livrer ci-après l'opinion et les réponses de M. Tazieff aux questions qui nous tenaient le plus à cœur.

R. SCHAFFNER



M. Haroun Tazieff et M. Victor Davidovici* deux inséparables.

* Président de l'Association Française du Génie Parasismique.

XYZ — Pensez-vous que, pour l'emploi de la topographie dans les mesures de déformation d'ouvrages ou de mouvements de terrain par exemple, des règles doivent être imposées ; au besoin par la loi ?

H.T. — Certes, l'emploi de la topographie dans le suivi de la déformation des ouvrages, ou de leur vie, est une technique fondamentale de la prévention du risque. Dans quelques cas spécifiques des règles existent. Ce serait cependant une très bonne initiative de la part de votre association d'établir, en cette matière, une réglementation exhaustive.

XYZ — Cette réglementation devra-t-elle prévoir la vérification par un organisme indépendant, des contrôles effectués par celui qui crée le risque ?

H.T. — Je pense que l'application des règles, ainsi que la vérification des installations à risque, devraient s'effectuer dans l'esprit des procédures d'assurance de la qualité ; une approche assez récente existe en matière de génie civil.

XYZ — Les résultats de ces différents contrôles devraient-ils être communiqués à certains organismes ? Ou mieux, être portés à la connaissance du public ?

H.T. — Le respect rigoureux de la vérité a toujours été ma ligne de conduite. Dans la société d'aujourd'hui, une transparence maximale est plus que souhaitable.

XYZ — Certains résultats ne devraient-ils pas conduire à des interdictions formelles ?

H.T. — Certes oui, encore faudrait-il avoir la certitude de la validité des résultats. Des vérifications contradictoires sont parfois nécessaires avant d'en arriver à une interdiction formelle.

XYZ — *Le rôle de la topographie dans la localisation des risques technologiques — Transport et stockage des fluides, contrôles des fuites des produits toxiques.*

H.T. — La fuite des produits toxiques peut intervenir à la déformation des ouvrages provoquée aussi bien par des phénomènes naturels que par l'intervention de l'homme.

La topographie peut jouer un rôle important dans la localisation précise des conduites et mettre en évidence les zones instables qui pourraient entraîner la rupture de ces conduites.

XYZ — *La représentation cartographique des plans d'exposition aux risques (PER) doit être complète :*

— *Localisation des phénomènes physiques - avalanches, glissements de terrains, inondations, états des carrières souterraines, oscillations du niveau des nappes liquides, etc...*

H.T. — En principe, les plans d'exposition aux risques comportent tous ces renseignements qui pourront être utilisés : en génie civil pour l'aménagement du territoire, la prévention des catastrophes, par les organismes d'assurance et par dessus tout pour l'information du public ; la transparence !!!

XYZ — *Que pensez-vous des précautions nécessaires à la prévention des désordres géotechniques et hydrauliques (Banques de données, simulations...) ?*

H.T. — Quelle que soit l'origine du désordre, nous ferions un grand pas en avant dans la prévention du risque, si toutes les données disponibles étaient concentrées dans une "banque". Notre savoir se trouverait ainsi

enrichi ; c'est le principe même de la "spirale" de la qualité.

XYZ — *Au point de vue risques sismologiques, que pensez-vous des exigences topographiques dans la construction parasismique ?*

H.T. — Il y a lieu d'insister sur l'intérêt de disposer d'un "état zéro" pour les ouvrages importants ; l'auscultation préalable pourra compléter utilement cette image.

Bien entendu, ce sont les auscultations périodiques qui permettent de suivre la vie de l'ouvrage.

XYZ — *Quelle est la principale conclusion que vous tirez de ce Colloque ?*

H.T. — Je suis moi-même un homme de terrain et mes rencontres avec les participants à ce Colloque ont été de ce fait très intéressantes ; nous nous sommes en effet vite compris.

Les hommes de terrain sont les premiers à subir, ou à ressentir, les conséquences éventuelles d'une prévention insuffisante. Ce sont eux, donc vous et nous, les mieux placés pour participer très en amont à l'établissement et la mise en application des règles de la prévention dans le sens le plus large du terme.

XYZ — *Pour aboutir à une concentration des connaissances et des moyens, une collaboration entre organismes professionnels et scientifiques est-elle souhaitable ?*

H.T. — Nous assistons actuellement en France, et dans le monde, à une éclosion de multiples organisations scientifiques et professionnelles concernées par les risques technologiques et naturels.

Je ne puis que me réjouir de cette situation et je souhaite ardemment qu'une collaboration étroite et efficace s'instaure entre toutes et leur permette d'essayer d'éviter dans toute la mesure du possible "l'inévitable".

Propos recueillis par MM. Bailly, Schaffner, Vincent.

M. Haroun Tazieff est actuellement âgé de plus de 72 ans. Ingénieur agronome et géologue de formation ; à partir de 1937 il a exercé successivement les fonctions suivantes :

Assistant d'université en Belgique, Ingénieur aux mines et Géologues du Congo Belge, Expert de l'UNESCO.

- Chargé de cours dans différentes Facultés de France et de Belgique ;
- Maître de recherches, puis Directeur de Laboratoire au CNRS ;
- Commissaire aux Risques Naturels Majeurs, Délégué aux Risques Majeurs ;

— Secrétaire d'Etat aux Risques Naturels et Technologiques Majeurs.

Actuellement Chargé de Mission par le Ministre de l'Environnement.

M. Tazieff est auteur et co-auteur de plus de 108 publications, dont 84 de vulcanologie, et producteur de nombreux films en courts métrages et deux longs métrages.

L'AFT tient à la disposition de ses membres la liste complète des principales missions accomplies et des publications dont est l'auteur ce distingué "homme de sciences et de terrain".

Détection des risques naturels par l'examen stéréoscopique des photographies aériennes.

par Raymond d'HOLLANDER, Ingénieur Général Géographe

Résumé

Si l'utilisation des photographies aériennes commence à se généraliser parmi les ingénieurs et techniciens des sciences de la terre, on constate que ceux-ci se limitent trop souvent à un examen monoculaire des photographies alors que l'examen stéréoscopique apporte un complément d'information incomparable, notamment pour la détection des risques naturels.

Un certain nombre d'exemples très caractéristiques de risques naturels passés, actuels ou futurs feront l'objet d'une projection en relief, réalisée au moyen d'un double projecteur en lumière polarisée conçu par l'IGN, il y a un certain nombre d'années. Cette projection nécessite un écran métallisé, pour chaque spectateur une paire de lunettes munies de filtres polarisants.

Les clichés présentés ont été pris dans des chambres métriques de manière à permettre une restitution photogrammétrique. Le rapport base de prise de vues sur hauteur de vol est élevé, de manière à permettre une intersection précise des rayons perspectifs homologues. Il en résulte en effet d'exagération du relief (hyperstéréoscopie) bénéfique, qui joue pour le technicien des sciences de la terre un rôle comparable à celui du microscope pour le technicien des sciences biologiques.

Les exemples présentés concernent en presque totalité les Alpes et les environs de Grenoble. On observera :

— les effets de l'érosion régressive, qui menace des localités, détruit des pâturages, modifie brusquement les réseaux hydrographiques par captures (exemple de capture récent dans le gapençais) ;

— dans le Vercors, le rôle combiné de la lithologie et de l'érosion karstique. Une énorme carapace d'urgonien repose sur des marnes friables. Lorsque celles-ci sont déblayées, l'édifice urgonien miné à sa base s'écroule (cas du Mont-Aiguille) ou se fragmente en blocs rocheux qui glissent le long des parois. On conçoit le risque d'implanter une route sur un versant aussi instable (c'est pourtant le cas de la route qui surmonte la Combe Laval) ;

— dans le même ordre d'idées on montrera l'effondrement et le glissement d'une partie du promontoire du Combalou (Caves de Roquefort) et celui des blocs de grès de Fontainebleau ;

— on présentera le glissement de terrain de Saint-Etienne de Tinée, faisant l'objet d'une communication du Colloque ;

— enfin l'examen stéréoscopique des photographies aériennes en haute montagne permet de localiser les zones à risques d'avalanches.

Sur les douze stéréogrammes projetés, quatre sont reproduits ici, mais les contraintes de l'impression ont conduit à tramer ces quatre double clichés.

Le grossissement du stéréoscope, que l'on posera sur chacun des quatre stéréogrammes, rend très visible le grain de la trame, qui malheureusement fait perdre beaucoup de finesse à l'observation stéréoscopique.

Stéréogrammes

1) Le stéréogramme du haut représente le promontoire du Combalou, au pied duquel on observe un chaos de blocs décrochés de la falaise et qui ont glissé sur des formations tendres sous-jacentes. Dans les interstices des blocs ont été aménagées les fameuses caves de Roquefort.

2) Le 2^e stéréogramme représente la paroi orientale du Vercors (le Nord est à gauche) et le Mont-Aiguille, qui est une butte-témoin, vestige d'une extension plus orientale du plateau du Vercors.

Toutes les traces blanches concernent des éboulis de blocs détachés de la paroi d'urgonien selon le processus évoqué ci-dessus.

3) Le 3^e stéréogramme représente la vallée glaciaire de la station des Deux-Alpes, soumise à l'érosion régres-

sive de deux torrents dont l'un menace les bâtiments du petit hameau d'Alpe de Venose.

4) Le 4^e et dernier stéréogramme concerne la bordure occidentale du Vercors et montre à gauche une courbe marginale, bordée d'un pli-faille où l'urgonien chevauche la molasse miocène.

A droite du stéréogramme, on observe un défoncement synclinal avec glissements de blocs d'urgonien, dont l'un est particulièrement important, qui ont décroché de la paroi. L'équilibre du versant est donc précaire et pourtant on y a construit une route, qui risque d'être entraînée lors d'un glissement de ces blocs.

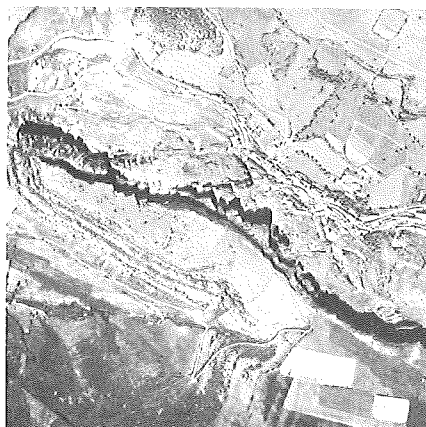
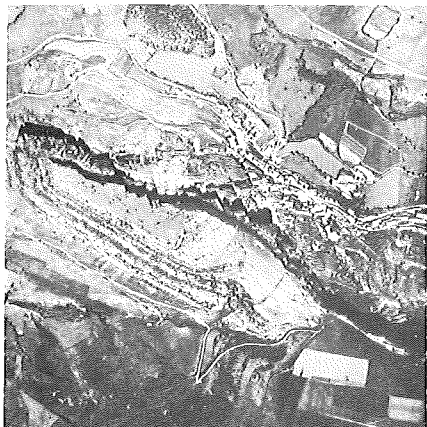
*

**

Les stéréogrammes projetés au colloque ont été tirés de la collection de l'Institut Géographique National, qui comporte plus de 1 400 stéréogrammes remarquables au point de vue : géomorphologie, géologie, géographie humaine, végétation, archéologie.

Une brochure "Projection en relief de photographies aériennes", qui donne la liste de ces stéréogrammes, peut être fournie sur demande à l'Institut Géographique National. Sce de la Logistique, 2, avenue Pasteur, 94160 St-Mandé.

STEREOGRAMMES



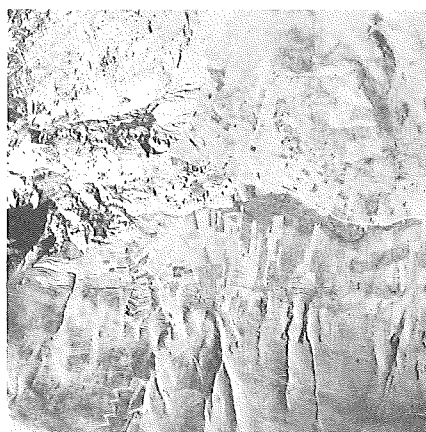
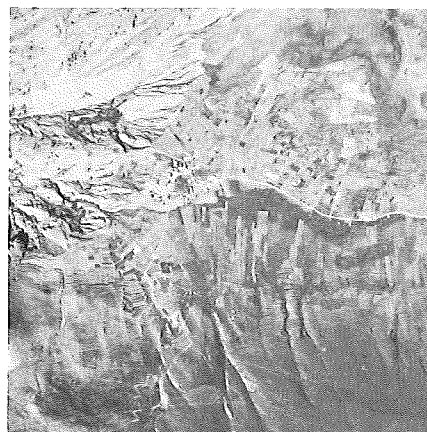
ROQUEFORT

• *Combalou*

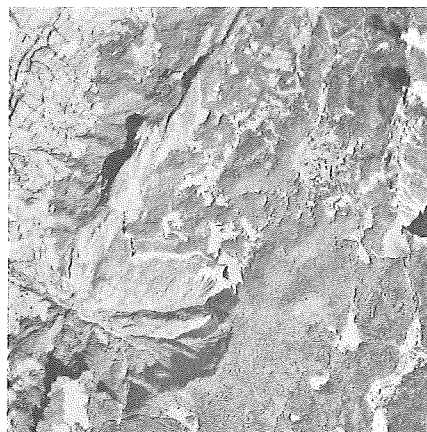


VERCORS

• *Mont-Aiguille*



Massif de l'OISANS



Vercors occidental (BOUVANTE)

Clichés : IGN.

LEPONT

EQUIPEMENTS

PARIS 57, avenue Charles-de-Gaulle
92200 Neuilly. Tél. : (1) 46.24.38.64.
Télécopieur : (1) 47.38.61.57.
2, rue de Châteaudun - 75009 Paris
Tél. : (1) 45.26.95.21 - Sirene 683 680 63100028.

LEPONT

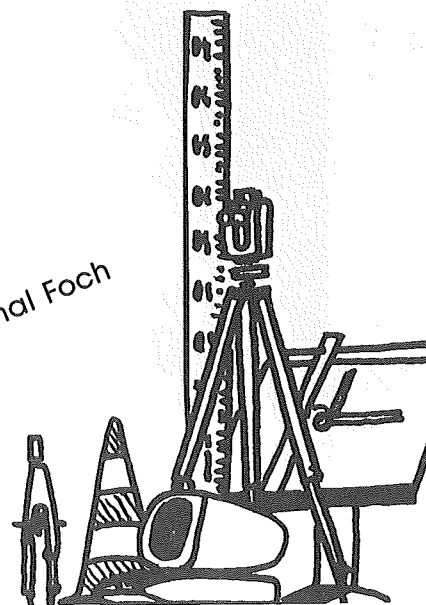
EQUIPEMENTS

LYON rue Copernic
(accès autoroute Lyon-Marseille)
Tél. : 78.73.02.88 - Télex : LEPONT 380034 F
F 38670 CHASSE-SUR-RHONE - BP N° 11
Télécopieur : 78.73.82.78.

LEPONT

EQUIPEMENTS

GRENOBLE 51, bd Maréchal Foch
38100 Grenoble. Tél. : 76.96.67.74.
Sirene : 683 680 63100036.

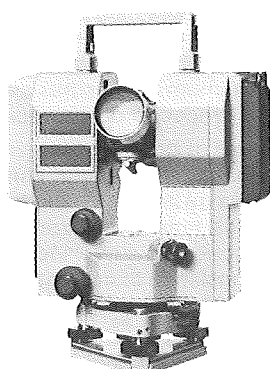


ZEISS

Allemagne
Fédérale

LA SERIE *E*

Les nouveaux
"Electroniques"
de Zeiss.



Zeiss *E*Th 4
Zeiss *E*Th 3
Zeiss *E*/ta 4
Zeiss *E*/ta 3

*Petits, légers,
efficaces et
d'un prix avantageux,
de par l'emploi
d'une nouvelle technologie
de microprocesseur.*

Importé et vendu par

LEPONT
EQUIPEMENTS

et revendeurs spécialisés

Zeiss

La ligne *E*

Etude et prévision des mouvements de terrains

par Chahrokh AZIMI, Ph. D. et Pierre DESVARREUX, Ingénieur ECP

Résumé

La résolution des problèmes posés par les mouvements de terrains, qu'il s'agisse de déterminer des travaux de stabilisation ou de prévoir l'évolution du phénomène, nécessite la compréhension du mécanisme en jeu. Ce mécanisme fait intervenir des caractéristiques purement géométriques comme la forme de la surface de glissement, et d'autres comme les propriétés mécaniques des matériaux, les pressions interstitielles, etc... qui sont en général difficiles à mesurer. C'est pourquoi la connaissance des déplacements du terrain est un des éléments

importants pour la compréhension de ces mécanismes, élément venant en complément de tous les autres.

Le but de l'exposé est de présenter concrètement la mise en œuvre de diverses techniques topographiques (triangulation, mesures de distance, etc...) et leur utilité dans la résolution des problèmes de mouvements de terrains.

On examinera successivement sur des exemples les problèmes de détermination de la surface de glissement, de l'appréciation de l'efficacité de travaux de stabilisation et de la prévision de mouvements de terrains.

I — POSITION DU PROBLEME

Les mouvements de terrains sont des phénomènes géologiques actuels et complexes, dont l'étude a pour but de fournir une réponse à l'une des 3 questions suivantes :

— Est-il possible de stabiliser cette pente en mouvements et comment ?

— Peut-on construire sur cette pente — apparemment stable — sans en modifier l'équilibre, et comment procéder ?

— Cette pente en mouvements peut-elle devenir dangereuse, et comment prévoir l'évolution de ses mouvements ?

On peut dire que les mouvements constatés sont la réponse du terrain aux diverses sollicitations qui lui sont imposées, ou plus précisément aux modifications de ces sollicitations :

— modification dans la répartition des contraintes, à cause de surcharges, de modifications de forme, ou des mouvements eux-mêmes ;

— modifications dans la répartition des pressions interstitielles (pression de l'eau dans le terrain) sur le pourtour du terrain en mouvement, en particulier sur la surface de glissement ;

— modification des propriétés mécaniques des matériaux sous l'effet de l'altération physico-chimique ou des grandes déformations (caractéristiques "résiduelles").

Pour résoudre les problèmes de mouvements de terrains, il faut donc pouvoir connaître :

— les principales hétérogénéités du terrain ;

— la forme de la surface topographique et celle de la surface de glissement ;

— les caractéristiques mécaniques des matériaux et leur éventuelle évolution ;

— les pressions interstitielles sur la surface de glissement, et leurs variations dans le temps ;

Ceci afin de comprendre le mécanisme des mouvements, c'est-à-dire déterminer quels sont les facteurs influents sur les mouvements. Comme les mécanismes sont souvent complexes, leur étude sera facilitée si on

peut mettre en parallèle les déplacements du terrain avec certaines données comme la pression interstitielle, la pluviométrie, etc.

Les mesures de déplacement du terrain, en particulier à l'aide des techniques topographiques, apparaissent donc comme un élément nécessaire (mais non suffisant) à toute étude sérieuse de mouvement de terrain.

II — PRINCIPES ET TECHNIQUES

2.1. Implantation des témoins

En général, on a toujours intérêt à implanter le canevas de témoins mobiles et de bornes fixes le plus tôt possible après le début des études. En effet, si on doit définir des travaux de stabilisation, il est intéressant de pouvoir disposer d'un temps minimum de mesures avant travaux pour bien apprécier l'efficacité de ceux-ci.

L'implantation des témoins et des bornes devrait être faite après une reconnaissance géologique sommaire, destinée à préciser les limites de la zone en mouvement, et, à l'intérieur de celle-ci, de repérer des zones d'activité différente qui doivent donc être surveillées. A notre avis, la meilleure solution consiste à définir cette implantation conjointement entre le topographe et le géotechnicien.

Les bornes fixes doivent être en nombre suffisant, surtout si on n'a pas de certitude absolue sur la stabilité de certaines d'entre elles.

Nous ne rentrerons pas dans le détail de la constitution des massifs de fondation ou de celle des témoins mobiles.

2.2. Espacement des mesures

Nous verrons plus loin que la compréhension précise des mécanismes de glissement nécessite pratiquement des mesures en continu (ou à la rigueur 1 mesure par jour), d'où des techniques particulières. Cependant, les mesures "classiques" conservent leur intérêt et leur espacement peut varier de 1 mois à 3 mois, s'il s'agit de mesures en X, Y, Z. S'il s'agit de mesures simplifiées (nivellement seul ou variation de distance), on peut adopter des fréquences plus grandes. D'autre part, en fonction de la connaissance qu'on a des mouvements, on peut adapter la fréquence aux diverses périodes de l'année.

2.3. Techniques utilisées

Elles sont très variées et comprennent (cette liste n'est pas exhaustive) :

— la triangulation classique (ou avec trilatération) pour les mesures en X, Y, Z.

Dans ce cas, le canevas de bornes fixes est vérifié à chaque mesure (3 ou 4 mesures par an) ou 1 fois par an (mesures plus fréquentes) ;

— le nivellement seul qui offre l'avantage de la précision (nivellement direct) et qui est simple à mettre en œuvre, sur des routes par exemple. Mais les mesures ne sont significatives que si le mouvement a une composante verticale non négligeable ;

— les mesures par alignement qui consistent à implanter des témoins sur un alignement défini par 2 bornes fixes (bornes C et D de la fig. 1). On vient ensuite mesurer directement sur le terrain la distance entre le témoin et l'alignement d'origine, la mire étant replacée sur cet alignement. Cette distance est en première approximation proportionnelle au déplacement ;

— les mesures de variation de distance au moyen de distancemètres électroniques. On peut admettre dans certaines configurations que la variation de distance est représentative du déplacement réel (fig. 1) ;

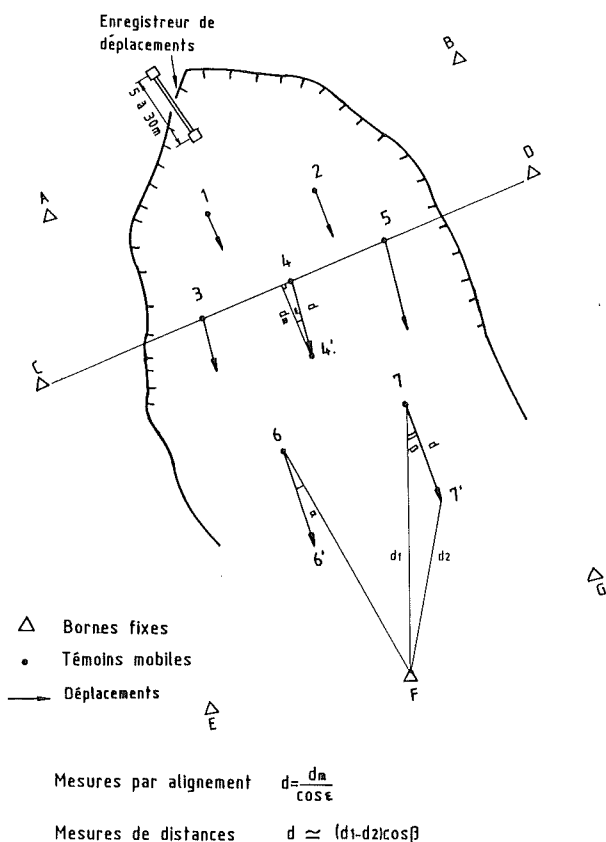


Fig. 1 — Schéma de principe de divers dispositifs de surveillance topographique de glissements de terrains.

— les mesures de variations de distance sur bases courtes (moins de 50 m) au moyen de fils invar installés à demeure ou remis en place à chaque mesure. Ce système peut se prêter à la mesure automatique et à l'enregistrement.

2.4. Remarques

En général, dans la plupart des cas, il est plus important de connaître les variations des déplacements en fonction du temps que leur amplitude exacte.

Lorsque la cinématique du mouvement est simple, la connaissance des déplacements en surface est suffisante pour apprécier les déplacements en profondeur. Pour

mesurer ces derniers, on utilise couramment les tubes inclinométriques qui permettent de reconstituer la déformée d'un forage. Dans ce cas, il est nécessaire de prévoir un contrôle topographique des sommets de tubes. En effet, si les mesures inclinométriques n'indiquent pas de niveau de cisaillement, il faut pouvoir apprécier si ceci est dû à l'absence de mouvements ou au fait que le niveau de cisaillement se situe plus profondément que la base du sondage.

III — DELIMITATION DE LA ZONE EN MOUVEMENTS

Grâce à des mesures en X, Y, Z, couvrant une période d'activité (3 à 4 mois au minimum), on peut déterminer les zones stables et les zones actives. Parmi ces dernières, on peut parfois distinguer des zones en mouvements plus ou moins rapides.

Si on dispose des vecteurs de déplacement dans des plans verticaux et si la cinématique du mouvement est assez simple, on peut construire géométriquement la forme de la surface de glissement en supposant en première approximation que les vecteurs de déplacements en surface sont parallèles à la tangente à la surface de glissement à l'aplomb du point considéré (fig. 2). Pour réaliser cette construction, on utilise les points de passage connus de la surface de glissement (fissures, bourrelets frontaux, ou tubes inclinométriques).

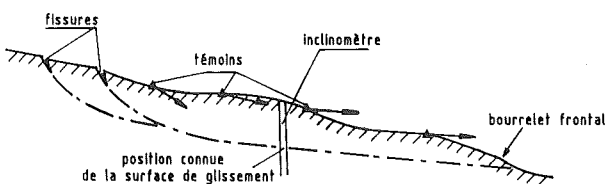


Fig. 2 — Principe de la construction de la surface de glissement.

IV — APPRECIATION DE L'EFFICACITE DE TRAVAUX DE STABILISATION

On pense paradoxalement assez peu à cette application de la topographie. Lorsque des travaux de stabilisation sont prévus, il est très utile de pouvoir disposer de mesures de déplacements avant et après pour juger de leur efficacité. D'autre part, dans le cas d'aménagements entraînant un risque de déstabilisation (par exemple retenues artificielles), il est très utile, pour éviter les contentieux ultérieurs, d'effectuer des mesures de déplacements des pentes douteuses avant et après travaux.

L'exemple ci-dessous concerne un glissement de terrain affectant le CD 8A entre Monestier-de-Clermont et Gresse-en-Vercors. Ce glissement, connu depuis longtemps, entraînait un affaissement régulier d'une partie de la chaussée sur 30 m de long. La zone en mouvements, large de 20 à 30 m, comprenait une partie supérieure très active (vitesses de déplacement estimées à 50 cm/an minimum) et une partie inférieure moins active sans fissures apparentes (fig. 3).

En juillet 1975, on a réalisé une première tranche de drainage (2 éperons drainants profonds de 3 m) et on a implanté ensuite le système de surveillance topographique. Bien que cette disposition ne soit pas idéale, on a pu faire trois observations intéressantes lors des mesures de déplacement :

— stabilité du témoin 11, ce qui montrait que les observations visuelles sur les limites de zone en mouvements étaient justes ;

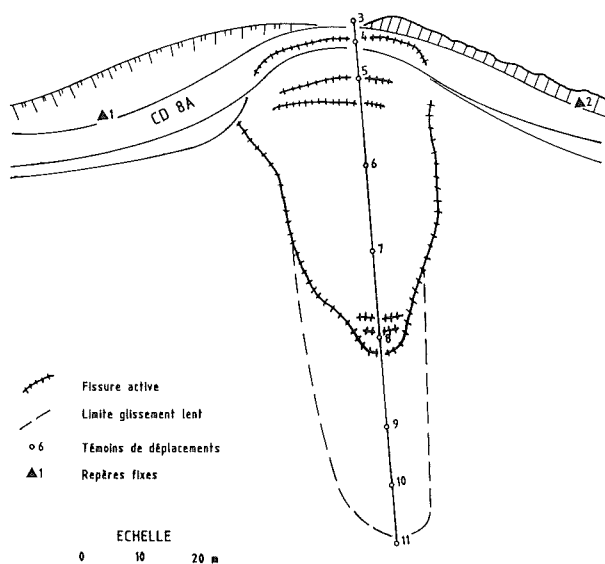


Fig. 3 — Glissement du CD 8A. Implantation des témoins.

— homogénéité dans les vitesses de déplacements des témoins n° 5, 6, 7, 8, 9 et 10 appartenant pourtant à 2 zones d'activités très différentes avant drainage. Le rôle de la 1^{re} tranche de drainage a donc été de ralentir les mouvements de la zone supérieure mais pas de les arrêter ;

— après la réalisation de la 2^e tranche de drainage en décembre 1977, les vitesses moyennes ont été encore ralenties comme le montre la fig. 4 :

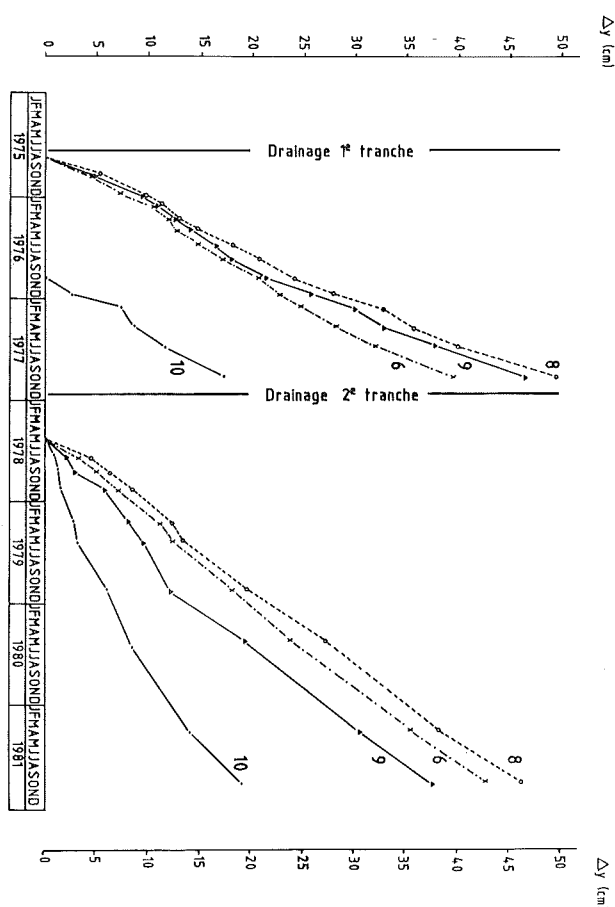


Fig. 4 — Glissement du CD 8A. Evolution des déplacements (planimétrie).

Vitesses moyennes

Témoïn	Après 1 ^{re} tranche de drainage	Après 2 ^e tranche de drainage
6	15 - 22 cm/an	11 - 14 cm/an
8	20 - 25 cm/an	12 - 16 cm/an
9	20 - 25 cm/an	8 - 13 cm/an
10	17 cm/an	5 - 9 cm/an

On a donc pu ainsi apprécier l'efficacité du drainage même si la stabilisation complète n'a pu être obtenue. D'autre part, les mesures topographiques ont permis de montrer que des terrains sans fissuration apparente peuvent être sujets à des mouvements de 10 à 20 cm/an.

Enfin, à cause de l'existence de mouvements résiduels, il a été décidé de reprendre la route en estacade sur pieux fondés au-dessous de la zone en mouvements. Ces travaux ont été réalisés en 1983.

V — ANALYSE DU COMPORTEMENT D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN

Le cas du glissement de Léaz dominant la retenue de Génissiat est un exemple caractéristique où la surveillance a pour but de préciser le mécanisme des mouvements, prévoir dans quelles conditions ceux-ci pourraient s'accélérer et juger de l'efficacité des travaux entrepris. On cherche en effet à assurer l'exploitation de la retenue dans des conditions normales de sécurité.

Ce glissement, connu avant l'établissement de la retenue, affecte une épaisseur de 10 à 14 m de matériaux argileux, représentant un volume total de $1,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

La retenue n'a aucune influence sur les mouvements, la base du versant, constituée d'alluvions graveleuses, étant stable (témoins 50 et 56 de la fig. 5).

Les mesures de déplacements ont commencé fin 1964 avec la mise en place de 44 témoins mesurés en triangulation et par alignements. Les mesures, de fréquence mensuelle à trimestrielle, ont permis de préciser les vitesses moyennes (5 à 30 cm/an) et l'existence d'une zone plus active (hachurée sur la fig. 5) correspondant à un volume de $100\,000 \text{ m}^3$. Elles ont enfin permis de vérifier que l'activité du glissement était saisonnière mais pas de préciser le mécanisme exact. C'est pourquoi depuis 1974 on a adopté le système de surveillance suivant (fig. 5) :

— mesures en triangulation sur 25 témoins à partir des bornes fixées A, C... M₂. La fréquence est annuelle et permet de vérifier l'activité moyenne des diverses zones du glissement ;

— mesures au distancemètre entre le point fixe M₂ et 11 témoins du glissement. La fréquence moyenne est trimestrielle mais peut être resserrée en cas d'accélération des mouvements. Le but est de vérifier qu'aucune zone du glissement ne dépasse en vitesse la zone la plus active ;

— enregistrement en continu des déplacements d'un point de la zone la plus active avec, depuis 1978, transmission automatique des mesures à la centrale de Génissiat par ligne téléphonique. Le système enregistreur est constitué d'un fil invar Ø 1,65 mm de 30 m de long tendu à 12 kg entre un pilier fixe en béton et l'enregistreur proprement dit. Le mouvement de translation de l'enregistreur est converti en mouvement de rotation, lui-même transmis à un codeur numérique angulaire. Le fil invar est protégé par une buse Armco Ø 800 mm, posée sur le terrain. Un entretien est nécessaire pour éviter le contact entre le fil invar et la buse et entre cette dernière et le pilier fixe.

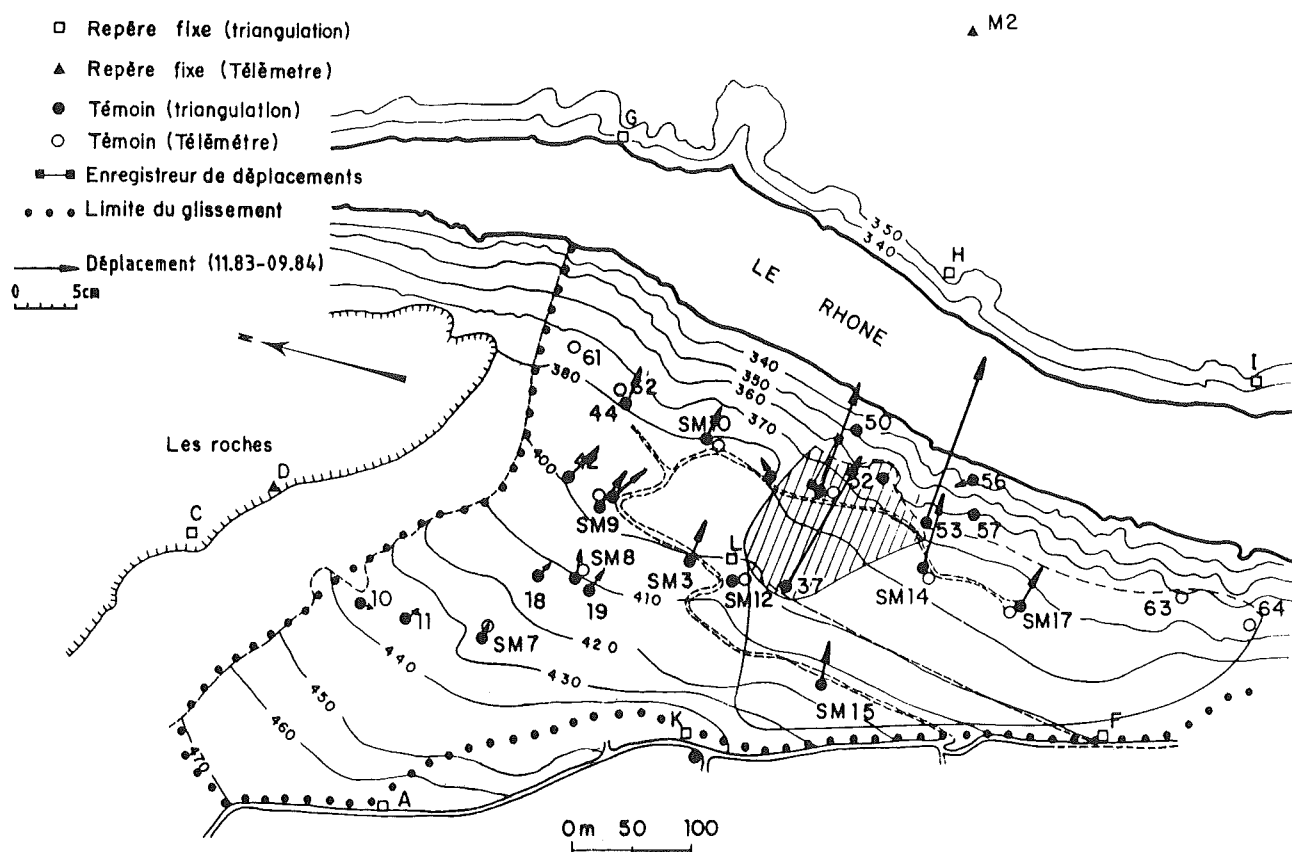


Fig. 5 — Glissement de Léaz. Implantation de la surveillance.

En parallèle avec les mesures de déplacements, on réalise des mesures de niveaux piézométriques et de pression interstitielle dans des cellules, de même que les mesures pluviométriques et de températures.

Sur la fig. 6, on a représenté un exemple de 10 mois d'enregistrements corrélés avec les variations piézométriques à proximité de l'enregistreur. On a ainsi pu mettre en évidence 3 points fondamentaux qui n'étaient jamais apparus clairement auparavant :

— les périodes d'activité sont réduites dans le temps alors qu'on a plusieurs mois d'arrêt par an des mouvements (à 1 ou 2 mm près) ;

— l'activité du glissement se produit lorsque le niveau d'eau dépasse une valeur critique No (ici 369,30 à 369,40 NGF) au sondage FP 13. On a vérifié par la suite que ce niveau était pratiquement constant dans le temps ;

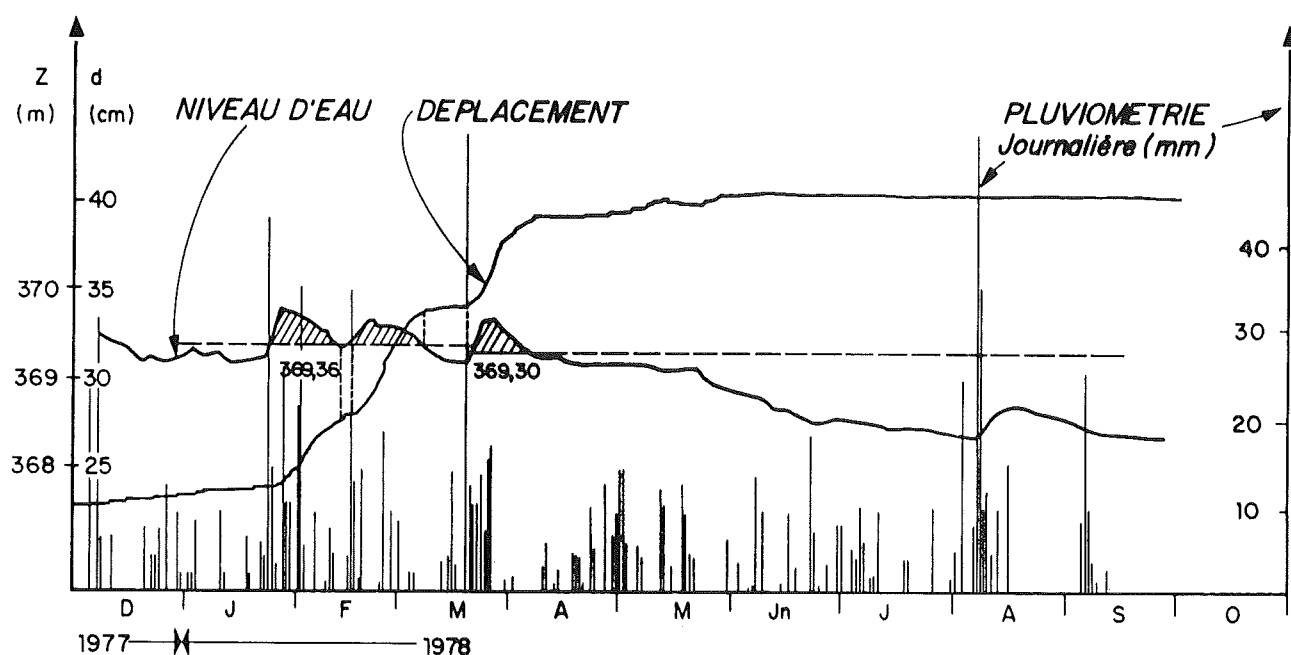


Fig. 6 — Glissement de Léaz. Enregistrement des déplacements de la zone la plus active.

— en phase d'activité, on peut lier la vitesse instantanée des déplacements au niveau d'eau par une formule approchée du type $V = k (N - N_0)$.

On a donc pu proposer un certain schéma de comportement du glissement qui permettrait de rendre compte des vitesses observées en fonction des niveaux d'eau dans le terrain. Le principe de la surveillance consiste alors à vérifier que les corrélations établies entre vitesses et niveau d'eau, de même que pluviométrie, restent bien les mêmes dans le temps.

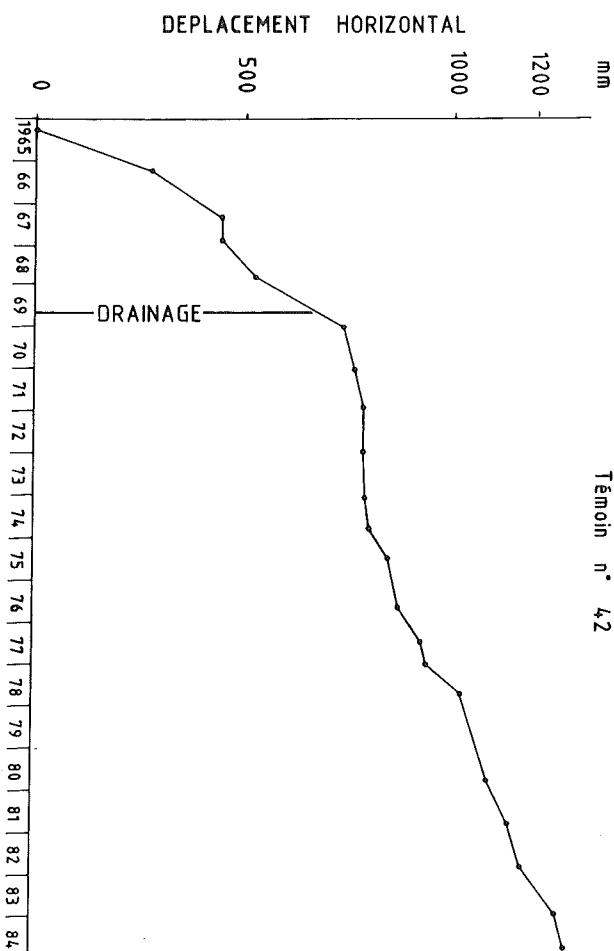


Fig. 7 — Glissement de Léaz. Influence de la réalisation du drainage sur les mouvements.

On doit ajouter qu'on a réalisé en 1969 des travaux de drainage superficiel du glissement représentant 300 m d'antennes drainantes et 1 300 m de collecteurs étanches destinés à empêcher la réinfiltration des sorties d'eau. La fig. 7 permet d'apprécier l'efficacité de ce drainage. Sur la fig. 8, on a reporté les déplacements annuels du témoin 42 en fonction de la pluviométrie totale annuelle corrigée de l'évapotranspiration (pluviométrie "efficace"). On peut constater ainsi que, pour des pluviométries équivalentes, les vitesses de mouvements ont été divisées par 3 ou 4.

Nous voudrions insister sur le fait que les mesures topographiques seules n'auraient pas permis une démonstration aussi nette de l'efficacité du drainage : en effet, les années 1971 à 1976 ayant été peu pluvieuses, on pouvait autant imputer le ralentissement à cette cause.

Enfin, on peut constater que si on parvenait à abaisser le niveau d'eau sous le niveau critique, les déplacements seraient pratiquement nuls. Ceci montre que con-

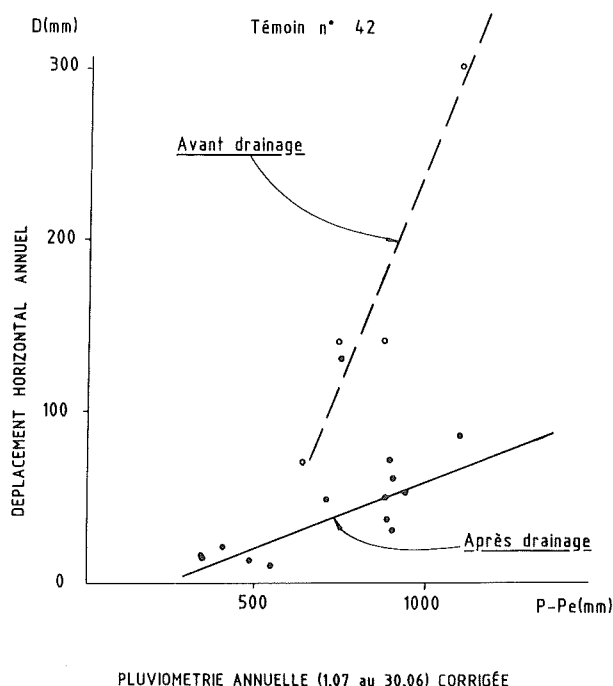


Fig. 8 — Glissement de Léaz. Corrélations comparées avant et après drainage entre la pluviométrie efficace (P-Pe) et le déplacement horizontal annuel.

trairement à une idée souvent répandue, la stabilisation de grands glissements n'est pas impossible dans certains cas, par exemple lorsque ces mouvements sont dus à des variations de pression interstitielle et qu'on peut agir sur cette dernière.

VI — PREVISION D'ÉBOULEMENT

Ce dernier exemple a pour but de montrer comment on a pu prévoir un éboulement à partir de mesures topographiques très simples.

Fin 1975, suite à un éboulement de l'ordre de 1 000 m³ dans les gypses en contrebas du CD 926, 2 fissures distantes de 50 m sont apparues dans la chaussée de cette route entre St-Jean-de-Maurienne et St-Sorlin-d'Arves. A cet endroit, le CD 926 domine de 100 m le fond de la vallée de l'Arvan, où se situe le CD 110 (fig. 9).

En février 1976, on a mis en place 10 repères de nivellement dont 4 au-delà des fissures. La fréquence prévue était mensuelle. Ces mesures étaient effectuées par les agents de l'Équipement.

En parallèle, une étude géologique était engagée et, en 1977, on a émis l'hypothèse que les mouvements constatés sur la route étaient vraisemblablement la conséquence d'un mouvement d'ensemble affectant les gypses en contrebas. Cette hypothèse reposait en particulier sur l'observation que certains plans de stratification du gypse (de direction N 110 à 170 avec pendage 48 à 55° vers le N-E) portaient des stries de direction N 85 à 100, biaisées par rapport aux lignes de plus grande pente et correspondant à la direction de l'intersection des plans de stratification avec une famille de diaclases N 60 pendage 60° vers le S-E.

Pour vérifier cette hypothèse, on a fait implanter en avril 1978 7 nouveaux témoins dont 2 sur la route et 5 en contrebas, sur les gypses. Ces 7 témoins ont été levés en X, Y, Z, à partir de 3 bornes fixes situées sur la rive droite de l'Arvan.

Dès le mois d'octobre 1978, on a pu faire les deux constatations fondamentales suivantes :

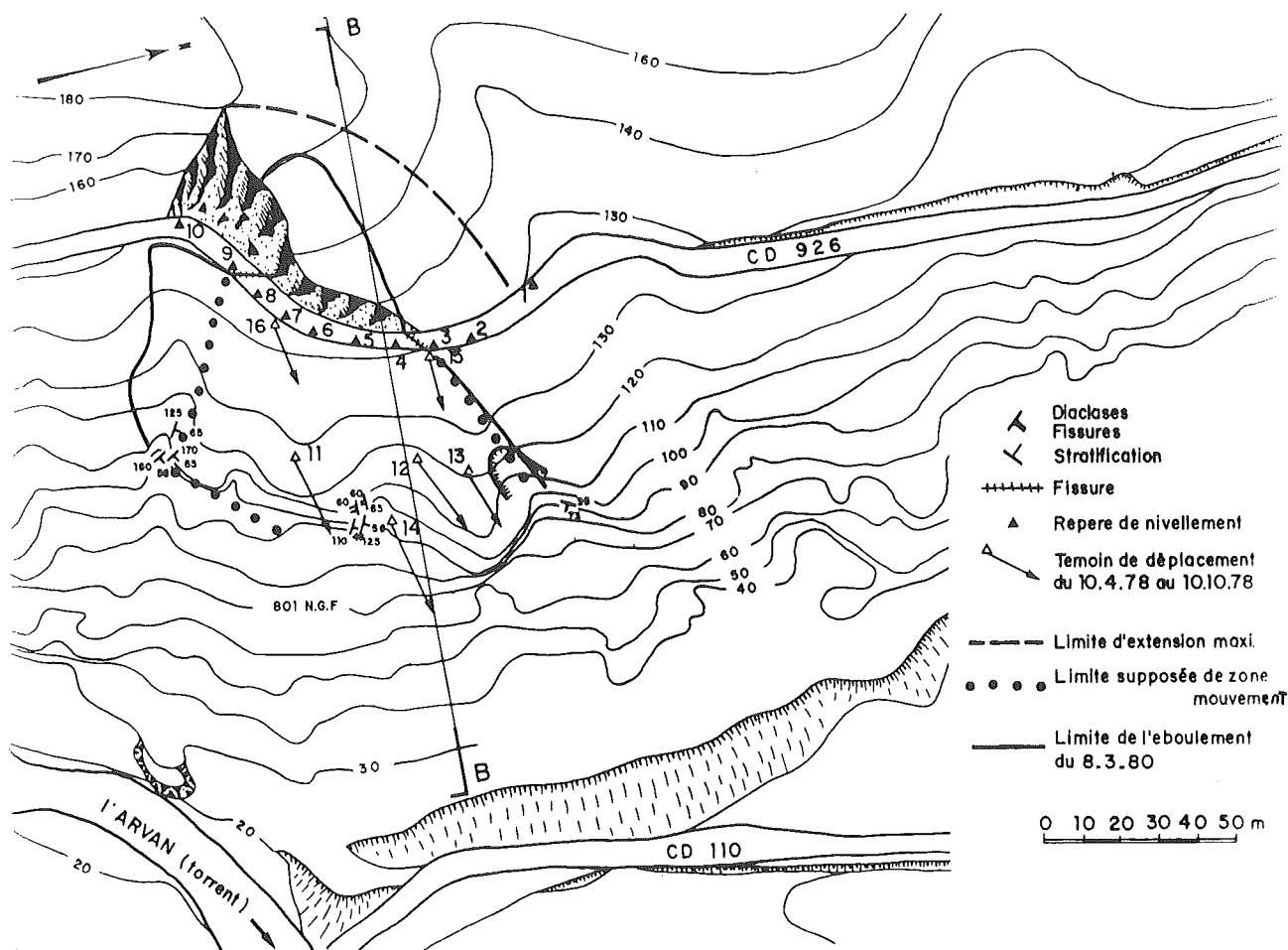


Fig. 9 — CD 926 — Implantation de la surveillance.

— les vitesses de déplacements verticaux des témoins tels que 12 ou 14 étaient les mêmes que celles des repères de nivellement du CD 926, ce qui montrait bien qu'il y avait un mouvement d'ensemble (fig. 11) ;

— les directions des vecteurs de déplacements des témoins 11 à 14 étaient parallèles entre elles, non conformes à la pente topographique, et cohérentes avec les directions et pentes des stries observées sur les plans de stratification (fig. 9 et 10).

On a pu alors, par constructions géométriques, et en tenant compte de l'existence de certaines grandes fissures, estimer les limites du massif en mouvement et son volume. Comme les vitesses d'affaissement vertical ne semblaient pas diminuer, on a incité les services de l'Équipement à étudier préventivement diverses possibilités de déviations situées au-delà des limites maximales d'extension possible.

Sur la fig. 11, on a représenté l'évolution de l'affaissement du CD 926 au témoin n° 7 (mesures de nivellement). Dans le cas présent, on a eu un mouvement vertical à vitesse quasi-constante de 16 cm/an durant 3 ans, puis une accélération début 1980. Ceci a conduit à resserrer les mesures (tous les 10 jours, puis tous les 2 jours, puis tous les jours). Dans le cas présent, l'accélération n'était liée à aucune sollicitation extérieure mais était due au phénomène de rupture progressive.

Au 5 mars 1980, l'analyse mathématique de l'évolution des déplacements a montré que la date la plus probable d'éboulement se situait au 8 ou 9 mars. On a recommandé alors la fermeture du CD 926 et du CD 110 avec **continuation de la surveillance**. A ce moment (6

mars), les vitesses journalières ne dépassaient pas 5 à 7 mm/jour et l'accélération n'était pas décelable à l'œil nu, ce qui fait que l'Ingénieur Subdivisionnaire a rencontré des réticences à la fermeture de la route.

Le 8 mars à 21 h 30 un éboulement estimé à 80 000 m³ emportait le CD 926 sur 50 m de long et ensevelissait le CD 110. Les limites de cet éboulement ont été sensiblement celles qui avaient été prévues. Grâce à la fermeture préventive des routes, aucune victime n'a été à déplorer.

En août 1980, le CD 926 était ouvert selon un tracé dont l'étude avait commencé en 1979.

VII — CONCLUSIONS

On peut schématiser ainsi l'utilisation de la topographie dans les études de glissements de terrains :

— sur des sites douteux où des aménagements sont prévus. Les mesures topographiques permettent de vérifier l'existence ou non de mouvements et leur ordre de grandeur (jusqu'à 10-20 cm/an des mouvements peuvent se produire sans fissuration du sol). Cette connaissance est importante pour apprécier la stabilité du site à l'état naturel, car cette dernière peut être modifiée de manière importante par la suite, même par des interventions minimales ;

— sur des sites où les mouvements sont connus, les mesures topographiques servent d'une part à préciser le mécanisme des mouvements (à condition d'être fréquentes et de ne pas être utilisées seules, mais conjointement avec des mesures de pression interstitielle, etc.), d'autre

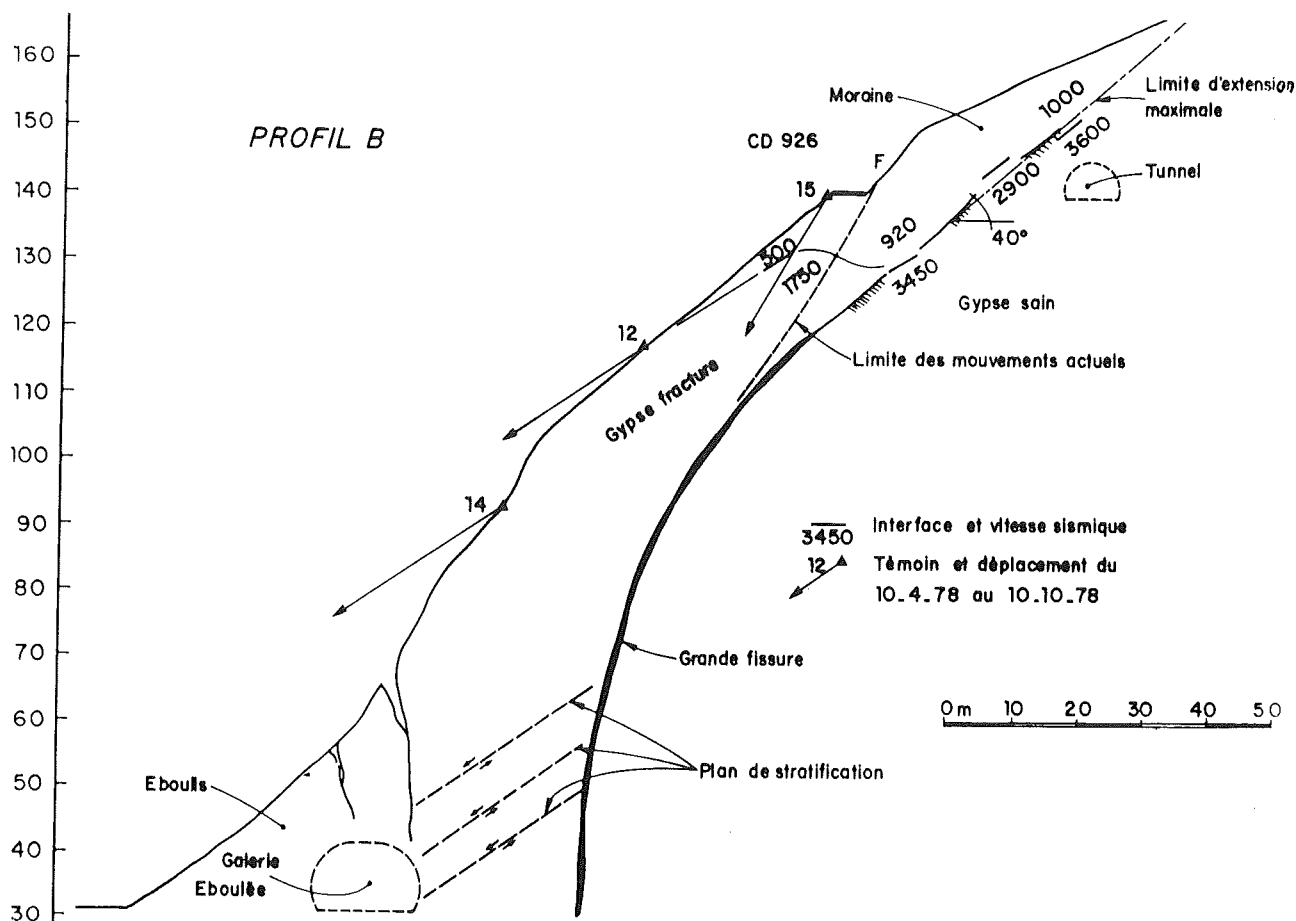


Fig. 10 — CD 926 — Profil en travers dans la masse en mouvement.

part à apprécier l'efficacité de travaux de stabilisation. Dans ce dernier cas, il est recommandé de poursuivre les mesures à fréquence réduite durant plusieurs années car la stabilisation n'est pas toujours instantanée, et au cas où elle n'est pas définitive, la connaissance de la réponse du glissement aux travaux effectués permet de préciser davantage le mécanisme de ces mouvements.

Les qualités demandées aux mesures topographiques sont les suivantes :

- précision en accord avec le but recherché et **définition de l'incertitude sur la position des points** ;
- respect des fréquences prévues et rapidité d'interprétation. Dans le cas du CD 926, nous avons pu prévoir l'éboulement à temps parce que, dans les derniers jours, les mesures de nivellement nous étaient transmises dans les 2 heures qui suivaient leur réalisation.

Nous tenons à remercier :

- la Direction Départementale de l'Équipement de l'Isère — Subdivision de Monestier-de-Clermont ;
- la Compagnie Nationale du Rhône ;
- la Direction Départementale de l'Équipement de la Savoie — Subdivision de St-Jean-de-Maurienne pour leur collaboration dans les exemples cités, et en particulier la réalisation de toutes les mesures de déplacement présentées.

BIBLIOGRAPHIE

Groupe de travail du Comité Français des Grands Barrages. "Études et travaux réalisés en France en raison de l'instabilité de versants de retenue" — 14^e Congrès des Grands Barrages, Rio-de-Janeiro, 1982 — pp. 576-579.

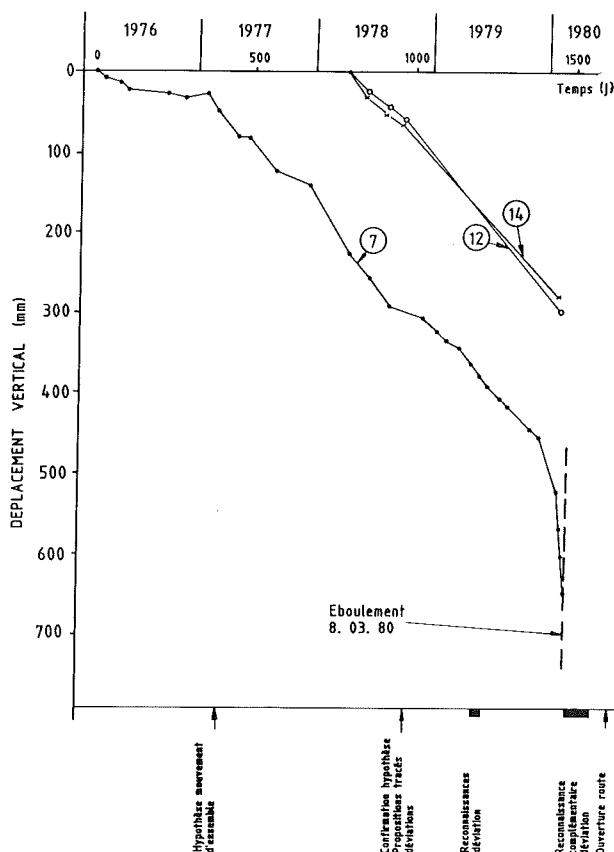


Fig. 11 — CD 926 — Evolution de l'affaissement (mesures de nivellement).

Surveillance des déformations sur les volcans français

par P.A. BLUM (physicien à l'Institut de Physique du Globe à Paris
Responsable du Secteur "Déformations" des Observatoires Volcanologiques de l'IPC)

Résumé

L'étude des déformations, appuyée principalement sur les méthodes topographiques, constitue la deuxième priorité, après la sismologie, dans la surveillance des volcans Montagne Pelée en Martinique, Soufrière de Guadeloupe et Piton de la Fournaise à la Réunion.

La mise en œuvre de ces méthodes est définie plus en

fonction des conditions de terrain et de problèmes de personnels que d'un schéma préétabli.

On prendra comme exemple, le Piton de la Fournaise sur lequel sont combinés mesures de distances, nivellement, mesures d'inclinaison accompagnés d'enregistrements clinométriques et extensométriques permanents et qui a été choisi pour une expérience de suivi photogrammétrique de précision.

Il y a quelques semaines, vous pouviez tous voir à la Télévision des images des coulées de laves incandescentes du Piton de la Fournaise atteignant la route bordant l'Est de l'île et détruisant quelques habitations. Ces images couronnaient toute une suite éruptive, commencée en juin dernier et dont les manifestations, internes à la Caldera, dans des zones totalement inhabitées, n'avaient pas suscité l'intérêt des médias. De la même manière qu'une éruption ne se limite pas à ses effets destructeurs des habitats humains, l'étude des volcans et de leurs mécanismes ne se limite pas aux seules éruptions qui ne sont que la phase finale d'un processus encore mal connu mais dont on peut cependant appréhender certains effets.

Parmi ces effets, je vais vous parler de l'étude des déformations, dans le cadre des observatoires volcanologiques de l'Institut de Physique du Globe de Paris, étude faisant largement appel aux méthodes de la topographie et ce ne sera pas un des moindres paradoxes de mon exposé que, n'étant ni spécialiste de topographie ni vraiment volcanologue, je vous fasse cette présentation.

Donc, pour des raisons largement historiques justifiées, a posteriori, par l'importance de la sismologie en volcanologie, l'Institut de Physique du Globe a la charge des trois Observatoires de la Soufrière en Guadeloupe, de la Montagne Pelée en Martinique et du Piton de la Fournaise à la Réunion. Le personnel de ces observatoires, manœuvres et secrétaires compris est pour les deux derniers d'une demi-douzaine de personnes, un peu plus en Guadeloupe. Quand je vous dirai qu'à côté de l'étude des déformations, on y étudie aussi la sismologie non seulement volcanique mais aussi, aux Antilles, régionale que l'on y développe des mesures magnétiques différentielles, que l'on y étudie la température et la composition de l'eau des sources, des fumerolles lorsqu'il y en a, que l'on y fait de la géologie et de la pétrographie, que l'accès à ces volcans et à leurs alentours est presque toujours long et quelquefois difficile, qu'il y pleut une dizaine de mètres d'eau par an et que l'absence de couverture nuageuse est l'exception, vous comprendrez que la définition des tâches à accomplir est avant tout conditionnée par des contraintes pratiques et c'est là que nous verrons la différence essentielle entre les applications de la topographie par exemple pour la construction d'autoroute, pour l'auscultation d'un barrage, en cartographie et en surveillance volcanique. Dans les premiers cas, on fera ce qui est nécessaire, dans d'autre ce qui est possible.

Mais il ne faut cependant pas trop noircir le tableau : en effet le soutien de nos organismes de tutelle et la coo-

pération avec d'autres organismes, en particulier l'IGN et EDF, coopération qui dans le dernier cas a été un véritable mécénat, nous ont permis de mener des opérations importantes, d'implanter des réseaux et, l'acharnement et même la passion du personnel sur place, en particulier à la Réunion lors de la dernière éruption a permis de suppléer à son insuffisance numérique.

Venons-en maintenant à notre sujet : il est de sens commun qu'une éruption volcanique soit précédée d'une augmentation des pressions internes et que lors de l'éruption il y ait chute de pression : ces modifications, quel que soit le modèle mécanique adopté, s'accompagnent de changement dans la géométrie de l'édifice : la connaissance de ce changement permettra d'une part d'améliorer les modèles théoriques, d'autre part, s'ils interviennent d'une façon mesurable avant l'éruption, de contribuer à la prévoir.

Nous distinguerons, pour l'étude des formations, trois grandes familles de méthodes, dont 2 font appel aux moyens de la topographie :

- la première famille puise dans les moyens classiques de la topographie : nivellement, mesure de distance, triangulation et trilatération, photogrammétrie ;
- la seconde utilise d'une façon spécifique les instruments du niveleur ;
- la troisième famille, tout à fait différente, regroupe les mesures ou l'enregistrement permanent, généralement tétéransmis, de capteurs clinométriques et extensométriques.

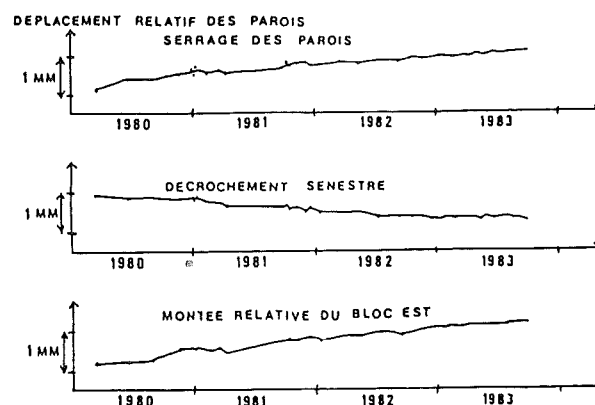


Figure 1. Relevé sur plusieurs années d'un fissuromètre EDF. On voit l'activité faible, mais continue de la faille de La Ty.

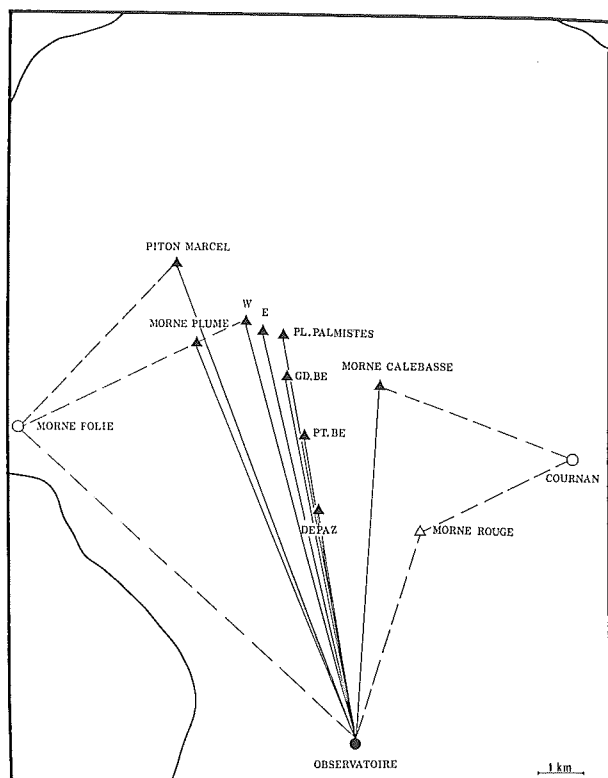


Figure 2. Réseau de mesures de distances sur la Montagne Pelée (mesures effectuées depuis l'Observatoire avec un distancemètre AGA 600).

Le temps qui m'est imparti ne me permet pas une description complète, qui serait d'ailleurs fastidieuse, de ce qui est installé, je me bornerai donc, avant de m'étendre un peu plus sur le travail fait au Piton de la Fournaise à donner trois exemples : le nivellement en Guadeloupe, un fissuromètre, les mesures de distance en Martinique.

Le réseau de nivellement de Guadeloupe implanté en 77 et 78 comprend 48 repères et inclut quelques repères du nivellement général. Les repères que nous avons installés sont le plus souvent constitués de tiges enfoncées jusqu'à refus dans le terrain. Le réseau, complété en 1983 par une antenne de nivellement géodésique jusqu'au sommet de la Soufrière, n'est réitéré que très partiellement dans les zones sensibles. On voit, en particulier, au passage d'un accident tectonique majeur des mouvements non négligeables. Ces mouvements sont globalement corroborés par ceux d'un fissuromètre de type EDF, implanté directement sur la faille, à mi-hauteur du dôme (fig. 1).

Le dispositif de mesure de distance (fig. 2) entre l'Observatoire de Morne des Cadets, en Martinique et la Montagne Pelée est disposé de telle sorte qu'il soit possible de profiter de la moindre éclaircie pour faire des mesures, il est clair que l'information sur les mouvements des réflecteurs est pauvre, en effet à chaque réflecteur ne correspond qu'une seule visée (faite avec un géodimètre Aga 600). Les données de température sont télétransmises, les données barométriques et hygrométriques étant extrapolées. Ce faisceau de mesures permet, en fait, de suivre un éventuel gonflement du volcan et n'est rien d'autre qu'un signal d'alarme.

Venons-en maintenant à la description des installations (situées sur la figure 3) et des mesures faites à la Réunion. C'est là, en effet, où, d'une part, les installations sont le plus complètes et le plus cohérentes où d'autre part depuis que nos réseaux sont implantés, soit en 1981, un an après la fondation de l'Observatoire, deux cycles d'éruptions se sont produites.

Trois nivellements de précision ont été implantés, l'un rejoint la route nationale traversant l'île, au bord de la Caldera ; le second suit la route côtière de Saint-Philippe à Piton Sainte Rose, et traverse la zone qui, lors de la dernière éruption, a vu s'ouvrir des fissures. La réitération rapide de ce nivellement a permis de constater que, hors des mouvements métriques au niveau des fissures, mouvements accompagnés d'un coulisage dextre, aucune modification supérieure au cm n'était perceptible. Un troisième nivellement de précision suit les 5 km d'un ouvrage souterrain d'EDF, dans d'excellentes conditions de mesure : là aussi la réitération a été effectuée fin mars 86 et, hors des petits mouvements au centre de l'ouvrage qu'il serait osé d'attribuer à l'activité volcanique, la stabilité est totale.

Ces nivellements sont continués à l'intérieur de la Caldera par un nivellement géodésique entre le Pas de Bellemont où s'arrête le nivellement de la route d'accès au volcan et le Bory, sommet actuel de l'appareil volca-

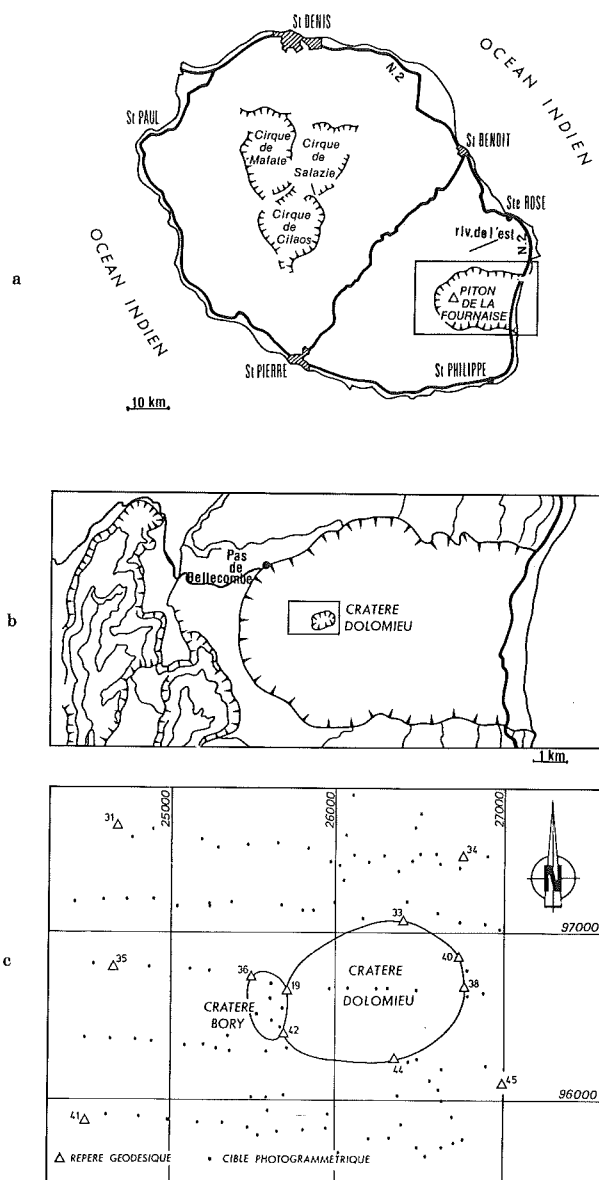


Figure 3. a) Situation du Piton de la Fournaise sur l'île de la Réunion ; b) Zone de surveillance, le rectangle délimite le relevé photogrammétrique ; c) Situation des cibles utilisées en photogrammétrie.

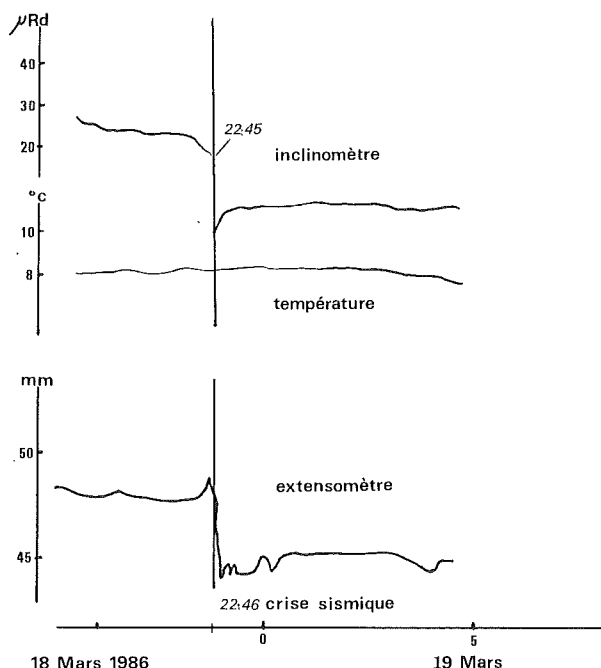


Figure 4. Inclinaison et Extension brutales accompagnant une éruption. Ces données sont télétransmises à l'Observatoire.

nique, la reprise de ce nivellement n'a donné qu'une déflation de 13 mm au pied du Bory. Un autre nivellement géodésique permet de suivre la rupture de pente de la plaine des Osmondes.

Un réseau gravimétrique, calqué sur le nivellement permet de modéliser, d'une réitération à l'autre, les transferts de masse.

Les stations d'inclinaison permettent de mesurer l'évolution de la pente sur des croix ou des triangles d'une vingtaine de mètres d'extension ; c'est une méthode développée par les volcanologues américains de Hawaï : les sommets du triangle ou les extrémités des branches de la croix sont matérialisés par des rivets servant de repère de nivellement, au centre de cette figure, est placé un niveau avec lequel on pointe une mire Invar placée successivement sur chacun des repères : on peut ainsi connaître les variations angulaires du sol d'une série de mesures à l'autre. Une vingtaine de ces figures sont implantées sur le Piton de la Fournaise et permettent de situer correctement dans l'espace la déformation.

Par exemple, les mesures faites les 21 et 22 mars 86, juste après l'éruption du Nez Coupé du Tremblet, suggèrent un gonflement assez localisé de la partie E du volcan proche du cratère.

Les mesures faites le 30 mars et le 1^{er} avril, juste après ce qui semble être la fin de ce cycle éruptif montrent à l'évidence le dégonflement de la zone sommitale, dégonflement souligné par l'effondrement d'une partie du cratère central, le 29 mars à 22 h 38.

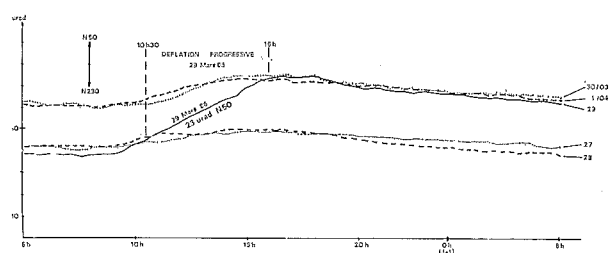


Figure 5. Déflation relativement lente précédant l'effondrement dans le cratère central.

Il est évident que ce type de mesure n'indique ni le moment exact où la déformation s'est produite ni la manière dont elle s'est produite : brutalement ou progressivement. Là, interviennent les mesures continues, télétransmises, obtenues par des capteurs clinométriques et extensométriques. J'en donnerai trois exemples : en 10 minutes, coïncidant avec le début de l'activité sismique, un inclinomètre situé sur le Bory enregistre un gonflement à l'Est de 14 microradian (fig. 4), ce mouvement précède de 8 h environ l'éruption proprement dite, tout autre scénario pour la phase finale où l'on assiste à une déflation progressive, conduisant à l'effondrement dans le cratère central (fig. 5). Un dernier exemple d'enregistrement clinométrique montre du 6 décembre au 29 décembre 85, l'inflation progressivement croissante précédant de presque un mois l'éruption qui s'est produite le 29/12, sans d'ailleurs que l'imminence de cette éruption soit discernable.

Continuons la description des moyens d'étude des déformations au Piton de la Fournaise : un réseau géo-

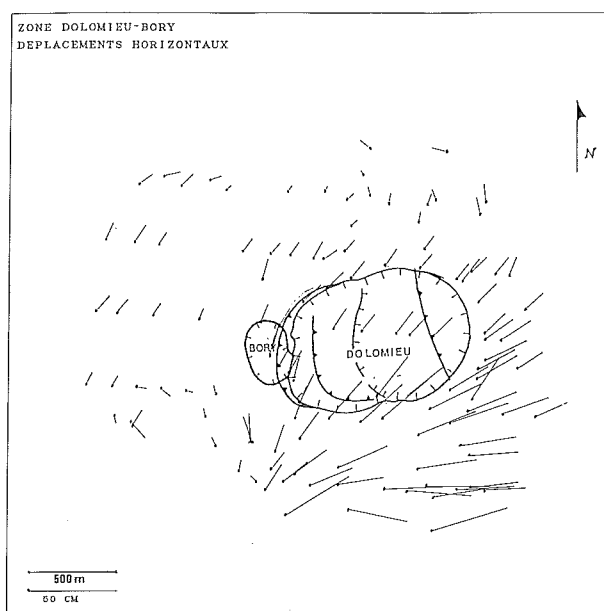


Figure 6. Déplacement dans un plan horizontal des cibles de photogrammétrie entre 1981 et 1984.

désique conçu en coopération entre l'IGN, l'EDF et l'IPG est techniquement calqué sur les réseaux d'auscultation des grands ouvrages ; en fait, si ce réseau sert à la surveillance de routine, il a essentiellement été conçu pour réaliser une opération de photogrammétrie de précision sur environ 10 km² de la zone sommitale du volcan. Les couvertures photos comme les mesures complètes du réseau géodésique ont été réalisées en octobre 1981 et en juin 1984 ; entre temps des éruptions s'étaient produites fin 83 et début 84 ; les mesures régulières partielles effectuées entre la fin de l'éruption et la prise de vue n'ont pas montré de modifications géométriques notables, les déplacements obtenus, par les points ciblés sont donc bien le résultat de l'éruption (fig. 6).

Pour terminer, je dirai un mot du réseau de microgéodésie implanté dans le cratère Bory, ce réseau implanté par le CETE de Lyon comporte sur 150 m de long deux lignes de repères, il permet de suivre le détail, à mieux que le mm près, en altimétrie et en planimétrie, des déformations de ce cratère.



RETA

tachéomètre électronique
digital automatique

op PASQUET

éclaire,
prévient,
mesure, corrige,
calcule, mémorise,
affiche, implante*,
transmet...

*tracking



Agent général pour la France VEB Carl Zeiss JENA

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE PHYSIQUE

Assistance - Maintenance

48, boulevard de la Bastille - 75012 PARIS - Tél: (1) 43.44.12.34 - Télex: 220231 Cogéphy Paris

Documentation et présentation sur demande aux agents généraux

74620 F.
AVEC BATTERIES
ET CHARGEUR

Mesures topographiques pour le contrôle des mouvements de terrain en Italie.

par Roberto CHIABRANDO

Résumé

Les récentes catastrophes :

— la rupture des digues en terre de deux bassins de décantation des boues de lavage des minerais dans la vallée de Fiemme ;

— l'éboulement d'une colline sur un lieu habité dans la province de Naples ;

ont causé des pertes en vies humaines et des dommages très importants.

Ces événements ont posé de nouveau le problème fondamental de la défense contre les catastrophes hydrogéologiques qui, dans un territoire avec un haut risque hydraulique et géologiquement très tourmenté comme l'Italie, apparaît de la plus grande importance.

La récente catastrophe du torrent Stava dans la vallée de Fiemme où à l'amont de l'agglomération de Tésaro s'est produit le 19 juillet 1985 l'affaissement soudain des digues aval de deux bassins de lavage de minerais exploités dans une mine voisine, provoquant en aval un déversement de boue qui a causé des dégâts matériels considérables outre la mort de 268 personnes, catastrophe à laquelle s'ajoute plus récemment encore l'éboulement d'un versant qui a fait de nombreuses victimes dans la Province de Naples, a reposé pour la nième fois le problème fondamental de la défense contre les catastrophes hydrogéologiques qui, sur un territoire à risque hydraulique élevé et géologiquement très tourmenté comme l'est l'Italie apparaît d'une extrême importance.

En Italie le problème de la sécurité des grandes infrastructures a toujours été particulièrement ressenti et par conséquent la presque totalité des barrages construits sur le territoire national au cours des quarante dernières années est dotée de systèmes d'observation et de contrôle aujourd'hui encore efficaces et avancés d'un point de vue technique et conceptuel. Ceci a été possible, entre autres, grâce au soin et à l'extrême attention que les techniciens des mesures ont toujours apporté au problème de la sécurité des digues.

Mais, malheureusement ce qui vient d'être dit ne vaut pas pour les petites retenues, fondamentalement constituées par des digues en terre, pour les bassins de décantation des crasses de mine et pour bon nombre de zones d'éboulement dont le contrôle constant et continu serait par contre d'une importance capitale pour la sécurité des populations et la protection de l'environnement.

Il convient en outre de rappeler combien le contrôle des structures et des mouvements du terrain est à relier aux projets d'ouvrages ; les objectifs d'un programme de contrôle devraient être définis spécifiquement et le système des instruments devrait être méticuleusement décrit pour pouvoir en exploiter la potentialité.

Les fonctions de contrôle les plus courantes sont les suivantes :

1) Enregistrer les variations naturelles des terrains environnants avant de commencer un projet : conformation des couches, mouvement des terrains, phénomènes sismiques.

Les données ainsi recueillies doivent être prises en con-

Dans le Département Georessources et Territoire du Politecnico de Turin, on conduit depuis longtemps des études et des expérimentations méthodologiques pour résoudre le problème de la mesure des mouvements d'éléments structuraux et de points du terrain d'intérêt remarquable. Tout un ensemble de disciplines ont pour objet l'étude de la stabilité des structures et des versants et les techniques nécessaires pour les consolider.

Cette conférence présente les résultats obtenus des mesures pour le contrôle d'une zone morainique située à proximité de l'entrée du tunnel autoroutier du Fréjus et d'un éboulement dans la commune de Perrero (Vallée du Germanasca, Province de Turin).

sidération lors du projet et même comme base de confrontation pour évaluer les effets produits par la construction.

2) Garantir la sécurité pendant les travaux, par exemple, signaler les chutes de pierre ou le mouvement d'un éboulement ; signaler les valeurs de la pression des eaux de "surface" ou souterraines, contrôler les charges appliquées aux supports de soutien.

3) Contrôler les données et les hypothèses à envisager dans la phase de projet, par exemple prévoir l'enregistrement des mouvements des terrains soumis à des sollicitations.

4) Contrôle pour la réalisation effective d'opérations de renforcement des terrains et de la structure ; par exemple contrôle du mouvement des points d'ancrage et de soutien, mesure de la pression des fluides dans les terrains.

5) Contrôle dans la phase de fonctionnement ayant pour but d'assurer les opérations d'entretien qui doivent être immédiates et prévenir les phénomènes de dégradation plutôt que d'y apporter remède après qu'ils se sont manifestés.

Parfois un programme de contrôle doit être projeté pour atteindre deux de ces objectifs ou plus.

Quand les instruments sont en place avant le début des travaux, ils peuvent être utilisés pour fournir des données au projet, pour vérifier les conditions de sécurité au cours des travaux, pour vérifier la validité du projet lui-même et, dans un deuxième temps, les instruments peuvent être utilisés pour vérifier dans le temps le fonctionnement correct des structures.

Au département "Georiso se e Territorio del Politecnico di Torino", il y a déjà longtemps que sont en cours d'expérimentation des méthodologies pour la résolution du problème relatif à la mesure des mouvements d'éléments structuraux et de points du terrain dont l'intérêt concerne un ensemble de disciplines qui ont pour objet l'étude de la stabilité des structures des versants et les techniques qui en permettent la consolidation.

Un tel problème peut être résolu — tout en demeurant dans le cadre des disciplines qui vont de pair avec celles qui sont traitées dans ce congrès — par des mesures

topographiques, par des mesures géotechniques et par le levé photogrammétrique.

C'est le nombre des points à examiner, la précision requise dans l'évaluation des déplacements et la profondeur qui les caractérise, qui détermine à la base le choix des méthodes précédemment énumérées. En effet, dans le cas où il est nécessaire de déterminer les déplacements d'un nombre assez restreint de points avec une précision (erreur maximale) de quelques millimètres, dans une couche presque superficielle, la méthode topographique s'avère la plus adéquate. Dans le cas où la connaissance des mouvements des différentes couches du terrain est indispensable pour déterminer la surface préférentielle de glissement de l'éboulement, il est nécessaire d'utiliser des mesures inclinométriques. Enfin, quand la zone à contrôler est assez vaste et que la précision requise pour déterminer les déplacements est de quelques centimètres, il semble intéressant d'utiliser des méthodes photogrammétriques (photogrammétrie terrestre).

Le rapport illustre les expériences et les résultats obtenus dans le contrôle d'une zone morainique située à proximité de l'entrée du Tunnel Routier du Fréjus et dans le contrôle d'un mouvement d'éboulement localisé dans la Commune de Perrero (Turin).

Dans le premier cas, à proximité de l'entrée du tunnel, le versant présente une forte déclivité presque dépourvue de végétation et il est composé surtout de gisements morainiques (fig. 1).

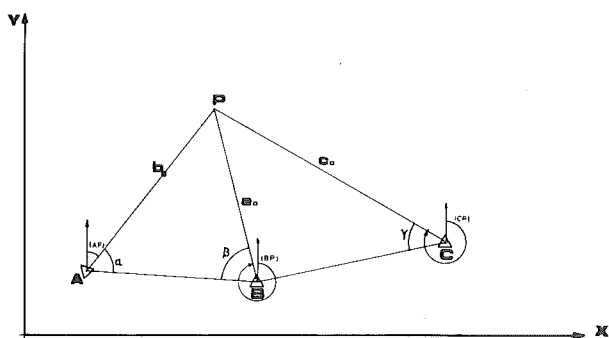


Figure 1

Après constatation que la zone à l'étude était sujette à un mouvement d'éboulement qui menaçait la partie initiale du percement du Tunnel, il apparaissait d'importance majeure d'exécuter toute une série d'opérations topographiques plano-altimétriques basées sur des points de repères placés à cet effet afin de vérifier et surtout d'évaluer les mouvements superficiels du terrain.

On a procédé au projet du réseau, considérant que par le terme de projet du réseau l'on n'entend pas uniquement le choix de la position des sommets sur la cartographie préexistante et le contrôle des visées à travers la reconnaissance sur le terrain. En effet, le projet consiste surtout à faire une analyse préalable de la précision qui pourra être obtenue dans la détermination des points concernés ; cette précision est influencée par la forme du réseau lui-même, le type et le nombre des mesures, enfin par la précision intrinsèque des instruments utilisés pour l'exécution de ces mesures.

Une telle procédure au niveau du projet apparaît d'autant plus importante qu'elle permet de contrôler de façon immédiate et avant exécution des mesures si les exigences de précision pourront être satisfaites et, si oui, quelle sera la méthodologie à utiliser et les instruments appropriés.

Dans le cas qui nous intéresse, pour le calcul de projet de chacun des points de repère P inséré dans la masse de l'éboulement, le procédé adopté était celui qui est mis

en évidence sur le schéma, où A, B et C représentent les points fixes placés dans une zone rocheuse loin du mouvement de l'éboulement (fig. 2).

En utilisant un programme de calcul qui exécute la compensation de façon rigoureuse selon le principe des moindres carrés, et capable de fournir les "ellipses d'erreur" pour chaque point, et en tenant compte que ces dernières permettent d'évaluer la variabilité de la position d'un point par rapport à la variation accidentelle des erreurs de mesures effectuées pour la détermination de coordonnées, on a pu vérifier que la précision voulue (erreur maximale 4 - 5 mm) était obtenue par l'exécution de mesures d'angles caractérisées par des écarts carrés moyens de l'ordre de 5 cc.

L'obtention des précisions de projet était garantie par des "ellipses d'erreur" avec des demi-axes supérieurs et inférieurs respectivement de 1,50 mm et 1,20 mm.

En effet, étant donné que l'ellipse fournit une représentation synthétique des positions possibles de chaque sommet considéré comme variable de type gaussien à deux dimensions X et Y, on peut affirmer qu'il existe 38 % de probabilité que la position elle-même soit comprise à l'intérieur de l'ellipse d'erreur et 99 % à l'intérieur d'une ellipse dont les axes sont 3 fois plus grands que ceux de l'ellipse d'erreur, donc que les points du réseau sont relevables avec une précision compatible avec celle qui avait été admise au départ dans le projet.

Dans la phase de reconnaissance sur le terrain, on a choisi la position des trois points fixes A, B, C dans la zone de stabilité maximale et des onze repères témoins, qui constituent autant d'autres sommets de contrôle, sur le versant sujet à éboulement.

Il convient par ailleurs de préciser que l'on a jugé indispensable de contrôler même en altimétrie les variations de position de ces sommets à cause de la forte déclivité du versant ; dans ce but, ces sommets ont été subdivisés en quatre groupes selon autant de lignes de niveau afin de permettre les opérations de nivellement géométrique le long de quatre lignes de nivellement.

Chacune de ces lignes est rapportée à un couple de repères Q placés sur roche à l'extérieur de la zone à contrôler (fig. 3).

Le balisage des points fixes a été effectué en construisant des petits piliers d'observation en béton armé sur chacun desquels a été fixée une plaque métallique pour le centrage forcé du théodolite.

Les points fixes pour les contrôles plano-altimétriques étaient constitués par des ronds en laiton filetés sur lesquels pouvaient se fixer des balises d'aluminium, terminées par une calotte sphérique, utilisables soit comme signal angulaire, soit comme base de calage de la mire pour les opérations de nivellement (fig. 4).

Evidemment les points fixes dont on a parlé étaient convenablement cimentés sur des semelles en béton armé, protégés par des tubes métalliques de 10 cm de diamètre avec des bouchons à vis.

Les déplacements ont été déterminés par des mesures successives d'angles azimutaux, le théodolite étant en station sur chacun des trois piliers A, B et C ; mesures d'observation qui ont été répétées au cours de trois campagnes à intervalle d'un an.

L'instrument utilisé était le Wild T3, les mesures d'angles ont été exécutées en opérant de façon rigoureuse et en effectuant en moyenne quatre répétitions pour chaque mesure d'angle.

Les valeurs des angles ainsi mesurés ont été introduites dans le programme COMPEN pour la compensation rigoureuse avec la méthode des moindres carrés. Un tel programme fournit en sortie les coordonnées absolues des points et les ellipses d'erreur de chaque point.

La comparaison des coordonnées ainsi calculées dans les trois séries d'observation a permis d'obtenir le tableau récapitulatif des déplacements (tab. 1).

DEPLACEMENTS PLANIMETRIQUES

Points de repère	1 levé - 2 levé	2 levé - 3 levé
3	3.8	6.7
2	3.6	5.1
1	4.6	11.7
4	3.2	2.0
15	2.7	7.6
13	5.6	8.9
6	1.9	10.4
10	4.3	8.0
8	8.9	10.8
12	6.5	11.0

Valeurs en mm $S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$

DEPLACEMENTS ALTIMETRIQUES

Points de repère	1 levé - 2 levé	2 levé - 3 levé	1 levé - 3 levé
1	- 20.6	- 10.5	- 31.4
2	- 1.0	- 3.1	- 4.1
3	- 0.3	- 0.6	- 0.9
4	- 7.4	- 3.7	- 11.2
5	- 8.3	- 3.1	- 11.4
6	- 3.3	- 0.6	- 4.0
8	- 1.9	- 3.7	- 5.7
10	- 6.2	- 1.7	- 7.9
12	- 2.9	- 5.8	- 8.8
13	- 6.8	- 4.9	- 11.7
15	- 3.1	- 1.7	- 4.8

Valeurs en mm

Tableau 1

Comme il a été déjà dit, la probabilité des déplacements est déterminée par les dimensions des ellipses d'erreur, qui dans le cas présent ont été de l'ordre du mm.

Des déplacements de l'ordre de 3 - 4 mm sont par conséquent significatifs (et ont dû, de fait, se produire).

Les lignes de nivellement géométrique ont été exécutées avec un niveau Wild N3 avec micromètre à lame à faces parallèles ; chaque ligne a été mesurée deux fois aller et retour ; les points sur roche étant considérés fixes, les déplacements altimétriques des points ont été déterminés par la différence des cotes relevées au cours des deux autres opérations de nivellement.

Lors de toutes les opérations de mesure il a toujours été vérifié que la dénivellée entre chaque couple de points sur roche (matérialisés par une agrafe métallique boulonnée et cimentée dans la roche) (fig. 5) placés aux extrémités de la ligne de nivellement reste rigoureusement compris dans un dixième de millimètre.

Les caractéristiques de précision des lignes de nivellement exécutées étaient telles que l'on pouvait considérer comme significatifs (et ayant dû, de fait, se produire) les déplacements ainsi déterminés lorsqu'ils sont de 0,2 mm.

Les variations partielles et globales, toutes de signe négatif, sont indiquées dans le tableau et regroupées selon les différentes séries de mesures (tab. 1).

La série des relevés exécutés a mis en évidence le mouvement d'une certaine portion du terrain soumis à contrôle et la quantification des déplacements s'est révélée d'un intérêt certain pour déceler la cause qui est venue altérer la topologie du terrain.

De plus, la répétition du relevé à intervalles réguliers en fonction de la vitesse de glissement a permis d'évaluer de façon complète le phénomène et par conséquent d'étudier les ouvrages de consolidation pour l'assainissement du versant en mouvement.

Ainsi que nous l'avons indiqué, pour déterminer les surfaces de glissement d'un éboulement, il est normalement nécessaire d'utiliser des mesures inclinométriques. Etant donné que les méthodologies utilisées dans le domaine topographique apparaissent d'une certaine façon complémentaire des méthodes géotechniques, il semblerait intéressant de les utiliser conjointement afin de contrôler globalement le mouvement éventuel d'éboulement.

Dans le deuxième cas, la surface mise à l'étude est située dans la Vallée Germanasca (Province de Turin) et concerne en grande partie l'agglomération de la Commune de Perrero.

L'instabilité a commencé à se manifester il y a déjà plusieurs années avec des effets diffus mais limités aux infrastructures, mais ce n'est qu'en 1977 qu'il y a eu un éboulement qui, tout en provoquant d'énormes dégâts dans le village, n'a pas causé des victimes.

En conséquence, aussi bien l'Administration de Perrero, que la Région Piémont, ont effectué toute une série de travaux de consolidation et ont procédé à la mise en place d'un ensemble d'instruments géotechniques comportant sept inclinomètres et quatre piézomètres pour le contrôle de l'éboulement et la recherche d'un plan possible de glissement préférentiel.

La présence de ces instru-

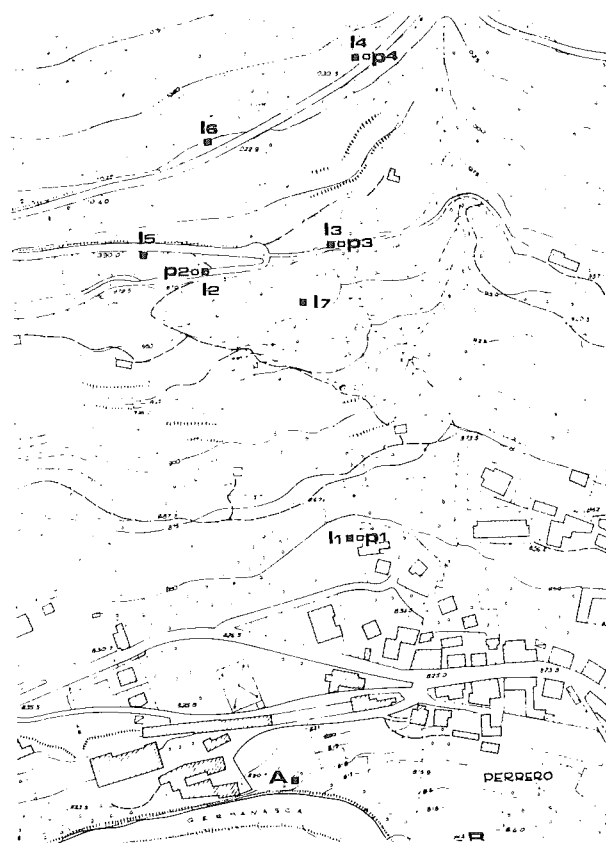


Figure 2

ments a fourni l'occasion d'associer les techniques inclinométriques à d'autres, ce qui a permis d'envisager une mise à l'étude de méthodes conjointes pour l'exécution des mesures.

L'étude a été menée donc selon trois directions :

a) projet d'un réseau topographique d'appui suivi d'un relevé des points de détail caractéristiques ;

b) examen des caractéristiques des instruments et des mesures effectuées ;

c) choix d'une méthodologie qui, faisant usage des deux types de mesures ci-dessus mentionnées, permette le contrôle constant et continu des mouvements de la masse d'éboulement.

Compte tenu des considérations générales sur le pro-

jet d'un réseau d'appui déjà exposées, la géométrie du relevé a été définie immédiatement ; en effet, vu la nature du terrain et les dimensions assez modestes de la zone à relever, on a réduit à un simple quadrilatère (fig. 8) le réseau optimal qui pouvait le mieux satisfaire les exigences finales ; celles-ci étaient de déterminer les coordonnées de quelques points, non concernés de toute évidence par l'éboulement, utilisables ensuite dans le relevé de détail.

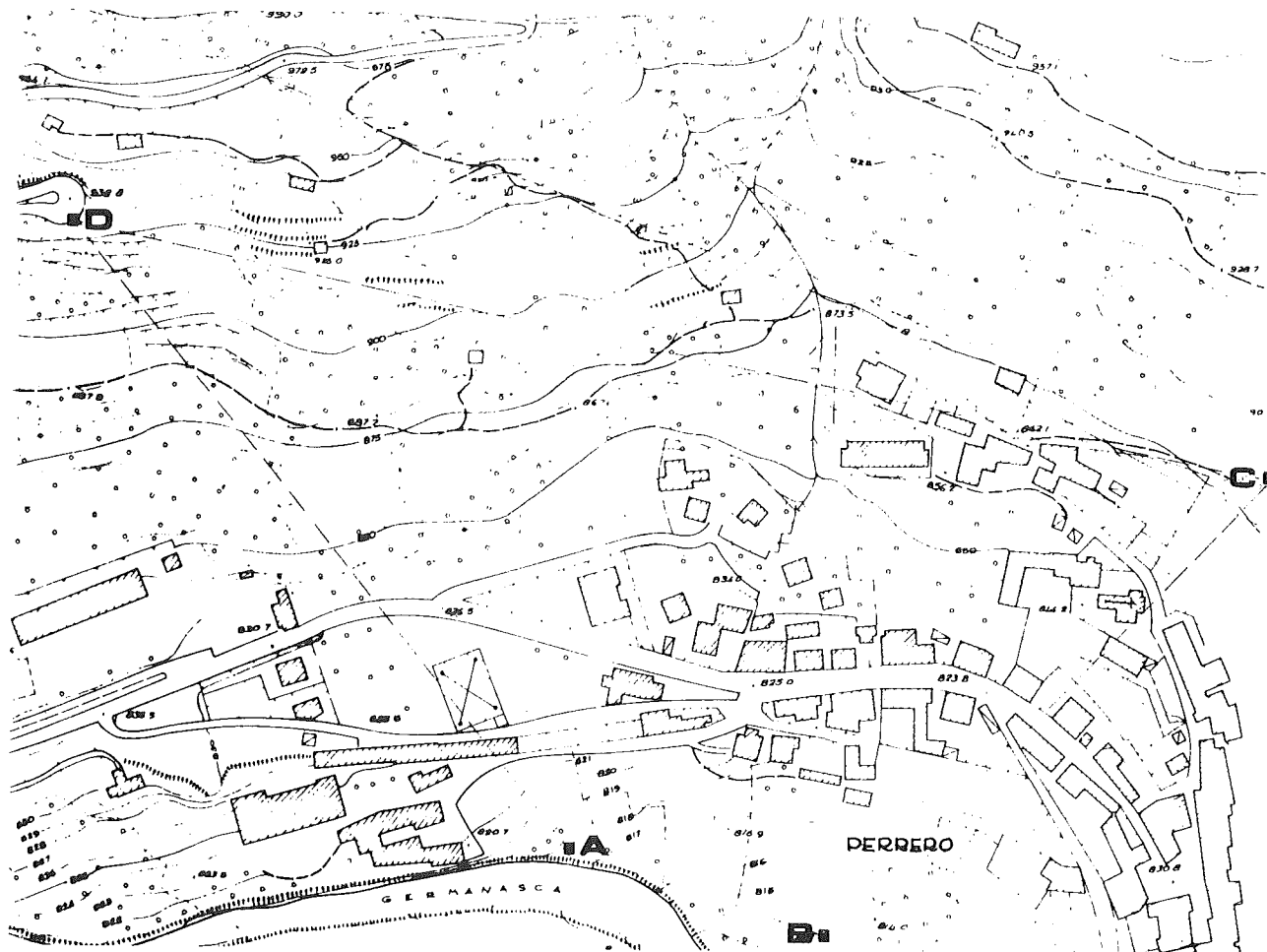


Figure 3

En supposant que l'exécution des mesures serait faite avec un théodolite Wild T3, avec un théodolite Wild T2 pour la mesure des angles, avec un distancemètre AGA mod. 14 et un distancemètre Wild D 10 pour les mesures des distances, on a examiné au niveau du projet les résultats vraisemblables avec les réseaux relevés en mesurant les angles seuls, les distances seules, les angles et les distances avec les instruments cités, et selon différents accouplements théodolite-distancemètre.

Le programme de calcul utilisé a permis de vérifier que les précisions voulues étaient obtenues par l'exécution conjointe des mesures d'angles et de distances caractérisées respectivement par des écarts carrés moyens de 5 cc et 5 mm. Ceci a été réalisable, dans le cas spécifique, par l'accouplement théodolite Wild T2 — distancemètre AGA 14.

Le schéma du réseau en projet et les mesures à effectuer sont visibles sur la figure.

Les extrémités de la base ont été matérialisées en construisant des petits piliers en béton, tandis que pour les points C et D, on a utilisé des repères métalliques scellés sur les ouvrages existants.

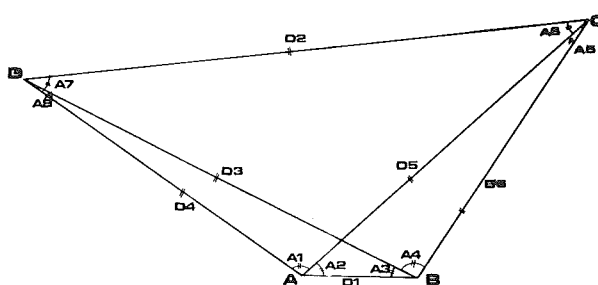


Figure 4

Les mesures d'angle ont été exécutées minutieusement et en effectuant en moyenne quatre réitérations pour chaque mesure d'angle azimutal et trois répétitions de mesure pour chaque angle zénithal.

La mesure de la distance a été effectuée avec un distancemètre AGA mod. 14 à trois prismes de réflexion, en tarant l'instrument en fonction des températures et des pressions relevées avant, pendant et après les opé-

rations de mesure aussi bien au niveau du point de station que du réflecteur.

Afin de vérifier la stabilité des points fixes, deux campagnes de relevés ont été effectuées à une distance de 6 mois environ, les résultats obtenus figurent dans le tableau qui suit (tab. 2).

COORDONNEES DES POINTS

Point	Premier levé		Deuxième levé	
	X mètres	Y mètres	X mètres	Y mètres
A	0.000	0.000	0.000	0.000
B	120.247	0.000	120.241	0.000
C	294.625	268.127	294.621	268.135
D	- 299.815	188.327	- 299.823	188.349

ELEMENTS DE L'ELLIPSE STANDARD

Premier levé

Point	Inclination axe gon	Demi-axe supérieur mètres	Demi-axe inférieur mètres
B	0.00	0.0065	0.0000
C	39.4334	0.0081	0.0040
D	173.9361	0.0080	0.0039

Deuxième levé

Point	Inclination axe gon	Demi-axe supérieur mètres	Demi-axe inférieur mètres
B	0.0000	0.0025	0.0000
C	40.2238	0.0039	0.0019
D	173.9361	0.0031	0.0013

Tableau 2

MESURES D'ANGLES

Premier levé

Angles	Réitération	Moyenne	ECM
BAC	4	47.0035	± 3
CAD	4	117.2987	± 4
CBD	4	109.8766	± 3
DBA	4	26.8310	± 3
BDC	4	35.3280	± 3
ADB	4	8.8790	± 4
DBC	4	54.8009	± 4
BCA	4	16.2899	± 3

Deuxième levé

BAC	4	47.0052	± 4
CAD	4	117.2870	± 2
CBD	4	109.8745	± 3
DBA	4	26.8330	± 4
BDC	4	35.3290	± 3
ADB	4	8.8730	± 3
DCB	4	54.8005	± 3
BCA	4	16.2883	± 3

MESURES DES DISTANCES

Premier levé

Côté	Distance inclinée	distance horizontale	ECM
BA	120.382	120.250	± 5
AC	406.288	389.354	± 5
AD	372.213	354.060	± 5
DA	372.670	354.060	± 5
BD	476.166	460.336	± 5
BC	331.089	319.850	± 5
DC	600.881	599.782	± 5

Deuxième levé

AB	120.378	120.258	± 5
BA	120.365	120.245	± 5
AC	406.303	398.368	± 5
AD	372.653	354.081	± 5
DA	372.692	354.081	± 5
BD	476.208	460.348	± 5
BC	331.086	319.867	± 5
DC	600.896	599.787	± 5

Tableau 2

Pour le relevé de détail, huit points opportuns ont été choisis, localisés à proximité des ouvrages d'art construits pour la consolidation de l'éboulement, près des deux tubes inclinométriques et sur des détails morphologiques assez importants.

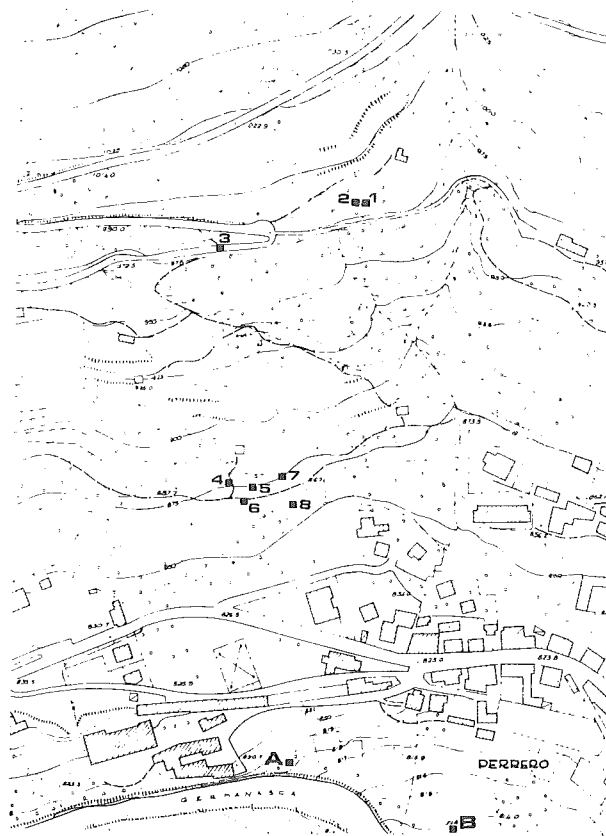


Figure 5

La matérialisation des points dans la masse de l'éboulement a été exécutée en effectuant une perforation de 1,60 m de profondeur qui a été remplie ensuite de béton

avec une armature appropriée ; dans la partie supérieure a été introduite une butée en acier pour mettre en place le signal. Pour les points situés près des tubes inclinométriques, les repères topographiques ont été posés en utilisant le collier du tube aménagé spécialement pour recevoir le signal, tandis qu'un dernier signal topographique a été placé sur un mur de soutènement en enfonçant avec un pistolet un tube fileté.

Le schéma du relevé a été celui de l'intersection et les différents résultats sont recueillis dans les tableaux (tab. 4).

COORDONNEES SOMMETS DE DETAIL

Point	X mètres	Y mètres
1	- 103.571	372.621
2	- 108.800	369.174
3	- 184.574	308.034
4	- 117.640	162.153
5	- 101.595	165.837
6	- 103.812	152.530
7	- 85.967	181.854
8	- 70.873	164.281

ELEMENTS DE L'ELLIPSE STANDARD

Point	Inclination axe gon	Demi-axe supérieur mètres	Demi-axe inférieur mètres
1	127.7308	0.0034	0.0015
2	133.3206	0.0058	0.0021
3	136.0478	0.0039	0.0012
4	149.9216	0.0054	0.0009
5	142.7810	0.0014	0.0003
6	140.3593	0.0024	0.0003
7	130.9383	0.0046	0.0006
8	135.2909	0.0022	0.0005

Tableau 4

Comme il a été dit avant, afin d'acquérir des éléments ultérieurs de connaissance, on a disposé quelques tubes inclinométriques et piézométriques dans la masse de l'éboulement en adoptant le critère de créer des postes de mesures dotés à la fois d'un inclinomètre et d'un piézomètre à peu de distance l'un de l'autre.

Sans vouloir m'attarder ici sur le bien-fondé des mesures inclinométriques, je rappellerai que l'inclinomètre est un instrument apte à mesurer des inclinaisons et qu'il est fondamentalement constitué d'un dispositif qui fournit à la sortie un signal proportionnel à l'angle de déviation de son axe par rapport à la verticale passant par le stationnement, et d'une petite centrale de mesures capable d'en visualiser l'ampleur.

Pour le contrôle de l'éboulement il s'est avéré nécessaire d'installer dans des trous exécutés jusqu'à l'intérieur de la roche intacte à la base, à une profondeur de 50 mètres environ, des tubes de glissement pour la torpille qui porte à son bord les instruments de mesure.

Dans les figures sont reproduits quelques résultats des mesures référés à trois inclinomètres ; leur lecture met en évidence un plan de glissement général qui coïncide avec le toit de la formation rocheuse et concerne la partie superficielle la plus fracturée de celui-ci (fig. 12).

En conclusion, on peut formuler quelques considérations parallèles sur les deux méthodologies :

La méthode topographique fournit des éléments sûrs de connaissance des mouvements dans les couches superficielles ; elle utilise des instruments au coût assez élevé et un personnel hautement qualifié, implique des temps d'exécution assez longs pour obtenir des résultats, mais représente un coût d'implantation certainement modique. La méthode géotechnique fournit des éléments d'évaluation sur le mouvement des couches souterraines, utilise des instruments au coût assez raisonnable, un personnel qui n'est pas forcément très qualifié et a des temps d'exécution très rapides, mais des coûts d'implantation (mise en place des tubes inclinométriques) nettement élevés.

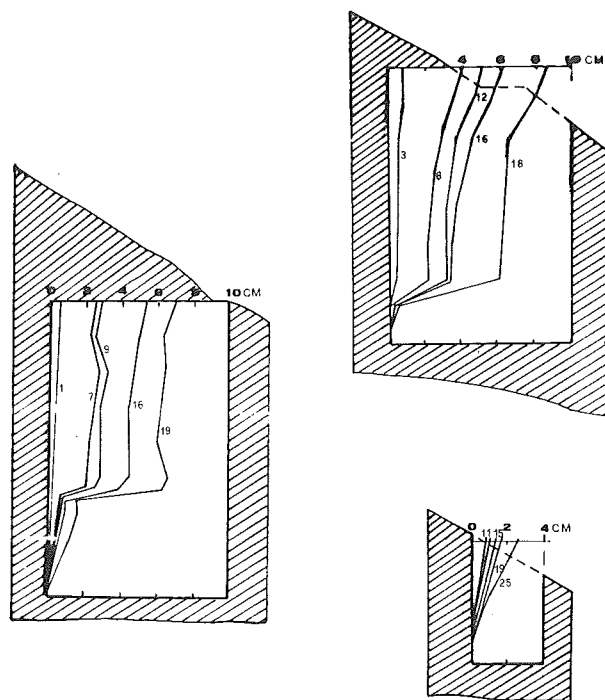


Figure 12

Il apparaît par conséquent évident que dans le cadre de la problématique générale d'un plan pour le contrôle d'un mouvement d'éboulement, il faudrait considérer trois phases distinctes et complémentaires ; dans la première phase, il faudrait prédisposer un réseau topographique d'appui avec des points de repère non impliqués par le mouvement en cours et qui permette à tout moment des contrôles à l'intérieur de l'éboulement ; une deuxième phase qui prévoit la mise en place de tubes inclinométriques en position optimale du point de vue topographique ; une troisième phase qui consiste à déterminer un ensemble d'autres points sur des détails morphologiques ou sur des ouvrages d'art d'intérêt géotechnique certain et de relevé facile.

Compte tenu de ce projet, les opérations de mesure pourraient suivre une organisation précise ; tout d'abord le relevé du réseau d'appui, ensuite les mesures inclinométriques à intervalles de temps réguliers et jusqu'à obtention de résultats significatifs immédiatement contrôlables par le relevé topographique de détail.

En effet, les mesures inclinométriques s'appliquant à des couches souterraines qui, de fait, empêchent un contrôle effectif des résultats, un contrôle topographique immédiat pourrait donner aux valeurs obtenues la fiabilité maximum étant bien entendu que la présence du réseau topographique d'appui permet un contrôle ultérieur et constant du mouvement dans son champ.

Les risques d'avalanches

par Claude CHARLIER

Chargé de l'analyse des risques à la division Nivologie - CEMAGREF

Pour la plupart d'entre nous, le terme Avalanche est immédiatement, et presque irréductiblement, associé à une notion de Danger.

Pour ceux qui ont quelques raisons d'y être effectivement confrontés ou directement impliqués, le problème consiste à savoir "Comment s'en protéger ?"

Voici soulignée toute l'importance de la question posée de la Prévention du risque d'avalanche.

Le cadre de cet exposé ne permet évidemment pas de traiter l'intégralité de ce sujet. Il s'agit seulement d'examiner les points où l'art et la science des topographes peuvent concourir à développer notre connaissance du phénomène, et aider à la gestion rationnelle des risques par les responsables chargés d'assurer la sécurité des personnes et des biens exposés.

Mais dans un premier temps, rappelons quelques généralités sur le phénomène Avalanche et sur la manière de l'appréhender par les spécialistes du domaine.

Qu'est-ce qu'une avalanche ?

Cette interrogation présente aujourd'hui paradoxalement le plus grand intérêt car nous assistons justement depuis quelques mois à la naissance d'un nouveau regard porté sur leur domaine par les spécialistes nivologues eux-mêmes.

En effet, l'une des premières conséquences, inattendue, d'une étude destinée à construire un Système-Expert capable d'aider à l'analyse des sites soumis à des risques d'avalanches, fut l'obligation de reconsidérer les concepts habituels, les termes consacrés, les classifications admises, les notions élémentaires dans le souci d'y apporter plus de précision et plus de cohérence. Cette réflexion a conduit non seulement à la réalisation d'un glossaire rénové, mais aussi, à la révision des méthodes d'analyse, des modes de raisonnement, des chaînes de déduction habituelles, de la représentation des connaissances traditionnellement employés en nivologie.

Sans ce nouvel éclairage, la définition elle-même de l'avalanche se transforme et devient : "phénomène natu-

rel consistant en un déplacement gravitaire rapide d'une masse de neige importante".

Son avantage réside dans la formulation en terme de mouvement de masse, et non plus comme c'était le cas des innombrables définitions et classifications d'avalanches, existantes, selon la forme du culot de neige déposé, ou du type de déchirure en zone d'accumulation, ou du nombre de strates affectées du manteau neigeux, ou encore de la structure de la neige en mouvement...

L'expression et la description de l'avalanche d'une manière dynamique autorisent alors une approche réellement scientifique, et, partant, le calcul des efforts produits par les avalanches sur des structures placées dans leur trajectoire, et notamment la conception d'ouvrages de protection paravalanche ou le renforcement des équipements exposés.

De même la forme du phénomène avalancheux varie selon des facteurs fort divers : géométrie et dimensions du site, conditions nivométéorologiques, circonstances du déclenchement, constitution et cohésion du manteau neigeux..., mais plus particulièrement aux yeux du spécialiste chargé d'évaluer la nature et l'ampleur du risque d'avalanche, en raison de son "type d'écoulement".

L'importance de ce facteur est aujourd'hui jugée prépondérante. Il intègre d'ailleurs les effets de la plupart de tous les autres puisqu'il en est, en quelque sorte, la conséquence.

Or, les experts dotés de leur savoir empirique, et les physiciens munis des résultats de calculs théoriques, se sont retrouvés dans le classement des différents types d'écoulement des avalanches définies dans l'approche système expert. C'est ainsi que tous peuvent être décrits, d'un point de vue macroscopique, dans l'une des cinq catégories suivantes :

1 — Ecoulement de plaque ou de solide :

Une partie de la neige en mouvement est constituée de gros blocs sous forme de séracs ou de morceaux de plaque ; ce type d'écoulement caractérise souvent le départ de l'avalanche.

2 — Ecoulement laminaire ou visqueux :

Semblable à celui d'une lave volcanique, sans turbulences internes, si bien que la matière conserve une certaine organisation pendant le mouvement ; nécessite généralement une neige dense à cohésion élevée.

3 — Ecoulement granulaire :

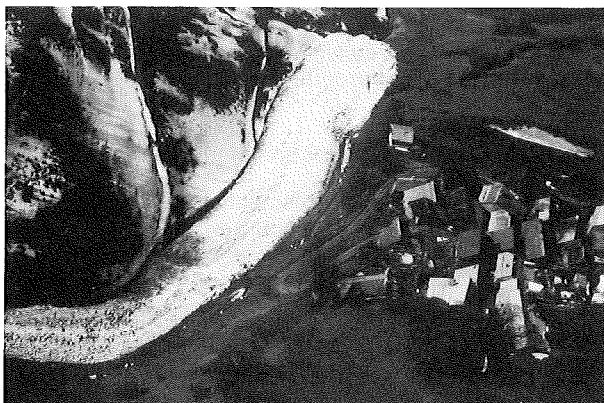
La neige en mouvement est granulaire à faible cohésion, c'est-à-dire sans liaison entre particules ; les échanges internes restent principalement d'ordre mécanique : chocs entre grains.

4 — Ecoulement en suspension :

Fortement turbulent, début d'incorporation d'air, formation d'un panache (turbo-train !), apparition possible de bouffées locales, caractérisent cette forme d'écoulement ; il représente souvent l'état critique du suivant.

5 — Ecoulement à aérosol ou nébuliforme :

En raison de la formation d'un nuage de neige (densité inférieure à 10 kg/m³) ; l'avalanche paraît progres-



L'avalanche parfois menace même les vieux villages.



L'étude des sites d'avalanches et la mesure de l'évolution du volume des glaciers nécessitent des lois topographiques précises et spécifiques.

ser sur un coussin d'air à grande vitesse et développer un front de grande hauteur. Elle obéit à des lois dynamiques différentes des précédentes.

Toutes les avalanches, et pour chaque avalanche chacune des phases de son écoulement, trouvent leur description dans l'un des cinq types d'écoulement.

Et là encore, la possibilité d'une approche scientifique constitue le grand intérêt de ces définitions. Les lois de la dynamique s'appliquent à ces écoulements et l'on peut établir des formules mathématiques caractéristiques du mouvement des avalanches et calculer ces divers paramètres pour procéder à des simulations ou à des modélisations, ou estimer soit la valeur des efforts produits, soit la géométrie de l'emprise du phénomène, la connaissance de ces critères, rappelons-le, restant indispensable à l'expert nivologue généralement consulté pour conseiller et proposer la meilleure solution de protection.

Grâce à cette nouvelle formulation des définitions élémentaires et la généralisant à toute la logique des analyses des risques d'avalanches, l'ensemble des concepts et des paramètres habituellement maniés par le spécialiste trouvent ou doivent trouver leur redéfinition adaptée. Ce travail se poursuit, il est long, délicat et difficile mais passionnant.



L'occupation récente de la montagne entraîne une obligation de protection contre les avalanches : ici, à l'arrière plan, dispositif d'ouvrages paravalanches.

Mais, et les topographes ?

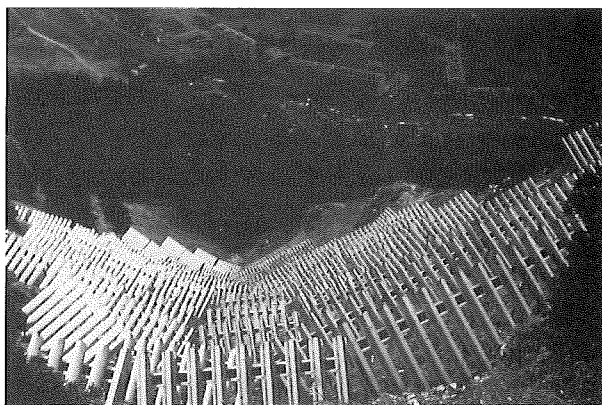
Leurs techniques sont employées et développées en nivologie sous les formes et à des niveaux les plus divers : soit à l'occasion des expertises, sachant que leur champ s'étend de l'analyse du site et de l'histoire des évé-

nements produits dans le passé jusqu'à la proposition d'une technique de protection jugée la plus raisonnable et la plus judicieuse, en passant nécessairement par l'estimation de scénarii des phénomènes majeurs potentiels et par la sélection de stratégie paravalanche adaptée ; soit au cours des actions de recherche et des expérimentations.

Il est possible de les regrouper sous quatre rubriques :

1 — Les techniques et méthodes topographiques traditionnelles sont utilisées d'une façon tout à fait banale :

- choix et rattachement à la triangulation générale de repères de référence pour le levé des langues d'avalanches pénétrant les périmètres d'observation préalablement déterminé (OPA) ;
- levé des emprises, mesure des caractères de la géométrie des couloirs d'avalanches et implantation précises d'ouvrages paravalanches ;
- transmission des mesures et conception de méthode de calcul et de dessin automatique grâce à l'informatique ;
- adaptation des techniques de cartographie numérique pour la mise à jour des Cartes de Localisation Probable des Avalanches (CLPA) ;



Rateliers paravalanches protégeant une station de ski.

- recherche en synthèse d'image pour l'étude et l'archivage de divers plans de zonage des risques d'avalanches : Plans des Zones Exposées aux Avalanches (PZEA) et Plans d'Exposition aux Risques prévisibles (PER) ;

— parfois ces travaux de topographie usuelle se singularisent en raison de l'environnement où ils sont pratiqués : en effet, l'implantation de Câbles Transporteurs d'Explosifs (CATEX) destinés à réaliser des déclenchements préventifs artificiels d'avalanches, nécessite des levés précis en très haute montagne le long des arêtes les plus inaccessibles... ou encore le suivi de l'évolution du volume des glaciers oblige à placer et rattacher des balises de références aux plus hautes altitudes pour permettre des études photogrammétriques.

2 — Topographie, télédétection et photo-interprétation

- à l'occasion de l'établissement des Cartes d'avalanches avec le concours des techniciens de l'Institut Géographique National (IGN) ou des différents plans de zonage déjà cités ;

— étude, conception et réalisation de couverture en photographies aériennes pour des besoins spécifiques souvent liés à des opérations de recherche ;

- suivi du développement de l'imagerie satellitaire en vue d'éventuelles applications à la nivologie.

3 — Topographie et Système-Expert

Nous l'avons vu, la grande majorité des données observées par les experts en avalanches peuvent se représenter sous une forme graphique et sont liées à la géométrie du site étudié. L'emploi et la mise au point de modèles numériques de terrain adaptés à nos travaux est inéluctable : l'équipement en conséquence des services est actuellement à l'étude.

4 — Techniques de la photogrammétrie

Ici encore, depuis quelques années, l'usage des méthodes photogrammétriques s'est développé à la Division selon plusieurs directions :

— comme outil de recherche : quand par exemple il s'agissait de caler en vraie grandeur la valeur de certains paramètres déterminés sur des modélisations physiques ou numériques de la dynamique des avalanches. En effet, la vitesse du front de l'avalanche, et le volume de la neige en mouvement déterminant la densité, sont deux des paramètres significatifs qui permettent le calcul des pressions développées par l'avalanche. Leur mesure in situ sur des avalanches réelles déclenchées artificiellement n'est rendue possible que par l'étude photogrammétrique de couples stéréoscopiques pris à cadence rapide. Des résultats satisfaisants ont d'ores et déjà été obtenus ;

— en remplacement d'anciennes méthodes de mesures "manuelles" longues, onéreuses, imprécises, incom-

plètes et quelquefois aléatoires, comme par exemple dans l'opération du suivi de l'évolution des glaciers alpins français. Depuis 10 ans, la méthode a été totalement renouvelée : une campagne de quelques journées consistant à placer des repères sur le périmètre des zones glaciaires, suivie d'une couverture photographique aérienne permettant l'observation stéréophotogrammétrique, remplace de longues semaines de levé de terrain en fournissant des informations plus riches, plus précises et à un moindre coût.

Pour conclure cet exposé, rapportons une anecdote soulignant le degré d'implication de la topographie dans le domaine des avalanches.

Au cours de la décennie 1970, le glacier de Taconnaz à Chamonix, a montré un gonflement de sa langue terminale. Or, une avalanche connue, le parcourant régulièrement, était jusque-là, systématiquement rejetée sur sa gauche par une moraine latérale formant une digue de déviation naturelle et protégeant ainsi tout un groupe d'habitation. L'élévation du glacier au niveau de la moraine a légitimement soulevé les craintes des habitants du village qui ont demandé une enquête de sécurité.

Hé bien, la prescription de sécurité définie par l'étude des risques, fût la surveillance du gonflement du glacier ! C'est-à-dire la mise en œuvre d'un suivi topographique précis de la langue glacière de manière à signaler le moment où la moraine ne pourrait plus détourner l'avalanche...

Assemblée générale ordinaire 1986 de l'Association Française de Topographie

CONVOCATION

Les membres de l'Association Française de Topographie sont convoqués à l'Assemblée Générale Ordinaire annuelle qui se tiendra le :

Mercredi 10 décembre 1986 — 9 h 30

dans les locaux de :

L'Ecole Nationale des Sciences Géographiques
Salle Robert Genot
2, avenue Pasteur, 94160 Saint-Mandé
Métro Saint-Mandé (ligne n° 1)

sur l'Ordre du Jour suivant :

- Ouverture de l'Assemblée Générale par le Président.
- Compte rendu de l'Assemblée Générale Extraordinaire du 29 octobre 1986.
- Nomination de deux vérificateurs aux comptes.
- Nomination d'un Président du Bureau de vote et de deux scrutateurs pour le dépouillement des votes à l'élection des membres du Conseil.
- Vote pour l'élection de membres nationaux supplémentaires au Conseil de l'Association.
- Rapport moral par le Secrétaire Général.
- Rapport financier par le Trésorier.
- Fixation du montant des cotisations pour 1987 et 1988.
- Membres d'Honneur.
- Questions diverses.
- Résultat du Vote.
- Clôture de l'Assemblée Générale.

Le vote par correspondance étant admis, les membres de l'Association recevront en temps utile le bulletin de vote portant la liste des candidats.

Prévention des risques technologiques, l'auscultation

par Jean COMBE et Gérard CHAZALET, Electricité de France

Résumé

L'auscultation est un ensemble de techniques permettant de s'assurer constamment du bon comportement des ouvrages d'art et du sol qui les supporte. A ce titre elle est un des moyens de prévention des risques technologiques majeurs.

L'auscultation utilise diverses techniques visuelles,

mécaniques, électriques ou électroniques : la topographie y apporte une excellente connaissance des déplacements et déformations des ouvrages, associée à la rigueur et la précision des mesures ; elle figure presque toujours dans le dispositif d'auscultation.

Les auteurs se proposent de développer ces divers aspects, en prenant des exemples dans l'ensemble des ouvrages construits par Electricité de France.

Notre colloque a pour thème aujourd'hui la topographie dans la prévention des risques naturels et technologiques majeurs. On a jusqu'ici beaucoup évoqué les risques naturels. Notre intervention portera sur les risques technologiques dans un cadre un peu restreint, qui est celui de nos travaux quotidiens, en évoquant les diverses méthodes d'auscultation qui constituent très souvent une réponse aux questions posées.

I. Généralités

Les risques technologiques sont inhérents à toute activité de l'ingénieur. Construire un pont ou un barrage, c'est défier l'ordre normal de la nature ; creuser une route à flanc de coteau ou percer une galerie ne se fait pas sans bouleverser l'équilibre naturel du terrain. Que dire alors d'installation telle que les centrales nucléaires où en plus la contamination radioactive n'est pas absente. Dans tous les cas, les ingénieurs qui conçoivent le projet prennent en compte tous les éléments nécessaires (géologie, topographie du site, résistance des matériaux et des sols, étude de béton, de mécanique...) et de bons coefficients de sécurité qui assurent encore leurs calculs. Alors comment se fait-il que des risques demeurent ? car il en demeure ! On voit encore des barrages se rompre, des ponts se fissurer, voire s'écrouler, etc...

L'analyse des faits montre que bien souvent c'est un détail oublié, ou une modification brutale de conditions naturelles qui entraîne la ruine d'un ouvrage. Coyne disait "quand j'étudie un barrage, je suis sûr du béton mais jamais du sol qui le supporte". Il a suffi parfois d'une venue d'eau, ou, à l'inverse, d'une sécheresse, ou d'un élément géologique minime non pris en compte pour provoquer la catastrophe.

Ces risques sont d'abord pour les populations, c'est bien évident. Pensons à Fréjus en 1959, 300 morts à la suite de la rupture de Malpasset. Mais ces risques sont aussi financiers, par exemple, une tour de réfrigération qui s'écroule, ou encore l'écroulement du pont de Tours le 9/4/1978 entraînant la nécessité de construire 2 ponts Bailey et bloquant la circulation pendant 5 ans.

II. L'auscultation

Contre ces risques, une solution a été depuis longtemps envisagée, c'est l'auscultation, c'est-à-dire la comparaison constante de la réalité avec les quantités prévues par les calculs. Par exemple, un barrage n'est jamais totalement étanche ; il y a des fuites que l'on suit attentivement et surtout leur variation ; de même un barrage en béton se déformera lentement sous la poussée de

l'eau. Ceci aussi est prévu au calcul et on vérifie qu'il n'y a pas d'écart entre la réalité et les calculs.

Des considérations générales concernant l'auscultation peuvent être résumées comme suit :

II.1 Quand ausculter ?

Il faut à notre avis distinguer 4 périodes essentielles dans l'étude et la réalisation d'un ouvrage pour lesquels les dispositifs de mesures et d'auscultation ne sont pas forcément identiques.

II.1.1 *Avant la construction*, il faut s'assurer que le sol qui va recevoir l'ouvrage ne subit pas déjà des mouvements naturels. Divers dispositifs sont possibles, mais ils doivent demeurer simples, adaptés au mieux à l'idée que l'on a du phénomène à mesurer.

II.1.2 *Pendant la construction*, le fait même de construire modifie déjà le site, les fouilles, le poids propre de l'ouvrage entraîne déjà des modifications et déformations du sol.

Là, le dispositif doit surtout être robuste, bien protégé car il faut qu'il résiste aux agressions causées par le déroulement du chantier.

II.1.3 *A l'essai de l'ouvrage*, c'est bien évident qu'il faut essayer un ouvrage avant de le remettre au grand public. Par exemple, un pont nouveau n'est autorisé à la circulation que lorsque des essais de charge (gros camions remplis de gravier) sont effectués.

Ici on aura besoin d'un dispositif léger qui ne servira qu'une fois, mais qui doit être parfaitement fiable.

II.1.4 *Pendant la vie de l'ouvrage*, on aurait tendance à croire que puisque l'ouvrage a été essayé et qui a donné satisfaction, on n'a plus de raison de s'inquiéter et qu'il vivra tranquillement pendant des années, voire des siècles. Faux. Il se dégrade doucement, lentement et sûrement, d'où la nécessité d'un dispositif d'auscultation pérenne, parfaitement reproductible, pouvant durer plusieurs années et de visites périodiques (car rien ne remplace l'œil humain).

II.2 Dans quel esprit ausculter ?

Tout d'abord, il faut être conscient que l'auscultation ne peut être un travail de routine ; il faut constamment être en éveil. Certaines règles générales s'imposent :

- nécessité d'une compétence et d'une conscience professionnelle à toute épreuve ;

- vérification permanente de chaque donnée ou de chaque mesure : on ne peut imaginer un topographe rentrant au bureau sans avoir vérifié la fermeture d'un cheminement ou d'un tour d'horizon ;

— surabondance des mesures. Tout doit être fait deux fois systématiquement : on verra aussi que cela est important dans les calculs ;

— nécessité du recoupement avec d'autres méthodes, les déformations observées par exemple par géodésie, doivent se vérifier par des mesures au pendule, à l'inclinomètre, voire à l'extensomètre...

II.3 Comment installer un système d'auscultation ?

Les exemples sont volontairement limités à la topographie. Encore des généralités mais utiles.

— Le système doit être simple. L'expérience montre que des appareillages compliqués, dont on ne connaît pas le comportement à long terme sont à rejeter. Ceci ne semble pas militer en faveur de techniques nouvelles mais il faut avoir le courage d'installer un système nouveau en parallèle à un ancien, et de le tester longtemps.

— Le système doit être fiable. Ceci est très important, en effet pour pouvoir suivre avec précision l'évolution ou la stabilité d'un ouvrage, il est impératif que les mêmes mesures soient faites. Donc il est quasiment impossible de changer de système en cours de route ce qui implique pérennité et fiabilité de tout le dispositif. Il en résulte qu'aujourd'hui, on ausculte encore des ouvrages avec des méthodes de 1960 et que les dernières techniques ne sont pas forcément employées.

III. Méthode d'auscultation

Ce vocable qui relève de la médecine a été utilisé pour la première fois par J. Coyne. En fait, il est assez exact puisque comme un médecin on observe un objet de façon à établir un diagnostic, voire à prescrire des remèdes.

Il existe de nombreux textes concernant l'auscultation, notamment, pour les barrages, avec des règlements assez précis pour prévenir les populations civiles en cas de danger... Ils ont été déjà évoqués par Maurice Dauge dans son exposé à Tours en 1978.

On sait aussi que l'analyse des résultats d'une auscultation, même si rien ne se passe, est riche d'enseignements pour les générations futures. C'est pourquoi il convient de conserver tous les résultats de ces travaux et d'équiper systématiquement tous les ouvrages d'un dispositif dès lors que quelque risque de mouvement ou de déformation peut être envisagé.

A titre d'exemple, en ce qui concerne EDF sont auscultés :

- dans le domaine hydraulique, les barrages, les appuis, les carrières, les usines souterraines, les galeries et les ouvrages d'art (pont, tunnels, aqueducs, etc...) ;
- pour le nucléaire, les radiers d'ouvrages, le réacteur, le tube transfert, les tables de groupe turbo-alternateur, les réfrigérants, etc...

Chacun de ces ouvrages comporte un système approprié et il serait fastidieux et impossible de les décrire tous dans le temps qui nous est imparti.

Cependant, la topographie y occupe une place très importante notamment avec trois techniques essentielles, le nivellement, la géodésie, la photogrammétrie. Rappelons brièvement les autres techniques qui complètent ou corroborent les résultats topographiques.

III.1 Inspection visuelle, fondamentale dans la mesure où elle est réalisée par un spécialiste, elle permet de détecter les fissures, éclats du béton, suintement, résurgence, tâche de rouille due à l'oxydation des aciers, etc... et conduire à des mesures de confirmation (alcali-réaction-p.e.).

III.2 Mesure des débits de fuite pour les ouvrages hydrauliques. Nous avons déjà évoqué cette question dans l'introduction. Il existe divers matériels plus ou moins sim-

ples depuis le seau et le chronomètre, jusqu'à l'enregistrement automatique et la télétransmission.

III.3 Suivi de la nappe phréatique

Il s'agit de mesures de niveau d'eau dans une série de piézomètres disposés judicieusement autour de l'ouvrage et de voir les variations de la nappe phréatique en fonction de la pluviométrie, d'où une analyse pouvant conduire à la détection d'anomalie. Pour les centrales nucléaires, la mesure de la hauteur se double d'une analyse de l'eau des piézomètres. S'il s'avérait que la teneur en un produit quelconque soit supérieure au taux prévu, cela signifierait qu'il y a une fuite dans le circuit d'eau, dans la partie vive de l'installation (piscine p.e.) et éventuellement dans le béton.

III.4 Mesure de pression

Une foule de systèmes existe, qui mesurent la pression interstitielle ou la pression totale dans les barrages en enrochement ou les grands talus. Là aussi toute variation significative est repérée (fig. 1).

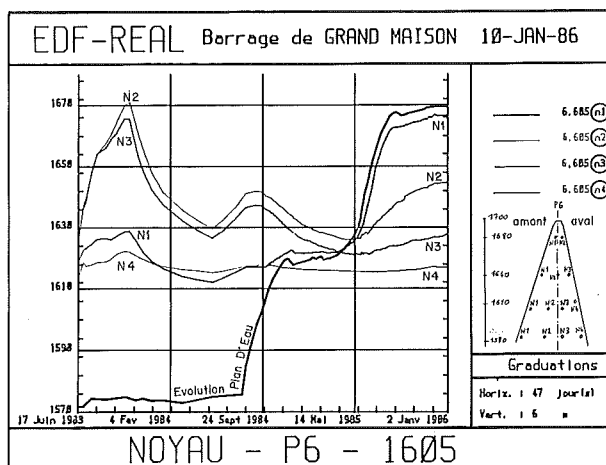


Fig. 1 — Mesure des pressions internes à Grand-Maison

III.5 Inclinométrie (fig. 2)

On imagine l'impact que peut provoquer une vague consécutive à l'éboulement d'une structure naturelle instable dans une retenue pleine. La mesure des déplacements

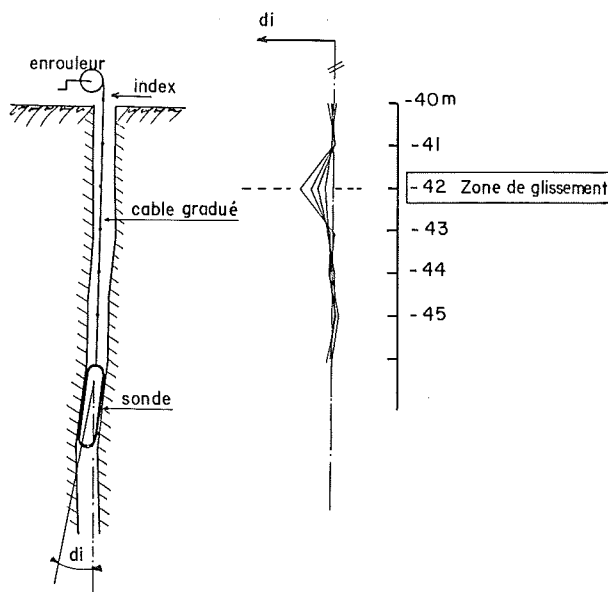


Fig. 2 — Inclinométrie dans un forage vertical tube

ments horizontaux par inclinométrie, à partir d'un forage vertical, détermine le cercle de glissement et permet d'évaluer la masse en rupture d'équilibre.

Un tube vertical, rainuré, scellé au terrain, guide une sonde équipée d'un servo-accéléromètre. La sonde mesure son inclinaison par rapport à la verticale.

L'inclinomètre est descendu dans le tube à l'aide d'un câble gradué en 1/2 mètre repérant ainsi le niveau de la mesure.

Deux mesures en opposition sont effectuées. L'angle d'inclinaison ainsi mesuré est corrigé de la demi-différence des valeurs lues pour un même niveau.

Résolution de l'appareil : 10^{-4}

Précision de la mesure : 10^{-3} (donnée constructeur)

III.6 Télécaptur de déplacement et canne de convergence

Ces deux appareillages, développés par le CETE de Lyon (Groupe Mécanique des Roches, Division "Laboratoires", du Centre d'Etudes Techniques de l'Equipe-ment de Lyon), permettent notamment de suivre l'évolution relative des deux épontes d'une fracture dans un versant instable. Ces dispositifs sont habituellement complétés par un système d'auscultation géodésique lequel fournira l'indication des déplacements absolus en planimétrie et en altimétrie.

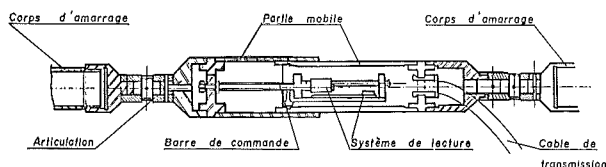


Fig. 3 — Coupe schématique d'un capteur TEDEP

III.6.1 Télécaptur de déplacement (TEDEP) (fig. 3)

Le principal intérêt de cet appareil est l'enregistrement en continu et à distance d'un mouvement unidirectionnel entre les deux épontes d'une fracture. L'information sur l'évolution du mouvement, par pointés permanents, est transmise par un câble à un terminal de mesure qui comprend essentiellement :

- un boîtier primaire permettant, si nécessaire, une exploitation manuelle autonome en cas de défaillance des enregistreurs. L'affichage des valeurs apparaît en code ;
- un boîtier décodeur-afficheur permettant la lecture directe des valeurs décodées, en pilotage manuel, et la lecture des numéros des TEDEP en pilotage automatique ;
- des enregistreurs "à pointés".

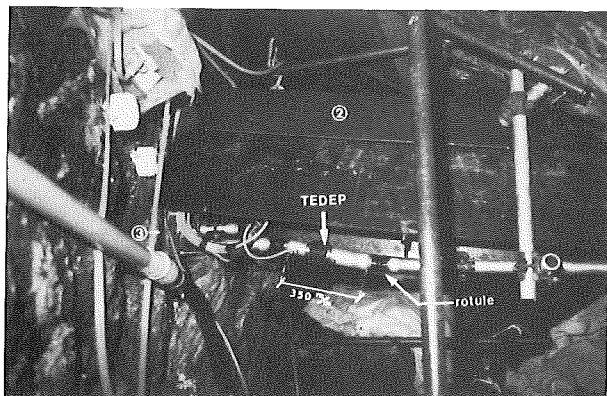


Fig. 4a — Vue d'un TEDEP (Télécaptur de déplacement)
2. Protection lourde, pour le TEDEP, vis-à-vis des chutes de blocs
3. Platine de fixation

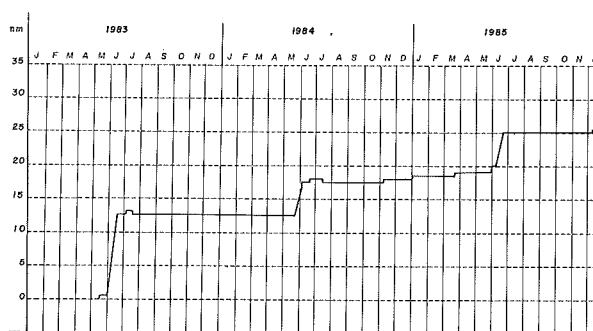


Fig. 4b — Auscultation carrière TEDEP n° 1

La course maximale du capteur est de 50 mm et sa précision de $\pm 0,25$ mm. Les platines de fixation doivent permettre de recalculer le TEDEP lorsque celui-ci arrive en fin de course.

III.6.2 Canne de convergence (fig. 5a et 5b)

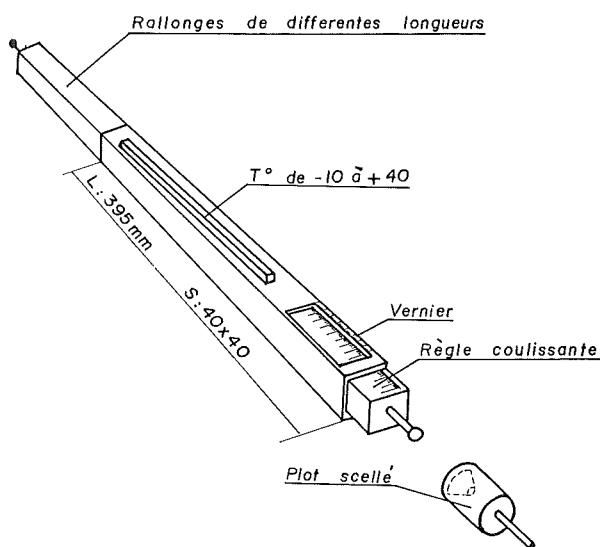


Fig. 5a — Schéma de la canne de convergence

Cet appareil est constitué d'un vernier porté par une canne très rigide, à laquelle on peut adjoindre différentes longueurs de rallonge. Il permet de mesurer avec une sensibilité de 1/10 mm l'entraxe de deux plots en bronze scellés dans les épontes de la fracture (fig. 5).



Fig. 5b — Mesure avec la canne de convergence (photographie)

En formant un repère de base constitué de trois plots sur une des épontes, on peut analyser tridimensionnellement le mouvement d'un autre plot situé sur l'éponte opposée par simple lecture des trois distances d_1 , d_2 ,

d3 ; la mesure des trois distances d1, d2, d3 permet de connaître la position du plot isolé par rapport à la base de mesure constituée par les 3 plots situés sur l'éponte opposée (fig. 6).

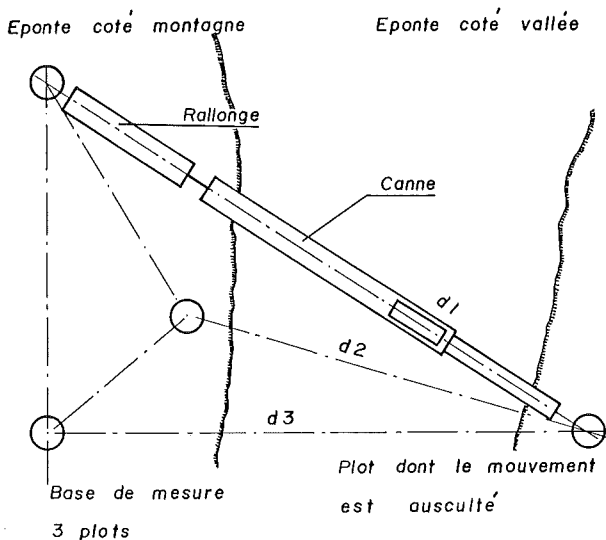


Fig. 6 — Schéma de principe

— Une application de ces dispositifs (fig. 8).

La reprise périodique des mesures Δd_1 , Δd_2 et Δd_3 définit un vecteur appelé norme vecteur de déplacement (NVD), lequel est représenté graphiquement (fig. 7).

L'emploi de télécapteurs de déplacement s'est avéré efficace à l'occasion de l'auscultation d'une zone instable, très fracturée, surplombant une carrière d'enrochements en cours d'exploitation. Pour assurer la sécurité des personnes et le cas échéant décider l'évacuation du chantier, il importait de suivre l'évolution du phénomène en permanence, à distance, et avec un maximum de finesse afin d'en déceler une éventuelle accélération. Un

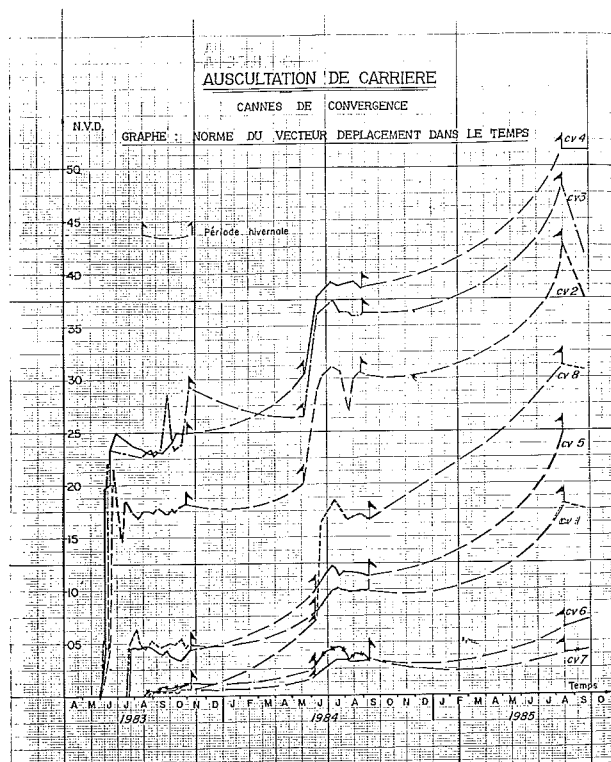


Fig. 7 — Photo carrière d'enrochement de Grand Maison

dispositif d'auscultation géodésique vient compléter ces mesures donnant ainsi l'indication des déplacements absolus du massif. A posteriori, on peut remarquer (fig. 4b) que le versant est le siège de crises annuelles localisées (début juin) dont l'importance est fonction des conditions de la fonte des neiges qui fait brutalement remonter la piézométrie dans le versant. A cette époque de l'année, la couverture neigeuse interdit toutes mesures géodésiques lesquelles seules n'auraient donc pas permis d'isoler le phénomène dans le temps.

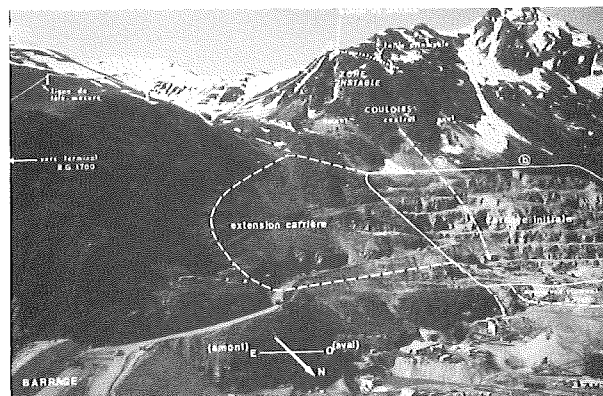


Fig. 8

III.7 Les mesures au fil invar

Le fil invar reste l'un des instruments de mesures de distances les plus précis et, à ce titre, est très souvent employé à EDF pour l'auscultation des ouvrages de génie-civil sous deux formes :

- Associé à un appareil de mise en tension et de lecture automatique. Sa facilité d'utilisation rend la mesure possible par des personnes non qualifiées sous réserve toutefois d'une manipulation soignée des fils invar.

Précision :

distances < 20 m : $\pm 0,02$ mm

distances > 20 m : $\pm 1.10^{-6} \times D$

Il est utilisé en particulier pour :

- le suivi des déformations d'une section de tunnel, de galerie, d'ovoïde... (fig. 9).

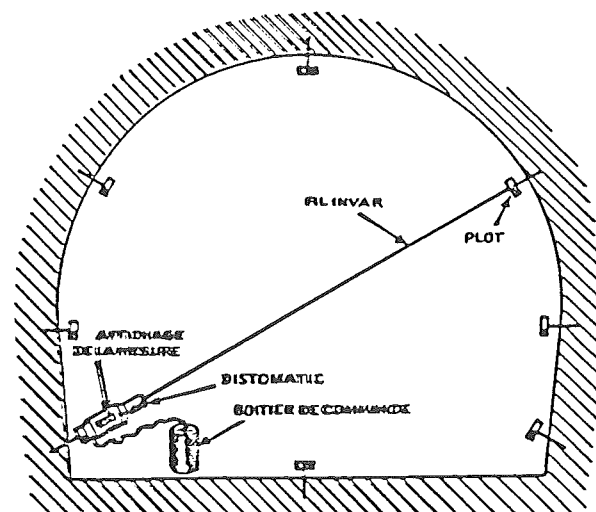


Fig. 9

- le suivi de la convergence des parois d'une usine souterraine après creusement (effet de décompression du rocher). Placé au niveau du pont roulant, ce dispositif permet de corriger le parallélisme des rails.

UN SURDOUÉ INFORMATIQUE EST ARRIVÉ

Quelques exemples éloquentes de ce qu'il peut afficher sur son écran au moyen d'une manipulation simple.

Bien que le GEODIMETER SYSTEM 400 soit un appareil sophistiqué son utilisation s'avère particulièrement simple, notamment grâce au système de "menus".

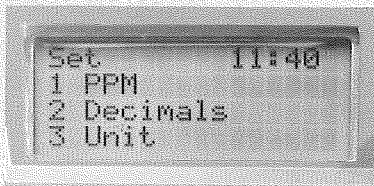
Un clavier intégré étanche comportant 16 + 4 touches donne à l'opérateur accès aux divers menus. Ce même clavier permet également la sélection du mode de mesure, le choix des fonctions (0 à 99), la sélection des fonctions d'affichage et de validation, la mise en service du tracklight ou de l'unicom, l'enregistrement des angles et distances mesurés et le déclenchement des mesures.

L'affichage est du type LCD à cristaux liquides. Il est composé de 4 lignes de 16 caractères qui s'éclairent automatiquement lorsque la lumière ambiante n'est plus suffisante. Lorsque la température descend au-dessous de 0° un thermostat intégré en déclenche automatiquement le chauffage.

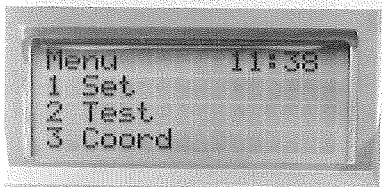
Voici quelques exemples de ce qu'un opérateur peut obtenir aisément à l'affichage :



Tout d'abord une nivelle électronique permet de niveler l'instrument dans une seule position et sans avoir à tourner l'alidade. L'heure s'affiche en permanence en haut et à droite de l'écran grâce à une horloge interne.

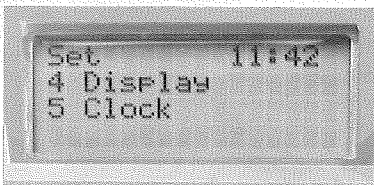


Si l'opérateur décide d'appeler la rubrique SET, il lui suffira d'appuyer sur la touche 1 du clavier et un nouveau choix se présentera devant lui grâce auquel il pourra vérifier ou modifier les données de fonctionnement de l'appareil.



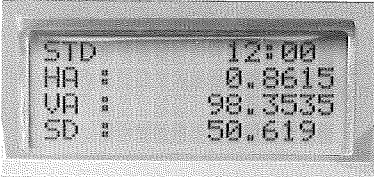
L'opérateur ayant choisi d'appeler le menu principal les options suivantes s'offrent à lui :

- 1 - SET : mise au point initiale
- 2 - TEST : contrôle de l'instrument
- 3 - COORD : introduction des coordonnées station
- 4 - DATA COMM : introduction des données pour la sortie RS 232 et Géodat.



Après ces éventuels contrôles préliminaires l'opérateur effectuera ses mesures qui pourront apparaître selon la forme figurant sur notre exemple.

HA : Angle Horizontal
VA : Angle Vertical
SD : Distance inclinée
mais deux autres présentations sont possibles :
- Angle horizontal, distance horizontale, dénivelée,
- Coordonnées X Y Z



L'universalité du **Geodimeter System 400** est indiscutable :

Haute précision, mesure rapide et continue, grande portée, faisceau visible, nivelle électronique, liaison phonique, dénivelé en continu, calcul XYZ, sortie directe RS 232...

Toutes les applications lui sont alors permises :
canevas, tachéométrie, implantation, bathymétrie, auscultation, polygonation, industrie...



Parc d'Activités
Les portes de la Forêt
Allée du Clos des Charmes
77400 COLLEGIEN
Tél : (1) 60 05 13 14
Télex : 693 099

M. :
Cabinet ou Sté :
Adresse :
désire des renseignements
complémentaires sur le
GEODIMETER
SYSTEM 400

GEO 9.86



Geodimeter System 400

nouveau



**UN
SURDOUÉ
SUR LE TERRAIN**

*Intelligent, évolutif, simple,
il sait aussi dialoguer avec son utilisateur*

- En traditionnel (poulies - poids - tenseurs - lecture sur réglette).

Il se trouve encore quelques applications lorsque l'appareil de mise en tension automatique n'est pas utilisable.

- en mode suspendu, soit pour transmettre un nivellement, le fil est alors étalonné, soit en mesure différentielle, auquel cas, il est comparé régulièrement à une base fixe ou à un autre fil ;

- pour le contrôle planimétrique des tables de groupes turbo-alternateur des centrales nucléaires dont le désalignement des axes pourrait avoir des conséquences mécaniques et financières très importantes : la méthode consiste à définir un alignement de référence à l'aide d'un théodolite bloqué en azimut et à effectuer des mesures sur la réglette d'un fil invar, solidaire de la table de groupe et tendu perpendiculairement à la visée de référence. A cet effet, le théodolite est équipé d'un micromètre à lame plan-parallèle (fig. 10) ;

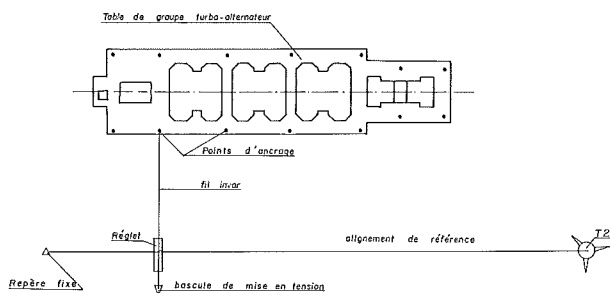


Fig. 10

- pour le suivi de l'écartement aux tympans de ponts routiers à l'occasion du passage de convois lourds. A noter l'utilisation simultanée du fil invar et de deux lunettes nadirales car les déformations au niveau des tympans d'ouvrages anciens en maçonnerie, ne sont pas forcément transmises au tablier souvent plus récent et de structures différentes (fig. 11).

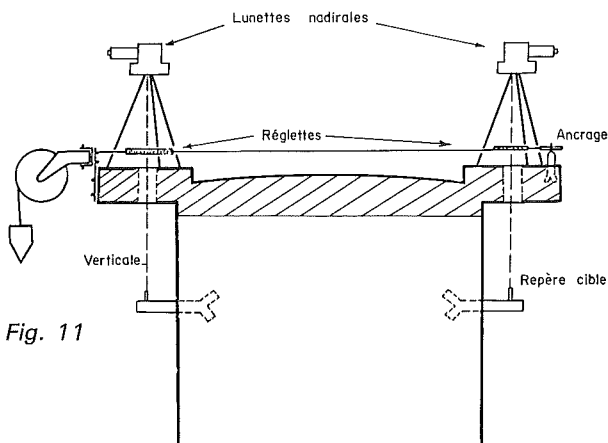


Fig. 11

III.8 Les pendules directs ou inversés

Les pendules directs ou inversés matérialisant une verticale servant de référence à la mesure de déplacement relatif de deux ou plusieurs points éloignés, situés sur cette verticale.

- le pendule direct est un fil à plomb dont le poids est stabilisé dans un bac contenant de l'eau et de l'antigel ;

- le pendule inversé se caractérise par la position de son ancrage (point bas), le fil étant tendu verticalement à l'aide d'un flotteur (fig. 12).

La mesure des déplacements se fait avec une table de lecture placée à différents niveaux et qui donne, à l'aide

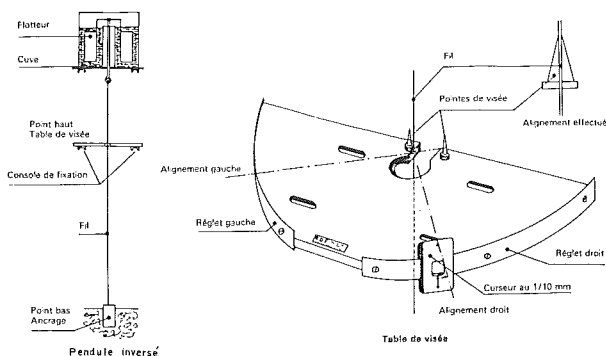


Fig. 12

d'abaques, le déplacement de la table par rapport au fil dans deux directions orthogonales.

Une combinaison de pendules inversés ancrés dans la fondation (forage) avec des séries de pendules directs indique les déplacements absolus de l'ouvrage.

Sensibles et efficaces, l'exploitation des pendules est simple. Il est possible en outre d'y adjoindre un dispositif de télémessure.

Principaux inconvénients :

- sensibilité aux courants d'air ;
- difficulté du contrôle du domaine libre du pendule ;
- ne s'applique qu'aux barrages poids en béton ;
- l'équipement a posteriori d'un ouvrage n'est pas envisageable ;

IV. Mesures de déformations par la topographie

La mesure est un acte, en connaître la précision est sa crédibilité.

On serait tenté, connaissant la précision des mesures de n'indiquer au concepteur de l'ouvrage que les déplacements significatifs au regard de l'ellipse ou ellipsoïde de tolérance entourant les points à ausculter. Toutefois, si l'on agit ainsi, on risque dans certains cas, par notre interprétation, de fausser les déplacements relatifs de points voisins sur l'ouvrage.

Soit 2 points voisins 1 et 2 sur un ouvrage à ausculter (fig. 13) : comparés à leur ellipse de tolérance respective, on conclut que le point 1 n'a pas bougé mais que le déplacement du repère 2 est significatif. D'où un Δ apparent accru par rapport au Δ mesuré. Cet exemple montre que l'analyse topographique bien que rassurante peut conduire à des résultats erronés.

Il n'y a pas de doctrine figée en la matière. Seul le concepteur de l'ouvrage est en droit de trancher sur ce qu'il attend des mesures topographiques et il importe d'avoir son avis. Néanmoins, il semble se dégager les idées suivantes :

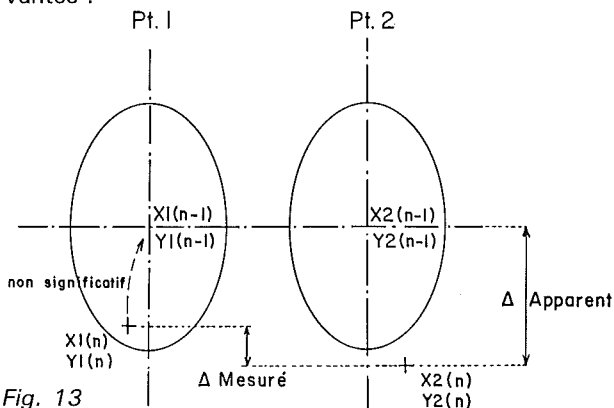


Fig. 13

— si on recherche une déformation de l'ouvrage, le résultat brut est donné ainsi que l'enveloppe d'incertitude ;

— si on recherche un déplacement absolu, sachant que les mouvements relatifs sont aussi analysés, il se dégage deux idées :

1. Pour une structure liée tels que réfrigérant, barrage en béton, les valeurs brutes sont indiquées au concepteur de l'ouvrage ;

2. Pour une structure naturelle (versant instable) ou une digue en terre, seuls les déplacements significatifs sont retenus.

On considère qu'un déplacement est significatif s'il est supérieur à l'enveloppe d'incertitude calculée sur la base de 2 fois l'écart type théorique.

Probabilité 95,4 % pour une mesure unidimensionnelle.
Probabilité 86 % pour la planimétrie (ellipse).

Au sujet de la fréquence des mesures d'auscultation : en phase essai de l'ouvrage, la fréquence est le plus souvent liée à des niveaux de contraintes pré-définis (charge sur un radier, hauteur d'eau dans une retenue). En exploitation, les mesures sont faites avec un Δt constant.

L'amplitude d'un phénomène doit déterminer, en règle générale, la fréquence des mesures. La bonne fréquence est celle qui définit un vecteur de déplacement légèrement supérieur à la valeur test du mouvement. Elle doit donc être évolutive selon que le mouvement se ralentit ou s'accélère.

IV.1 Le nivellement

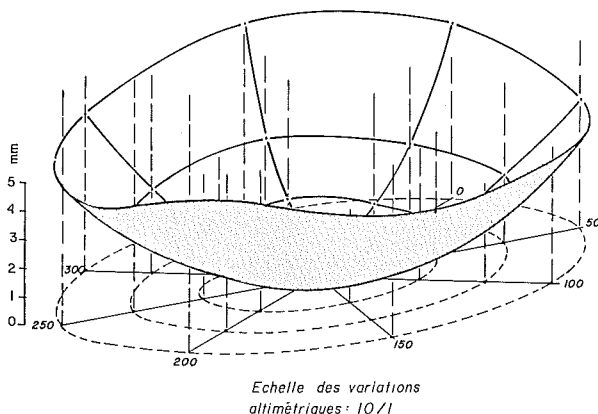
Pratiquement tous les ouvrages que nous surveillons comportent un dispositif d'auscultation altimétrique, soit unique, soit en complément d'un dispositif géodésique, en raison de la finesse des mesures que procure la méthode. Les observations sont faites :

BUGEY 2

DEFORMEES DU RADIER

Niveau - 6.00

entre op n° 6: le 3-5-1973 radier alvéolaire entièrement terminé
op n° 19b: le 2-11-1976 retour à l'atmosphère



DEFORMEES en 1/10 mm		0 50 100 150 200 250 300 350									VARIATION TONNAGE
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
	ANNEAU A R: 7 ²⁰	+15	+12	+7	+7	+10	+13	+16	+19		45.800 T
	ANNEAU B R: 12 ²⁶	+29	+24	+20	+15	+24	+26	+30	+34		
	ANNEAU C R: 16 ⁹⁶	+63	+46	+44	+43	+54	+50	+56	+68		

Fig. 14

— soit au N3 — mire avec ruban invar - parasol

écart-type : $\pm 0,6$ mm au kilomètre

— soit au NA2 et lames à faces parallèles - mire invar

écart-type : ± 1 mm au kilomètre

Les dispositifs ne sont pas tous conçus sur le même schéma. En voici quelques exemples.

IV.1.1 Radier des bâtiments des centrales nucléaires

Le but recherché est d'évaluer voire d'anticiper les tassements et basculement différentiels entre les radiers de plusieurs bâtiments voisins.

Le dispositif comporte le rattachement à la référence altimétrique du site dont la stabilité est par ailleurs contrôlée, ainsi que le nivellement de repères distribués sur les radiers. A chaque opération on calcule :

— le plan moyen représentatif de l'état du radier par la méthode des moindres carrés ;

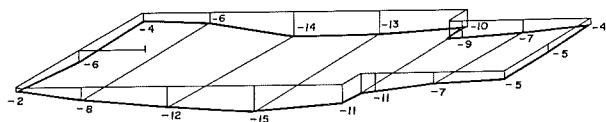
— l'écart de chaque point au plan moyen pour connaître la déformation du radier ;

— le tassement en son centre s'il n'a pu être mesuré directement ;

— le basculement du bâtiment.

Une critique systématique du modèle mathématique est faite par l'examen des résidus.

Cas d'un radier alvéolaire fortement chargé en son centre pour lequel le modèle "plan" serait une faute (effet de bol) (fig. 14).



DEFORMATION TABLE DE GROUPE

Fig. 15

IV.1.2 Table de groupe turbo-alternateur (fig. 15)

Le but est de contrôler la déformation de la table pouvant entraîner un désalignement des différents axes du groupe. Il s'agit donc de mesures relatives exprimées par rapport à un repère de la table lui-même rattaché à la référence altimétrique du site pour la connaissance du tassement global de la table.

IV.1.3 Glissement de terrain

La zone instable est traversée par des rangées de sentiers de nivellements rattachés :

— en aller-retour sur des repères extérieurs dont la stabilité est contrôlée ;

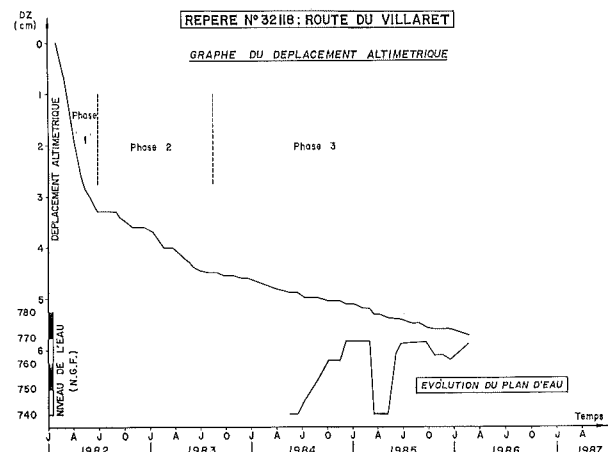


Fig. 16

— en cheminement simple si la zone instable se situe entre des groupes de repères fixes.

Restitution graphique (fig. 16).

Cet exemple illustre la corrélation entre le phénomène et les facteurs influents.

Phase 1. Déstabilisation du massif à la suite d'un arrachement important provoqué par une crue ;

Phase 2. Travaux de blocage du pied de talus par des enrochements (la vitesse du phénomène diminue) ;

Phase 3. Travaux de blocage terminés. Vitesse plus faible mais constante. Le phénomène semble irréversible.

En terrain naturel, les repères sont constitués de barres enfoncées à refus, recoupées sur place et protégées par un massif béton non solidaire du repère.

VI.1.4 L'alignement (fig. 17)

La méthode ne s'applique qu'à la mesure d'un mouvement unidirectionnel dont la direction privilégiée est connue. Elle consiste à déterminer le déplacement de repères alignés par la variation angulaire mesurée à partir d'une station placée sur un axe perpendiculaire au déplacement. On suppose une stabilité parfaite de la station ainsi que de la référence laquelle est généralement matérialisée par une autre station permettant une double détermination des repères.

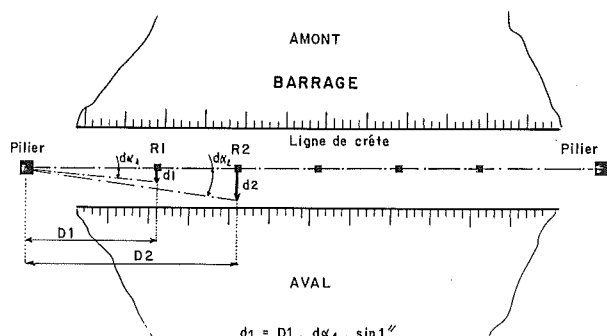


Fig. 17

Précision de la mesure : ± 1 mm de 0 à 200 mètres.

Cas d'utilisation de la méthode :

- déformation d'un mur sous une contrainte ;
- flambage d'un support ;
- décompression du rocher dans une usine souterraine ;
- déformée de la ligne de crête d'un barrage sous la poussée de l'eau (fig. 18).

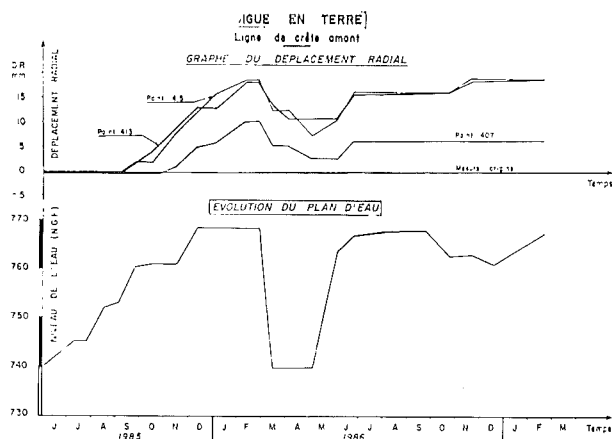


Fig. 18 — Evolution du déplacement radial par la méthode des alignements

Les mesures peuvent être exploitées de deux manières selon qu'on recherche :

— une déformation ; auquel cas les déplacements sont exprimés par rapport à la droite définie par les deux repères d'auscultation extrêmes de l'ouvrage ;

— un déplacement absolu ; ceci supposant une bonne stabilité de la station ainsi que des références multiples.

IV.2 L'auscultation par méthode géodésique

La méthode consiste à déterminer, à partir d'un canevas de référence, la position spatiale des repères par polygonation, triangulation, multilatération ou triangulation.

IV.2.1 Conception du canevas de référence

C'est une phase délicate de l'auscultation qu'il convient de ne pas négliger au risque de passer à côté du résultat escompté. La difficulté majeure est d'allier les critères techniques de configuration et de pérennité aux possibilités d'emplacements laissées libres sur un chantier en activité. Encore faut-il bien sûr qu'il y en ait ou que l'on puisse les imposer !!

CANEVAS D'AUSCULTATION D'UN REFRIGERANT

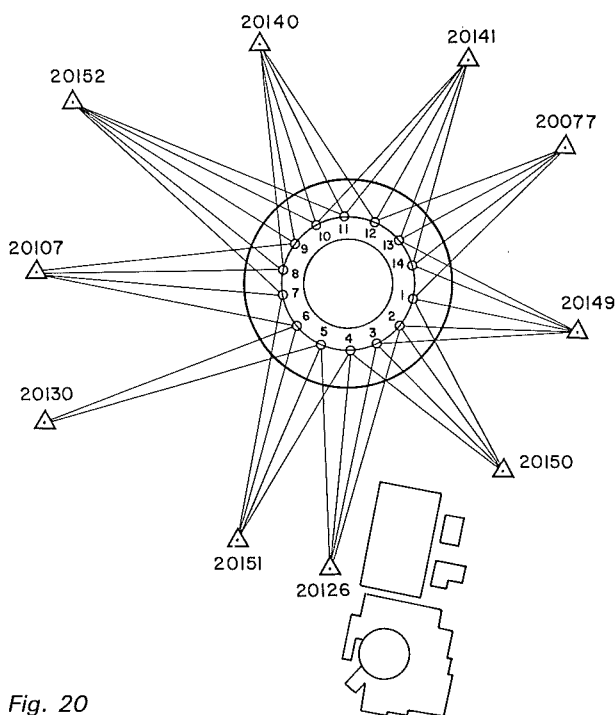


Fig. 20

Aux critères de pérennité du canevas s'ajoutent :

— sa forme : une bonne configuration est requise :

- pour sa propre détermination
- pour la détermination des repères à ausculter

Considérant que chaque repère d'auscultation doit en général être déterminé par 4 lieux géométriques bien conformes (3 a minima), que les visées trop inclinées doivent être évitées, et compte tenu de la forme même de l'ouvrage à ausculter, et des moyens d'observations retenus, on peut imaginer que l'architecture du canevas "s'intégrant naturellement au site" comme la solution la mieux adaptée au problème (fig. 20 et 21).

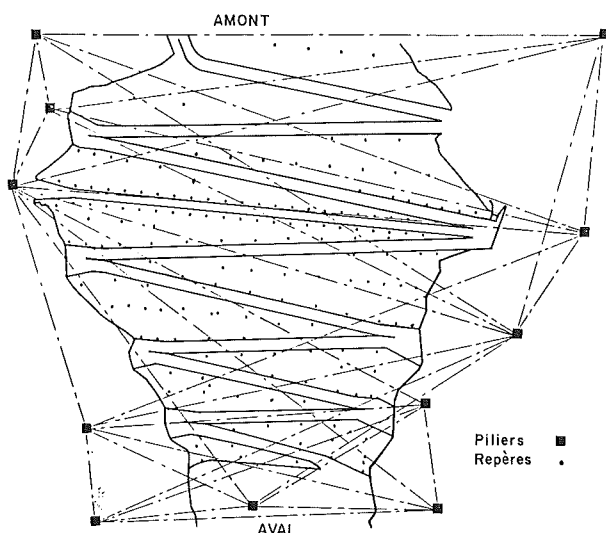


Fig. 21 — Canevas d'auscultation d'un barrage en enrochements.

— sa précision :

A EDF, on s'impose pour le canevas :

écart-type planimétrique relatif entre 2 repères consécutifs :

$$\sigma x = \sigma y = \pm 2 \text{ mm}$$

écart-type sur chacun des repères par rapport à la référence altimétrique du site :

$$\sigma z = \pm 1 \text{ mm}$$

En outre, sur les repères à ausculter, on retient les précisions suivantes par rapport au canevas de référence.

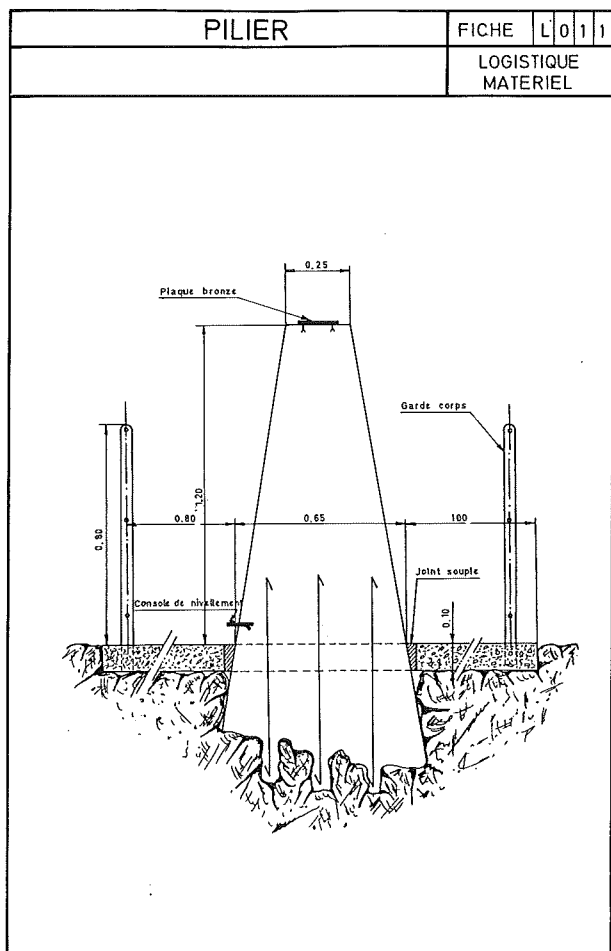


Fig. 22

Coque d'un réfrigérant : $\sigma x = \sigma y = \sigma z = \pm 2 \text{ cm}$
 Barrage béton : $\sigma x = \sigma y = \sigma z = \pm 1 \text{ mm}$
 Barrage terre
 ou enrochement : $\sigma x = \sigma y = \sigma z = \pm 5 \text{ mm}$

Quel que soit le cas de figure retenu, une optimisation de la configuration géométrique du canevas est étudiée en faisant varier les paramètres de précision des mesures angulaires et/ou des distances liées à la méthode retenue. Des simulations de calculs sur micro-ordinateur définissent ainsi, à partir du canevas projeté les ellipses (ou ellipsoïdes) d'incertitude autour des repères d'auscultation. Si l'on recherche une précision homogène dans toutes les directions, la zone d'incertitude doit se rapprocher du cercle. Au contraire, si l'on désire mesurer un mouvement particulier dans une direction privilégiée, le choix des emplacements des stations peut conduire à définir des ellipses d'incertitude dont le rapport Grand axe/Petit axe peut être important.

— sa matérialisation :

Les canevas sont constitués en règle générale de piliers équipés de plaque de centrage permettant la mise en station directe des appareils de mesure d'angle et de distance. 2 types de piliers sont utilisés :

- forme pyramidale (fig. 22)

D'un prix relativement élevé, il est tout de même fortement recommandé en raison de sa robustesse et de sa bonne assise. On apprécie en particulier les conditions d'observation et la mise en œuvre aisée du théodolite.

- forme cylindrique (pilier buse)

Bien que le remplacement du coffrage par une buse diminue le coût de fabrication, son emploi tend à disparaître. Le retrait du béton favorise les infiltrations d'eau entre la buse et le pilier, puis l'attaque par le gel.

— sa stabilité :

Le souci de diminuer les distances pour réduire les sensibilités des visées, combiné avec la nécessité de bonnes intersections impose des stations peu éloignées de l'ouvrage. De ce fait, certaines stations risquent de subir des déplacements liés à ceux de l'ouvrage. Afin d'y remédier, une base constituée au minimum de 3 piliers formant au mieux un triangle rectangle isocèle ou un alignement, est implantée en dehors de la zone d'influence de l'ouvrage de façon à pouvoir la contrôler en permanence.

La fondation du pilier fait l'objet d'une attention particulière, qu'il soit construit sur du rocher ou sur du terrain meuble. Sur les sites nucléaires implantés dans des plaines alluvionnaires, les piliers de la base sont ancrés dans les sous-couches dures par l'intermédiaire de pieux forés et bétonnés. Le pilier peut être équipé d'un dispositif propre, complémentaire, permettant, le cas échéant, de mesurer le déplacement planimétrique de sa tête :

- mise en place d'un pendule inversé dans le pieu bétonné, et ancré dans la couche stable du sous-sol ;
- relèvement sur des points proches considérés stables ;
- nivellement relatif de précision de 4 points opposés 2 à 2, scellés à la base du pilier. Ceci permettant d'en mesurer son basculement.

IV.2.2 Equipements des piliers

— plaques de centrage (fig. 23)

Le centrage du théodolite se fait par l'intermédiaire des pointes des vis calantes qui viennent se positionner :

- soit dans les 3 rainures radiales à 120°
- soit dans 3 traces usinées dans la masse "trait-point-plan" formant un triangle équilatéral à l'écartement du théodolite.

Ce type de centrage, rapide et simple est imparfait car,

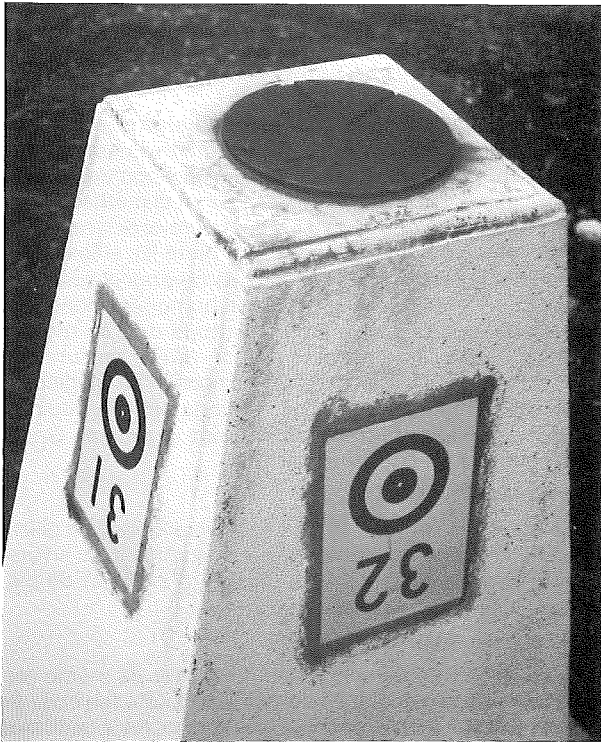


Fig. 23

par construction la géométrie des 3 vis calantes n'est pas garantie, ou bien modifiée en cas de choc.

La précision du centrage est de 0,1 à 0,5 mm.

— voyants cibles excentrées :

Des cocardes en lave sont scellées sur les faces des piliers dans le but de matérialiser de façon permanente l'axe de centrage du théodolite. Ce système s'avère particulièrement intéressant sur des sites montagneux (auscultation de barrages) où les piliers sont d'accès difficile. Un ciblage de l'axe de centrage observable de toutes les directions nécessiterait un voyant tige dont l'emploi est déconseillé en raison des erreurs de pointés dues à l'éclairage (erreur de phase).

A noter aussi que les cocardes excentrées augmentent la disponibilité d'un dispositif en permettant le travail simultané et sans gêne de plusieurs équipes d'observation.

Chaque visée entre pilier est affectée d'un décentrement propre qui est considéré comme une constante angulaire. Les éventuelles variations dues aux mouvements relatifs des stations sont généralement d'un ordre inférieur à l'erreur moyenne de mesure angulaire (fig. 24).

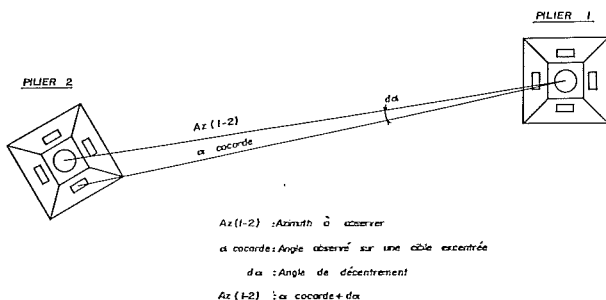


Fig. 24

Pour minimiser l'incidence d'un basculement du pilier, la cocarde excentrée est scellée au plus près de la plaque de centrage.

Détermination du décentrement

1. Par la mesure angulaire directe :

L'axe de centrage étant matérialisé par un voyant type Wild ou modèle EDF, les décentrement étaient jusqu'alors déterminés par mesure directe en 2 fois 2 paires de séquences au T3 ou au T2000. La méthode n'était toutefois pas satisfaisante.

- observations angulaires fastidieuses ;
- beaucoup de déplacements et de temps morts : pour chaque station il faut réorienter les voyants de toutes les autres stations ;
- perte de précision sur l'azimut ainsi observé (dans le rapport $V2$)

2. Par l'intermédiaire d'un tachéomètre courte distance (fig. 25a - 25b)

Il s'agit* d'un appareil prototype conçu par un élève de l'Institut de Topométrie à l'occasion du stage effectué dans nos services. En stationnant le pilier, on mesure directement les coordonnées polaires de ses cocardes. Il permet ainsi :

- soit d'utiliser directement les coordonnées X, Y des cocardes (détermination d'un V_0) ;

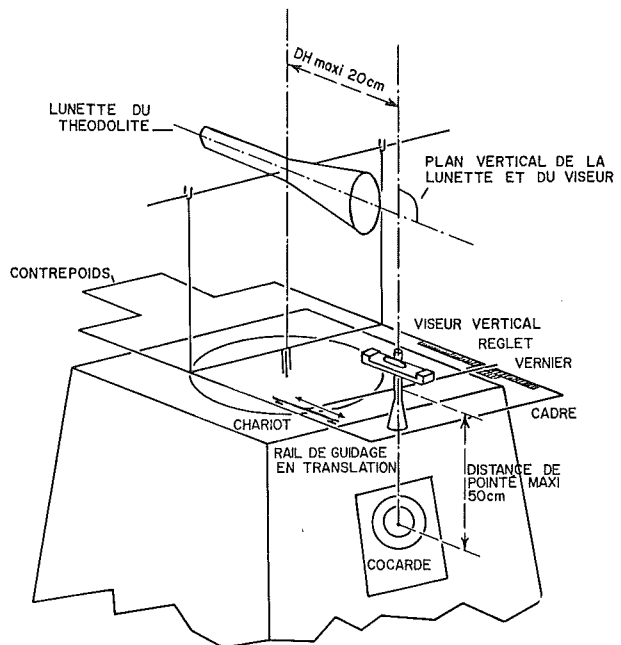


Fig. 25a

- soit de calculer les décentrement des piliers voisins. Afin de réobserver un canevas en utilisant les décentrement sans perte de précision, on s'est fixé des contraintes mécaniques et de réglage telles que la tolérance sur le $d\alpha$ d'un pilier distant de 100 mètres soit de 1 dmgr. L'écart maximum de pointé sur la cible avec le viseur du tachéomètre courte-distance doit être inférieur à 0,15 mm.

L'élément de base est un théodolite type T2. Un viseur vertical guidé en translation par un cadre fixé au théodolite permet de pointer la cible excentrée (fig. 25).

Son axe optique reste dans le plan vertical contenant l'axe optique du T2. Ainsi l'azimut de la cocarde est lu sur le limbe du théodolite.

Le support du viseur vertical porte un vernier afin de lire à 0,1 mm, sur un réglett solidaire du cadre, la distance horizontale entre la cible et l'axe principal du T2.

* M. Gérard SINDT : Institut de Topométrie.

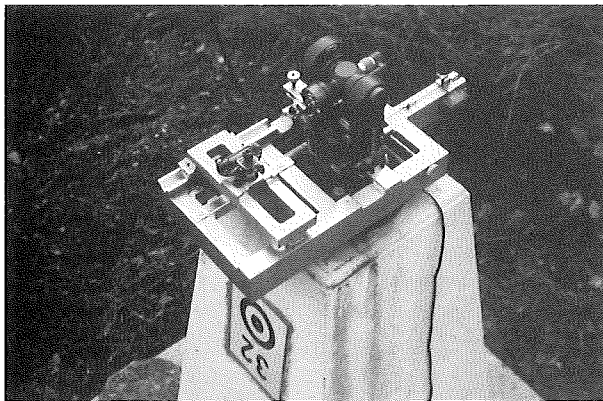


Fig. 25b

Compte tenu de la longueur du rayonnement (20 à 30 cm) une lecture au centigrade est suffisante.

Réglages périodiques de l'appareil (fig. 26-1 et 26-2).

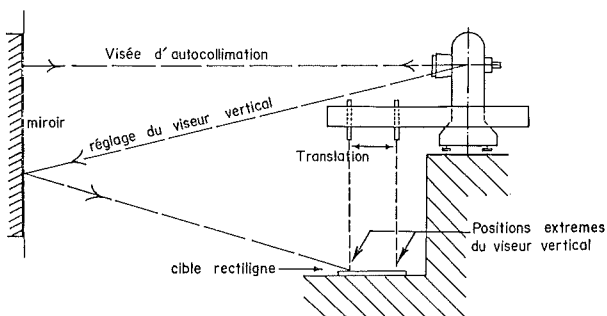


Fig. 26-1 — Opération de réglage destinée à rendre coaxial le viseur vertical et l'axe optique du théodolite.

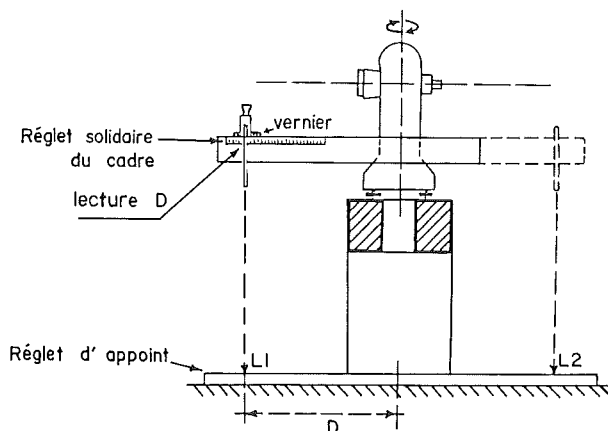


Fig. 26-2 — L1 : lecture faite sur un réglet d'appoint
L2 : lecture symétrique après rotation de 200 gr du T2

La lecture D donnée par le tachéomètre doit être égale à $(L1 + L2)/2$.

Le viseur vertical est monté sur un roulement à bille. Après rotation de 200 grades, on élimine ainsi un éventuel défaut de verticalité de l'axe optique.

IV.2.3 Matérialisation des repères d'auscultation

La plupart des dispositifs d'auscultation à EDF utilisent des cocardes en lave émaillée :

- ciblage permanent évitant tout risque de non répétitivité lié à l'emploi d'un système amovible ;
- inaltérable dans le temps ;
- excellente qualité du pointé ;

— symétrie de l'image quel que soit l'angle d'incidence de la visée.

Elles sont scellées soit directement sur l'ouvrage (barrage béton, coque de réfrigérant), soit sur des supports intermédiaires (fig. 27).

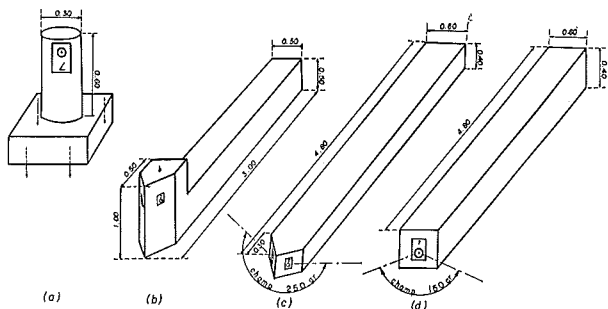


Fig. 27

- a) socle buse pour versants instables
- b) longrine double cible pour barrage en terre (réhaussée pour éviter la gêne due à l'herbe)
- c) longrine double cible pour barrage en enrochements
- d) longrine à une cible

Les longrines double cible, par l'augmentation du champ de visée, rendent optimum le canevas de référence en diminuant sensiblement le nombre de stations nécessaires.

A l'occasion de la mesure origine, toutes les visées possibles doivent être observées afin de calculer les constantes angulaires permettant de se ramener à un repère unique (fig. 28).

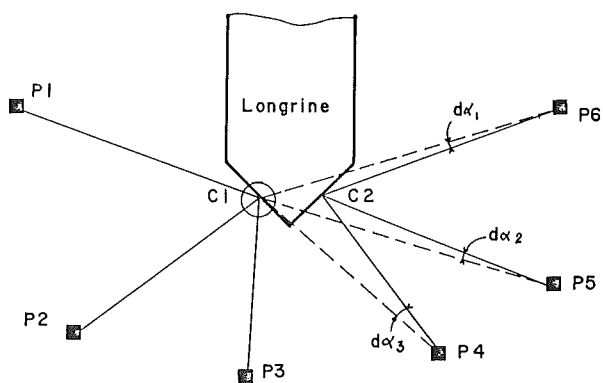


Fig. 28

Les visées P6-C2, P5-C2, P4-C2 seront corrigées des angles $d\alpha_1$, $d\alpha_2$, $d\alpha_3$, lesquels sont des constantes.

Autres types de repères :

- a) tige inox de diamètres 12 millimètres recevant un prisme ou un voyant Wild
- b) cible aluminium fabriquée en sérigraphie pour de petits dispositifs d'auscultation

IV.2.4 Les observations angulaires

En règle générale, elles sont faites au T2000 ou au T3, ou les deux associés (précisions identiques). Une simulation de calcul guide le choix du concepteur du dispositif d'auscultation sur le nombre de séquences à retenir (1 ou 2 paires aux pointés multiples).

Les opérations courantes du secrétaire de terrain sont prises en compte par le GRE 3 pour le T2000, ou un Epson HX 20 pour le T3 sous contrôle d'un logiciel qui assure les fonctions suivantes :

- assistance de l'opérateur
- décompte des pointés et rejets des hors tolérances
- calcul des moyennes
- calcul de la fermeture de séquence, rejet éventuel
- stockage des observations ramenées à zéro
- transfert du fichier observations sur le terminal de bureau par l'intermédiaire d'une interface standard (RS 232).

IV.2.5 Les observations de distances

Appareils utilisés à EDF pour la mise à l'échelle d'un canevas géodésique ou la détermination des repères d'auscultation :

- mécomètre ME 3000 KERN (écart-type $(0,2 + L(\text{km}))\text{mm}$)
- telluromètre MA 100 (écart-type $(1 + L(\text{km}))\text{mm}$).

IV.2.6 Calculs

Le traitement informatique des données s'effectue en trois étapes :

1. Calcul du canevas de référence :

Le canevas est redéfini à chaque opération afin de contrôler la stabilité des points qui le composent. Le logiciel de calcul utilise la méthode des variations de coordonnées laquelle s'applique indifféremment aux observations angulaires et aux observations linéaires. La résolution du système des équations linéarisées résulte de l'application du principe des moindres carrés. Notre système informatique étant pourvu de fonctions matricielles, il est intéressant d'utiliser la méthode de la matrice inverse. Le canevas est appuyé sur les points fixes du site (piliers fondés sur pieux) ou bien, à défaut de fondation spéciale, des essais successifs sont développés sur des hypothèses différentes. L'examen des mouvements apparents des piliers, au regard des ellipses de tolérance, permet de proche en proche d'isoler les points stables du canevas.

2. Les repères d'auscultation :

Schéma général du traitement des observations (fig. 29)

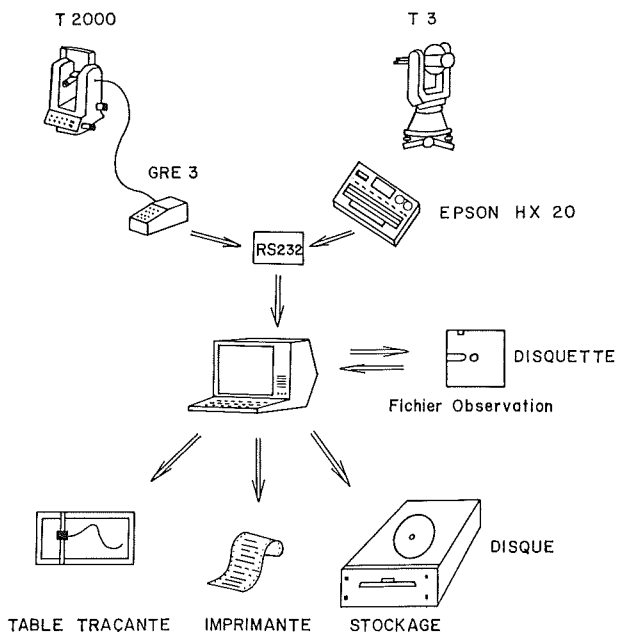


Fig. 29

- création d'un fichier d'observations par transfert direct à partir des GRE3 ou des EPSON HX 20 ;
- déclaration des points à calculer (entrée point par point ou entrée séquentielle), et de l'écart-type des instruments utilisés.

PROFIL EN TRAVERS

GRAPHE DES DEPLACEMENTS DR DZ

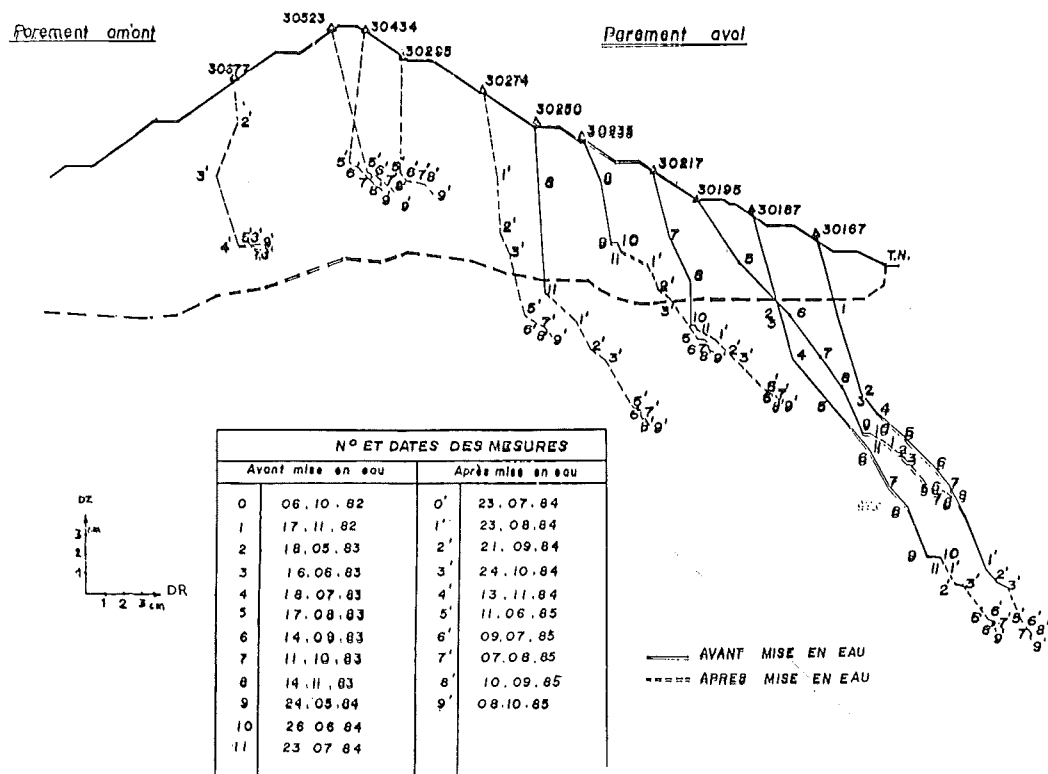


Fig. 30

Le calcul est alors rendu automatique par l'intermédiaire d'un programme pilote. Pour chaque point :

- recherche des observations dans le fichier
- calcul du repère (moindres carrés)

Lorsque tous les points sont calculés, le fichier des coordonnées de l'opération est stocké sur disque.

3. Analyse topographique :

Elle consiste à comparer le déplacement d'un repère à son ellipse de tolérance. Pour tout repère dont le déplacement est jugé non significatif, les coordonnées de l'opération (n-1) seront maintenues.

Un dispositif d'auscultation doit être parfaitement répétitif dans le temps. L'ellipse de tolérance étant dimensionnée à 2 écarts-types de l'instrument, elle est donc une constante du point.

IV.2.7 Edition des résultats

Les dx, dy sont transposés en déplacement radial (DR) et tangentiel (DT) selon une convention propre à chaque type d'ouvrage.

- sous forme numérique :

Le listing fait apparaître les déplacements mesurés DR, DT, DZ en cumulé par rapport à la mesure origine.

- Sous forme graphique :

Aucune représentation graphique n'est réellement satisfaisante car pour être complète, elle devrait être établie en quatre dimensions. Aux DR, DT, DZ venant s'ajouter dt, intervalle de temps entre les mesures. Il ajoute l'information relative à la vitesse du déplacement. Il n'y a pas de représentation type du fait de l'évolution des besoins dans la vie de l'ouvrage.

Pendant la période d'essai de l'ouvrage, on préfère une représentation d'ensemble des repères (fig. 30).

En phase exploitation de l'ouvrage, pour sa surveillance, on préfère une représentation point par point avec en abscisse le facteur temps (fig. 31).

IV.2.8 Analyse de l'ouvrage

Un ouvrage se déforme sous l'effet de phénomènes connus et réversibles tels que la pression de l'eau, la température, ou par exemple l'effet du vent sur un réfrigérant, mais aussi sous l'effet de phénomènes irréversibles tels que le retrait du béton ou le tassement de la fondation. Durant toute la vie de l'ouvrage, contrairement à certains pays et à une majorité de bureaux d'études qui ont tendance à faire des comparaisons statiques à une note de calculs, le contrôle des ouvrages en exploitation est orienté vers la recherche de la connaissance des évolutions irréversibles. L'analyse des premières mesures va consister à établir un rapport entre le gradient de déplacement par rapport à un gradient de sollicitation. Après quelques opérations, un premier modèle mathématique est établi par calculs sur ordinateur selon la méthode des éléments finis pour connaître les lois de variation de chaque point de mesure sous l'effet des contraintes et de la température. Par la suite, on peut transformer une mesure brute en mesure corrigée de ces effets. Périodiquement, un nouveau modèle mathématique est recalculé en tenant compte de l'ensemble des données antérieures. L'originalité de cette méthode est que la sécurité est appréciée par rapport au comportement antérieur de l'ouvrage qui fournit ainsi, en quelque sorte, ses propres éléments d'analyse.

BARRAGE DE GRAND-MAISON

Point : 30187

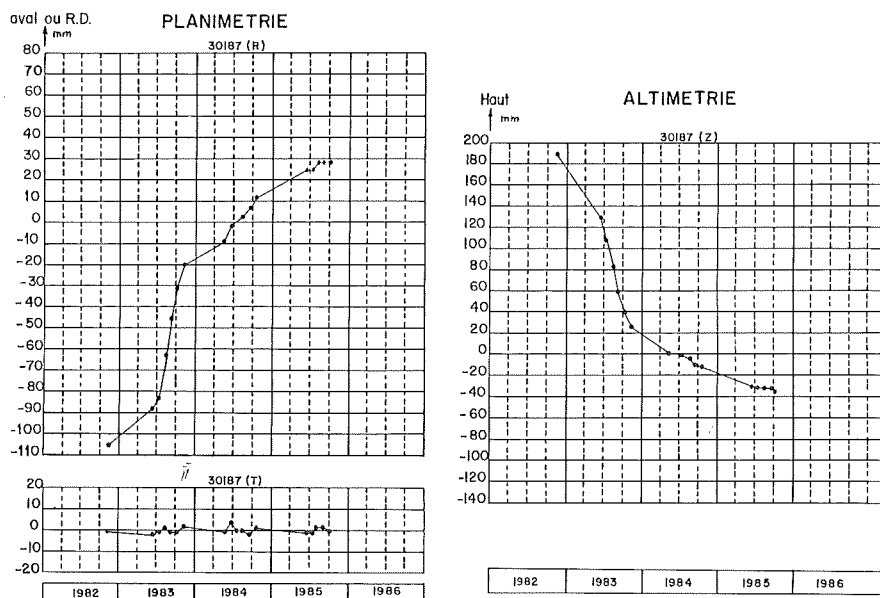


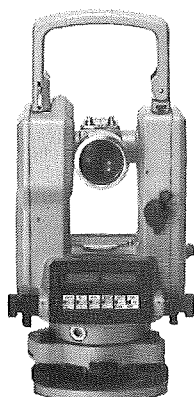
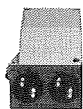
Fig. 31

V. Conclusion

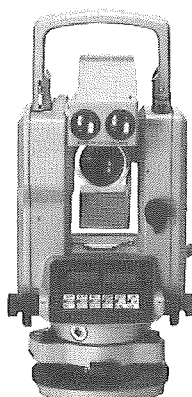
L'auscultation met en œuvre beaucoup de moyens pour vérifier en permanence les divers paramètres concourant à la stabilité d'un ouvrage. Elle constitue donc un moyen important de prévention des risques technologiques. Dans cet ensemble, la topographie apporte une part importante, notamment pour tout ce qui concerne

les déplacements et déformations des ouvrages. Les méthodes topographiques sont toujours précises, sûres, fiables : on peut leur reprocher quelquefois leur lenteur et l'obligation d'être réalisées uniquement par des spécialistes. L'automatisation de la mesure et des calculs réduit progressivement cette dernière objection. Pour le reste la pérennité de ces méthodes constitue le meilleur critère de leur valeur.

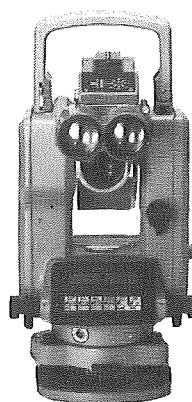
TOUT DEPEND DE VOS EXIGENCES



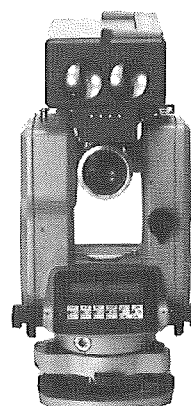
LEGER 0,6 kg
Portée: 1 km
5 mm + 5 ppm
DI1000



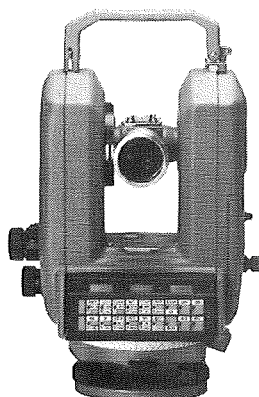
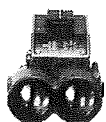
ECONOMIQUE + LEGER
Poids: 6,2 kg
T1000 + DI1000



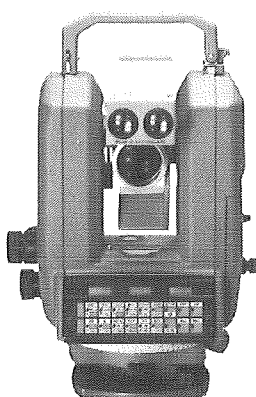
ECONOMIQUE + PRECIS
T1000 + DI5



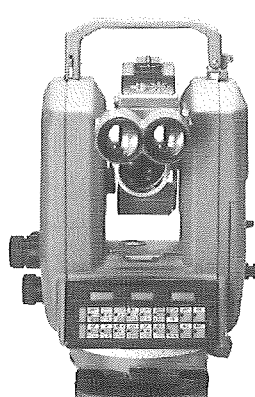
ECONOMIQUE + GRANDE PORTEE
T1000 + DI3000



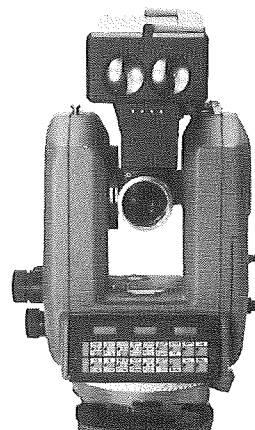
PRECIS
Portée: 5 km
3 mm + 2 ppm
DI5



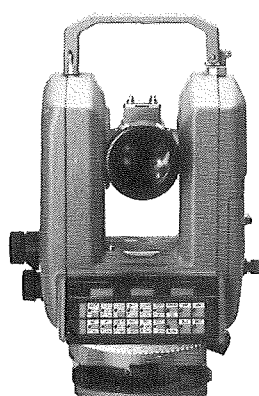
UNIVERSEL + LEGER
T2000 + DI1000



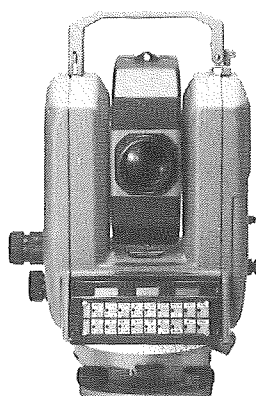
UNIVERSEL + PRECIS
T2000 + DI5



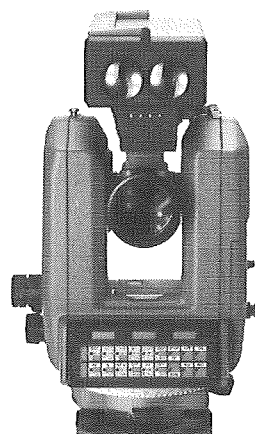
UNIVERSEL + GRANDE PORTEE
T2000 + DI3000



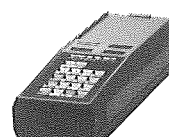
GRANDE PORTEE
5 mm + 1 ppm
0,8 s / 14 km
DI3000



COMPACT
Précision: 0,5"
3 mm + 2 ppm (5 km)
TC2000



INDUSTRIEL + GRANDE PORTEE
Lunette spéciale
T2000S + DI3000



CONFORTABLE
Terminal de données
programmable
GRE 3

G 93B-86

WILD + LEITZ France, 86, avenue du 18-Juin 1940 - BP 326 -
92506 RUEIL-MALMAISON - Tél. : (1) 47.32.92.13 +

**WILD
HEERBRUGG**

Surveillance des déplacements du versant de la Clapière à Saint-Etienne de Tinée (Alpes-Maritimes).

par Paul OLLIE, Maire de Saint-Etienne de Tinée,
André BLANC, Atelier de Topométrie et Métrologie,
Jean-Paul FOLLACCI, Agence de Nice du CETE Méditerranée

Résumé

L'aggravation apparente des spectaculaires désordres qui affectent 100 hectares de la rive gauche de la Tinée en aval de Saint-Etienne et les risques pour la sécurité de la vallée en cas d'accélération brutale, ont conduit les autorités à rechercher un système de surveillance approprié.

Afin de pouvoir espérer déceler les prémices d'une éventuelle catastrophe à temps pour en réduire les effets, il fallait disposer, sur de longues périodes, d'une information à la fois précise, rapide et fréquente sur l'activité du phénomène, ce qui impliquait le recours à un personnel

local sans qualification topographique et excluait toute procédure complexe de mesure et dépouillement.

On a opté pour des mesures de distances entre des prismes fixés à demeure sur le versant mobile, malaisément accessible, et deux distancemètres implantés en bordure de route sur le versant opposé.

En service depuis novembre 1982, avec des mesures hebdomadaires à quotidiennes, le système permet de bien repérer l'intensité des mouvements et ses variations spatio-temporelles.

Il a aussi fourni de précieux éléments pour l'analyse du phénomène.

Des désordres spectaculaires affectent depuis de nombreuses décennies les migmatites de la rive gauche de la Tinée, immédiatement en aval du village de Saint-Etienne de Tinée.

Sur 85 hectares et sur 600 mètres de dénivelée, le versant pentu (35° en moyenne) subit des déformations, fissurations et éboulements.

L'accroissement sensible des dégradations depuis une douzaine d'années a préoccupé les autorités car une accélération continue pourrait, à terme, précipiter tout ou partie de la masse mobilisée dans la vallée.

L'absence de moyens confortatifs efficaces à l'échelle du phénomène a orienté vers deux types d'action :

- la protection passive qui consiste à écarter le plus possible du danger les ouvrages menacés, notamment la route ;
- la surveillance visant à déterminer l'amplitude et la localisation des mouvements, à suivre leur évolution et à pouvoir espérer déceler les prémices d'une éventuelle catastrophe à temps pour en réduire les effets.

Cet objectif requerrait que les mesures soient faciles, rapides, fréquentes et précises et, d'autre part, qu'elles puissent se prolonger durant de longues périodes.

La méthode devait, tout en restant précise, être suffisamment simple et directe, ne pas nécessiter de dépouillement complexe, permettre de recourir à un personnel local et de maîtriser ainsi la fréquence des mesures (l'accroître en cas d'indices menaçants et éviter aussi les fausses alertes, psychologiquement désastreuses).

A ces impératifs, s'ajoutaient les contraintes du site (grandeur et accès malaisé ou, en hiver, impossible) et l'on a écarté, pour la surveillance, le suivi d'alignement, la photogrammétrie terrestre ou aérienne, les triangulations seules ainsi que la fissurométrie, l'extensométrie et l'inclinométrie.

On a opté pour :

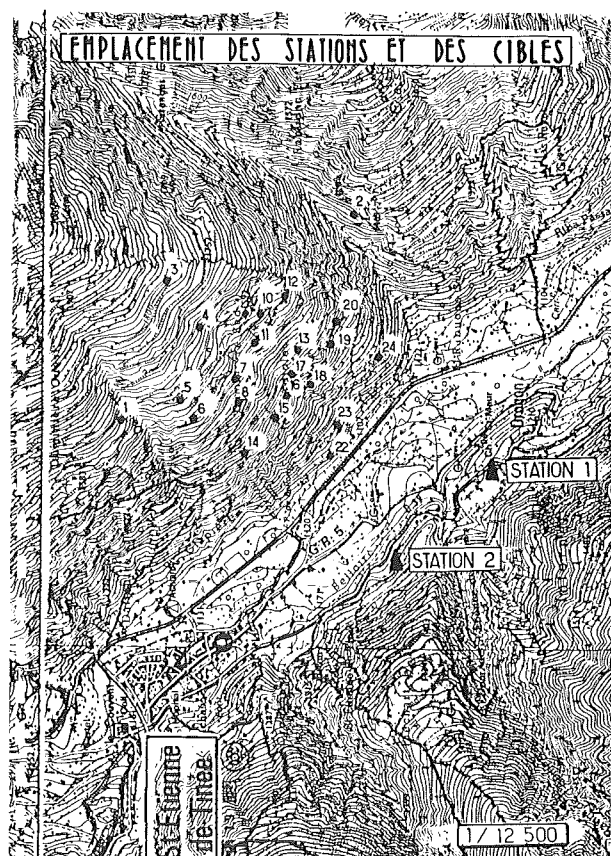
- des mesures de distance hebdomadaires, ou plus fréquentes, entre deux stations implantées en bord de route face au glissement et 24 réflecteurs répartis sur le site et alentours ;
- des positionnements annuels des mêmes réflecteurs par triangulation classique.

Les stations de mesures de distance sont constituées par des piliers dans deux cabanes en dur spécialement construites.

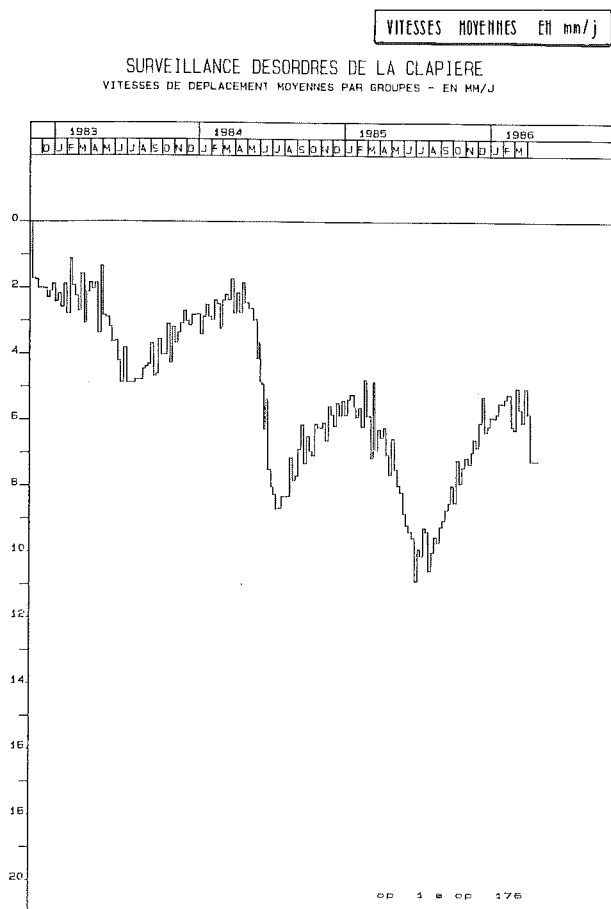
L'appareillage comporte, pour chacune, un distancemètre à infra-rouge Wild Di 20 porté par un théodolite Ertel servant au pointé approximatif vers les réflecteurs à partir de leurs coordonnées angulaires.

Les réflecteurs sont des prismes rétrodirecteurs de caractéristiques variées, selon leur distance aux stations (600 à 1 800 m) ; ils sont surélevés par des cornières scellées et protégés par des caissons pour que l'enneigement n'empêche pas les mesures.

Le distancemètre utilisé peut paraître surpuissant car ses caractéristiques nominales autorisent son utilisation dans une gamme de distance supérieure.



Le choix a été fait afin de permettre le recours à un seul prisme par réflecteur et de réduire ainsi le coût de l'installation laissée sur le terrain exposée au vandalisme, aux chutes de pierres, etc ; une autre raison était de pouvoir s'accommoder de conditions atmosphériques peu favorables.



Les variations atmosphériques sont prises en compte à partir de la visée de 3 cibles fixes implantées à l'extérieur des désordres, mais dans des directions similaires. On calcule un coefficient proportionnel à la moyenne des écarts avec les distances originelles qui est ensuite appliqué automatiquement à la mesure sur les cibles mobiles. On boucle en terminant par une nouvelle mesure des cibles fixes.

Les mesures sont effectuées depuis novembre 1982 par des agents communaux sans qualification topographique qui, entraînés, les réalisent en 45 minutes (1,5 heure pour les 2 stations) et effectuent en 1 heure environ un dépouillement qui donne, en mm/jour, la vitesse de raccourcissement des distances depuis la précédente mesure pour chaque cible ainsi que des vitesses moyennes de groupes de cibles significatifs et de l'ensemble. On dispose ainsi en 2,5 heures d'un indice qualifiant convenablement l'intensité des mouvements et permettant de suivre leur évolution.

La marge d'erreur sur les distances, calibrée par la mesure d'un 4^e réflecteur "fixe", est inférieure à plus ou moins 5 millimètres. Cette précision est adaptée puisque les vitesses constatées sont comprises entre 2 et 50 mm/jour.

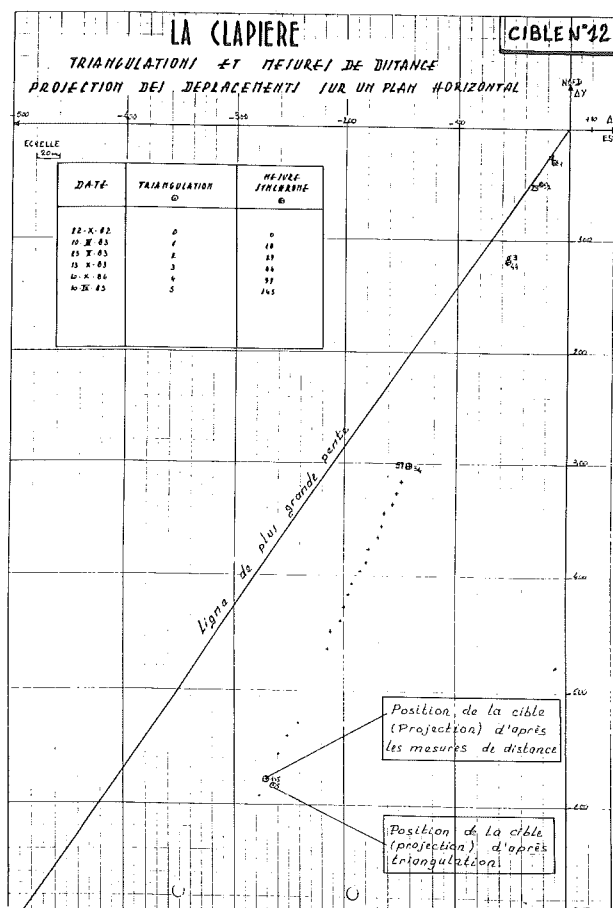
Le système fonctionne sans panne depuis près de 4 ans durant lesquels près de 300 mesures ont été réalisées (3 réflecteurs ont cependant été détruits par les éboulements).

Certes, en l'absence de mesure de direction, la posi-

tion des réflecteurs n'est déterminée par les seules mesures de distance que sur un cercle (centré sur le segment joignant les stations de mesures) et l'on ne peut calculer les vecteurs déplacements : cet aspect purement topographique ne nous a pas paru primordial pour la surveillance d'autant que l'on peut apprécier leur module et leur azimut à l'aide d'une hypothèse simplificatrice.

Les triangulations de contrôle permettent chaque année d'affiner l'interprétation cinématique en resituant les cibles à 25 millimètres près et de vérifier l'immobilité des 3 cibles "étalon".

Il s'avère que la dispersion est faible avec les résultats des mesures de distance mais elles nous semblent néanmoins indispensables.



Cette surveillance a, malheureusement, confirmé le bien-fondé de l'inquiétude des responsables : les mouvements dépassent localement plusieurs mètres par an et ils s'accroissent avec un cycle saisonnier, rythmé essentiellement par la fonte des neiges. Elle justifie a posteriori l'effort réalisé pour son financement, plus difficile à dégager que dans le cas d'un aménagement lourd, hydroélectrique ou autre, où le coût de la surveillance est marginal par rapport à celui de l'ouvrage. Ici, le coût s'appréciait par rapport à celui d'une catastrophe future, hypothétique et douteuse pour beaucoup.

Une automatisation serait possible qui, au prix d'un investissement complémentaire, diminuerait le coût de gestion et accroîtrait très sensiblement la fiabilité grâce à des mesures très fréquentes ou quasi continues et à des dépouillements et transmissions aux responsables en temps réel.

Par ailleurs, la surveillance a fourni des informations précieuses pour interpréter le phénomène, dont l'ampleur et la profondeur sont attestées notamment par le synchronisme des mouvements.

Surveillance de zones de glissements et de modifications techniques.

Le système tachéométrique Géorobot à visée automatique

par Heribert KAHMEN (Université Technique de Vienne (Autriche))
MM. H.R. SCHWENDENER et traduit par P. MIGNAVAL

Résumé

Les dangers découlant de zones de glissements ou de modifications tectoniques de massifs montagneux peuvent être réduits si la cinématique de ces mouvements est suivie en permanence par un système automatique de levée connecté à un ordinateur qui donne les résultats en temps réel. Bien souvent, on doit observer des zones assez étendues (diamètre de quelques km). Pour des raisons d'économie le nombre de points devant être aussi réduit que possible, il faut que la forme de l'objet à surveiller soit schématisée par des points objets individuels. Le choix judicieux de ces points objets revient à une équipe de spécialistes des différentes sciences de la terre.

Les mouvements des points objets ne peuvent en général être déterminés que par rapport à des points fixes qui se trouvent en marge de la zone à observer. Comme de

grandes distances séparent les points fixes des points objets on utilise pour les mesures un tachéomètre électronique approprié. Les mesures pour la prévision des dangers ne peuvent être exécutées automatiquement et exploitées en temps réel que si la visée et la mesure du tachéomètre électronique sont commandées par ordinateur sans intervention d'un opérateur.

Un prototype du système Géorobot, qui répond aux conditions ci-dessus est en service depuis environ 2 ans dans une société minière importante. Il observe les déplacements des points objets distants jusqu'à 2,5 km avec une précision $\sigma = 5$ mm.

Les résultats positifs montrent que le système Géorobot peut entre temps être fabriqué industriellement. Il comprend les composants suivants : théodolite Wild T 2 000 à commandes motorisées, distancemètre Wild DI 5, ordinateur de commande IBM - PC - XT.

Préambule

On décrit un système topographique intelligent qui sans observateur, c'est-à-dire de lui-même, observe un semis de points et interprète les étapes du processus d'observations et les résultats. On présente l'organisation technique du système modulaire, les développements du logiciel pour la commande et le contrôle du système et les résultats.

1 — Introduction

Dans les massifs montagneux, on rencontre souvent des problèmes de sécurité lorsque de grandes zones commencent à se mouvoir ou lorsque des rochers se détachent. On peut parer aux dangers si on connaît la cinématique de la zone, c'est-à-dire si on peut saisir les mouvements dans l'espace et dans le temps. Les mesures géodésiques peuvent apporter une aide importante pour cela. Pour la surveillance de zones de grande étendue, on peut en général avoir recours, à l'observation de variations de longueurs par-dessus la zone à surveiller à partir d'un point de station stable. Comme les mesures doivent être répétées, on utilise avec profit un système électronique de mesures tachéométriques qui, commandé par un ordinateur, travaille automatiquement.

Un processus automatique de mesure et de traitement des données présente les avantages suivants :

- en terrain dangereux les cycles de mesure peuvent être choisis pour se succéder à des intervalles de temps très courts ;
- plus l'intervalle des mesures est court, plus précise est la prédiction des moments de danger ;
- un système d'alerte automatique peut être ajouté ;
- un changement de l'intervalle des cycles de mesures n'a pas d'influence sur les frais de personnel.

2 — Disposition des mesures

Bien souvent on doit observer des zones assez étendues dont le diamètre peut atteindre quelques kilomètres. Pour des raisons économiques le nombre de points doit être maintenu aussi faible que possible. La forme de l'objet à observer doit être généralisée par des points

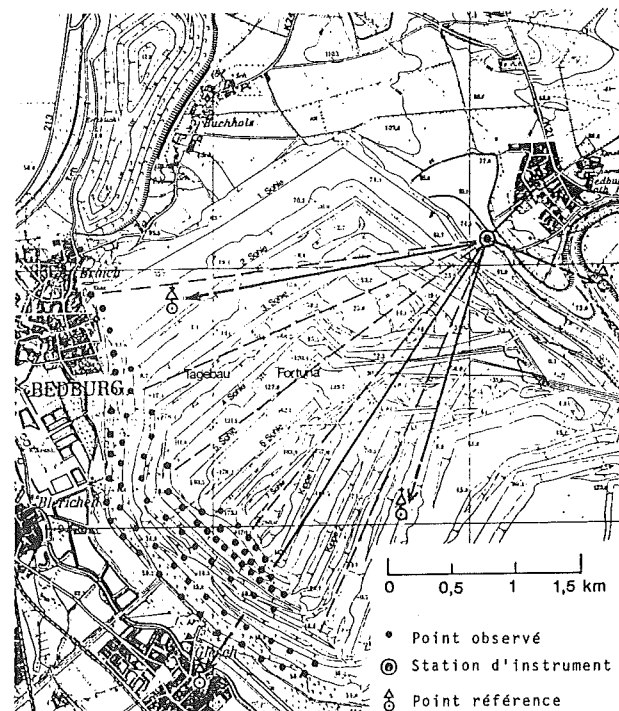


Fig. 1 : Observation des gradins de mine à ciel ouvert par mesure de distances (Nehring 1983).

objets individuels. Le choix judicieux des points objets est du ressort d'une équipe de spécialistes de différentes sciences de la terre.

La figure 1 montre une disposition de mesure pour l'observation des gradins d'exploitation à ciel ouvert qui peuvent atteindre 600 m de hauteur et 3 km de long.

Les points à observer se déplacent en moyenne de 20 cm par an. Pour saisir la cinématique des gradins on utilise la mesure de longueur par-dessus la fosse d'exploitation (2 à 4 km). On ne détermine cependant seulement que le vecteur déplacement dans la direction de la visée mais on obtient très rapidement un indicateur important de mouvement. Avec le système de mesure Géorobot, décrit ci-après, on peut déceler des mouvements dans la direction de la visée et dans les trois dimensions de l'espace. Lors d'observations tridimensionnelles, on fait alors entrer dans les calculs l'azimut et l'angle vertical qui sont aussi enregistrés automatiquement.

3 — Le système de mesure tachéométrique Géorobot

La figure 2 montre le diagramme de structure du système de mesure tachéométrique Géorobot.

L'instrument de base est un tachéomètre électronique, dont les vis de fins mouvements horizontal et vertical sont équipés de moteurs pas à pas (fig. 3). La commande du système de mesure et le calcul du processus de mouvement sont exécutés par un ordinateur du groupe PC (par exemple IBM-PC.XT) utilisé comme un ordinateur processeur et un système microprocesseur réalisé spécialement.

Les opérations suivantes sont à automatiser :

- choix de l'heure de la mesure ;
- choix des points objets à relever ;
- orientation de la lunette du tachéomètre sur les points objets ;
- déclenchement du processus de mesure (angles horizontal et vertical, distance, température, pression atmosphérique) ;

- enregistrement des valeurs mesurées ;
- interprétation du processus de mesure ;
- détermination d'autres cycles de mesure.

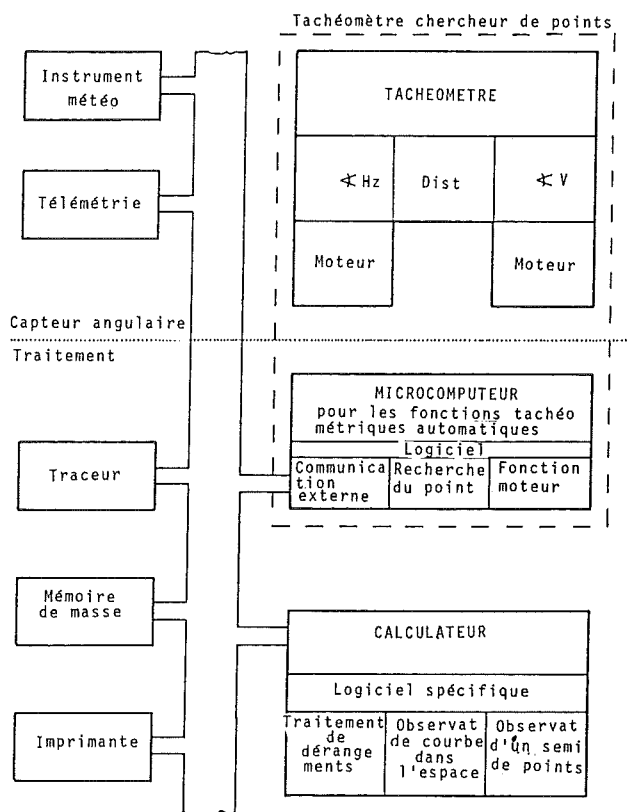


Fig. 2 : Diagramme de structure du système de mesure tachéométrique Géorobot.

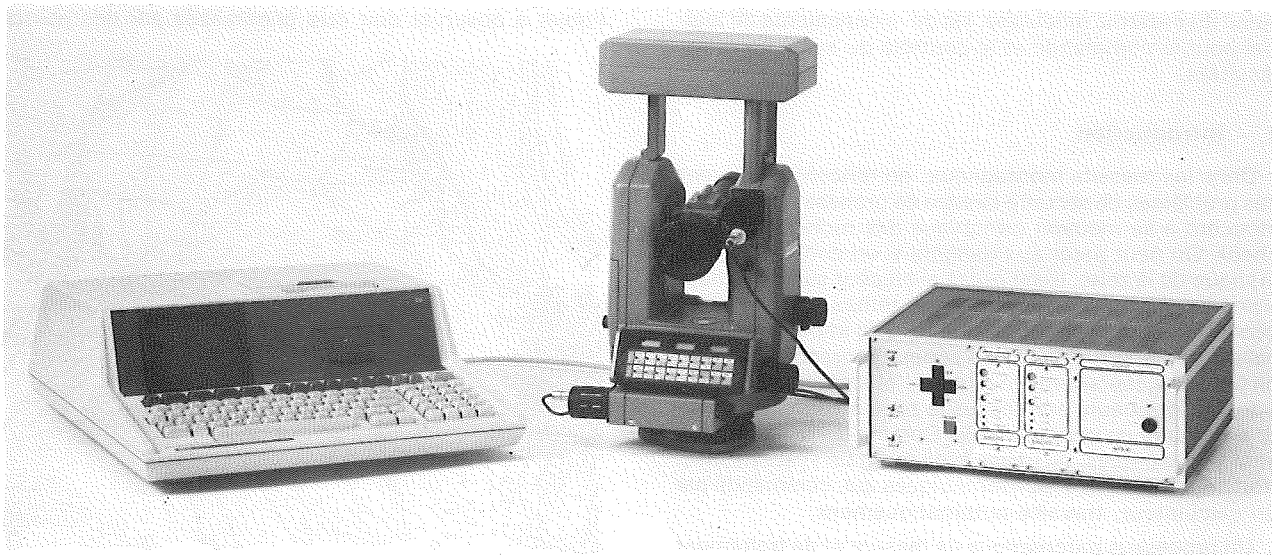


Fig. 3 : Tachéomètre à mouvements motorisés de Wild Heerbrugg.

L'axe des moteurs pas à pas tourne chaque fois d'un petit angle (un pas) de grandeur constante quand les parties bobinées du moteur sont traversées par du courant dans une succession et une direction déterminées. Le nombre de pas est donné par le calculateur de commande. Pour le calcul du nombre de pas pour viser un point le calculateur a besoin de connaître l'angle horizontal et l'angle vertical entre la direction vers ce point et

une direction origine (référence). Pour chaque point à viser automatiquement, il faut que ces angles soient déterminés manuellement lors d'une mesure zéro au début de la campagne de mesure ou qu'ils soient calculés à partir des coordonnées.

Lors du déroulement automatique du cycle de mesure, il faut tout d'abord que le système de mesure de l'angle horizontal du tachéomètre soit orienté. Pour cela, on vise

un point de référence. Pour les visées suivantes vers les points objets, on indique d'abord au microprocesseur le nombre de pas. Celui-ci commande les moteurs en fonction du nombre de pas. Le calculateur de commande demande alors aux capteurs angulaires la lecture des cercles, compare celles-ci aux valeurs à obtenir et donne, si nécessaire, d'autres valeurs de pas pour corriger. Si l'écart angulaire constaté se trouve dans la fourchette prescrite, le calculateur passe à l'étape suivante de la visée automatique qui est basée sur l'analyse de la force du signal retour du distancemètre. On suppose pour cela que la visée est optimale quand l'axe central du faisceau émis par le distancemètre tombe sur le voyant du point objet. Le voyant est représenté par le centre d'un système réflecteur. Un tel cycle de pointé complémentaire est par exemple nécessaire lorsque le point visé s'est déplacé ou si une modification des conditions de réfraction a fait dévier le faisceau de pointé de sa direction origine.

Le système microprocesseur commande alors le cycle de recherche déclenché. En agissant sur les moteurs pas à pas il fait déplacer l'axe optique du distancemètre de façon à ce que l'axe d'intensité maximum du signal décrive une spirale de forme brisée aux abords du système de prismes (fig. 4).

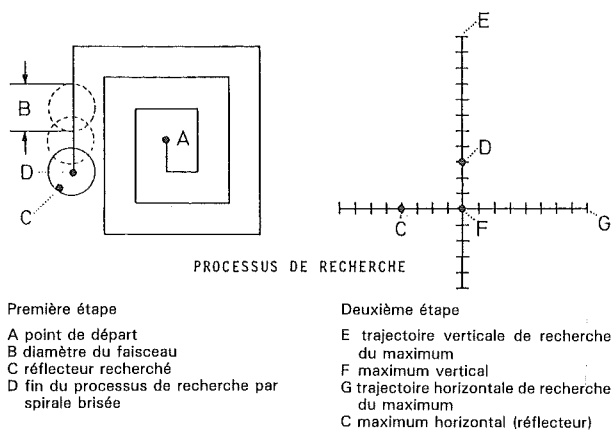


Fig. 4 : Procédé additionnel de recherche lors de déplacement lent du point.

On explore ainsi la région autour du point à viser jusqu'à ce que le distancemètre reçoive un signal suffisamment fort. Le cycle de recherche en forme de spirale est alors interrompu et un fin pointé est déclenché. Celui-ci se déroule par une recherche de maximum dans deux directions perpendiculaires et se termine avec un message de fin au calculateur. Si la recherche est couronnée de succès, un ordre du calculateur déclenche alors la mesure de distance. Si le cycle de recherche n'a pas donné de résultat positif, le processeur envoie au calculateur un message d'erreur approprié et commence à rechercher le point suivant.

Plus de 100 points équipés de prismes peuvent être observés à intervalle de temps prédéterminé. Des circonstances particulières à l'intérieur de la zone à surveiller peuvent nécessiter que seuls des points objet d'une partie de celle-ci soient observés en un cycle de mesure modifié. Ceci peut par exemple être le cas pour un groupe de points ayant une accélération particulière. La délimitation de cette zone de points peut se faire soit automatiquement avec le calculateur à l'aide d'informations introduites au préalable ou manuellement avec le clavier. Le cycle de mesure pour l'observation de zones partielles peut aussi être modifié en cas de besoin, soit automatiquement, soit à l'aide du clavier du calculateur.

La solution purement technique de la recherche et du pointé automatique du point n'est cependant pas suffisante pour l'utilisation automatique d'un système topo-

graphique polaire. Elle représente seulement la première étape du développement. Des perturbations externes, comme par exemple interruptions courtes ou prolongées du faisceau de mesure, effets de conditions météorologiques changeantes, disparition soudaine de voyants de visée, interruption de courant, etc. mettraient rapidement le système hors service. Celui-ci devrait donc en plus être capable d'apprendre. Dans une seconde étape de développement, toute cette expérience, dont normalement un opérateur à l'instrument dispose pour éliminer les cas de dérangement, devrait donc être introduite dans le système à l'aide de logiciel. Cette étape de développement confère au système de mesure un genre "d'intelligence". Une troisième étape de développement comprend la réalisation d'un logiciel spécifique au travail envisagé comme : programmes pour le filtrage des données ainsi que programmes pour analyses des déformations et déclenchements de signaux d'alerte appropriés (Kahmen, Suhre 1983 ; Kahmen, Schwäble, Suhre 1984).

3 — Expérience acquise

Un prototype du système Géorobot est en fonction depuis environ deux ans dans une grande exploitation minière. On y contrôle des escarpements d'environ 500 m de haut et d'environ 3 km de long. Des changements de points objets distants jusqu'à 3 km peuvent être observés avec une précision = 5 mm (écart type). Les résultats positifs obtenus ont permis entre temps une fabrication industrielle du système Géorobot. Il se compose des éléments suivants : Théodolite Wild T 2000 à mouvements motorisés, distancemètre Wild DI 15, calculateur IBM-PC.XT.

BIBLIOGRAPHIE

Kahmen, H., H. Suhre

Ein lernfähiges tachymetrisches Vermessungssystem zur Ueberwachung Kinematischer Vorgänge ohne Beobachter.

Un système de mesure tachéométrique "pouvant apprendre" pour la surveillance d'événements cinématiques sans observateur.

Zeitschrift für Vermessungswesen, 108/1983, p. 345-351.

Kahmen, H. R. Schwäble, H. Suhre

Ein "intelligentes" polares Vermessungssystem für die Beobachtung statischer Punktfelder und kinematischer Vorgänge.

Un système "intelligent" de mesures topographiques polaires pour l'observation d'un semis de points statiques et d'événements cinématiques.

Zeitschrift für Vermessungswesen, 109/1984, p. 553-563.

Nehring, H.

Markscheiderische Deformationsmessungen an Tagebauböschungen.

Mesures de déformations sur les flancs des excavations des mines à ciel ouvert.

Zeitschrift für Vermessungswesen, 109/1983, p. 339-345.

ADRESSE

O. Univ. Professor Dr.-Ing. H. Kahmen

Technische Universität Wien

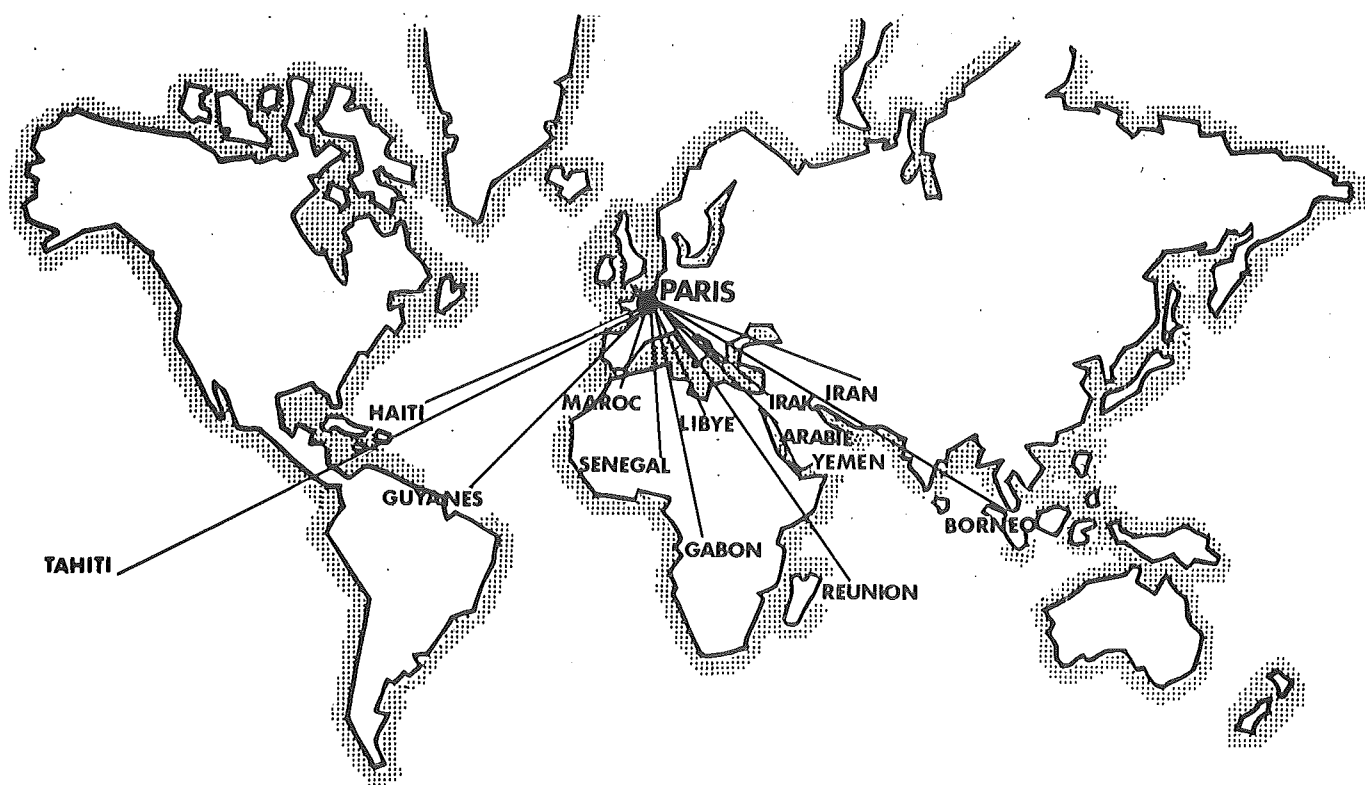
Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie
Abt. Ingenieurgeodäsie

A-1040 Wien

Gusshausstrasse 27-29

BLANCHET LOCATOP

LOCATION D'ENSEMBLES INFORMATIQUES
ET D'ÉQUIPEMENTS DE TOPOGRAPHIE



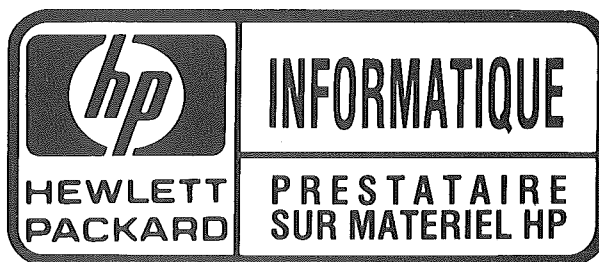
DANS LE MONDE ENTIER

• de HAITI à TAHITI, du YEMEN à BORNEO, comme dans plusieurs dizaines d'autres pays, le matériel de BLANCHET LOCATOP a été utilisé sur les chantiers les plus divers.

• de la mer du NORD au GOLFE PERSIQUE, du GABON à l'EGYPTE, les ensembles informatiques HEWLETT-PACKARD de BLANCHET LOCATOP équipent les agences et les plateformes de forage des grandes entreprises pétrolières.

BLANCHET LOCATOP

8, rue Jasmin, 75016 PARIS. Tél. : (1) 42.24.01.40
Télex : 615.175 F



Mesures de déformations dans la zone des Afars

par M. KASSER, IGN

A. Les travaux géodésiques de surveillance tectonique à Djibouti

Le premier réseau de surveillance géométrique de la zone de rift Assal-Ghoubbet (République de Djibouti), a été mis en place par l'Institut Géographique en 1972-1973 (voir fig. 1).

Depuis la crise sismo-volcanique de novembre 1978 (voir fig. 2) où un nouveau volcan, baptisé Ardoukoba a pris naissance, plusieurs séries d'opération de terrain ont eu lieu. Elles ont permis de montrer que des mouvements très importants se sont produits dans cette zone active et de susciter des études de détail ; ceci a abouti à la densification et à la multiplication des sites de mesures, certains accidents ayant été l'objet de surveillance régulière et continue depuis lors.

B. Les mesures sur le réseau intra-Rift (voir fig. 3)

Elles ont été menées avec un appareil électronique de mesure de distances à onde infrarouge, le Géodimètre AGA 14 A. L'erreur minimale de mesure est caractérisée par un écart-type de $\sqrt{a^2 + b^2} D$ avec $a = 5$ mm et $b = 2$ mm/km et doit être éventuellement majorée dans les cas où la propagation de la lumière n'est pas bonne (turbulences par exemple).

Les côtés mesurés étant généralement courts (3 à 5 km), l'écart-type sur les mesures reste voisin de 1 cm.

Par ailleurs, les mesures sont effectuées dans des conditions généralement identiques, ce qui permet une analyse comparative directe des valeurs brutes.

Cette comparaison des mesures fait apparaître des mouvements d'extension dans le plancher interne allant jusqu'à 16 cm en 3 ans. Par ailleurs, les mesures intermédiaires entre novembre 1979 et 1983, lorsqu'elles existent, montrent que les phénomènes mis en évidence sont très généralement à peu près linéaires dans le temps. (Exemple en fig. 4, rejeu d'une faille mesuré régulièrement environ une fois par mois).

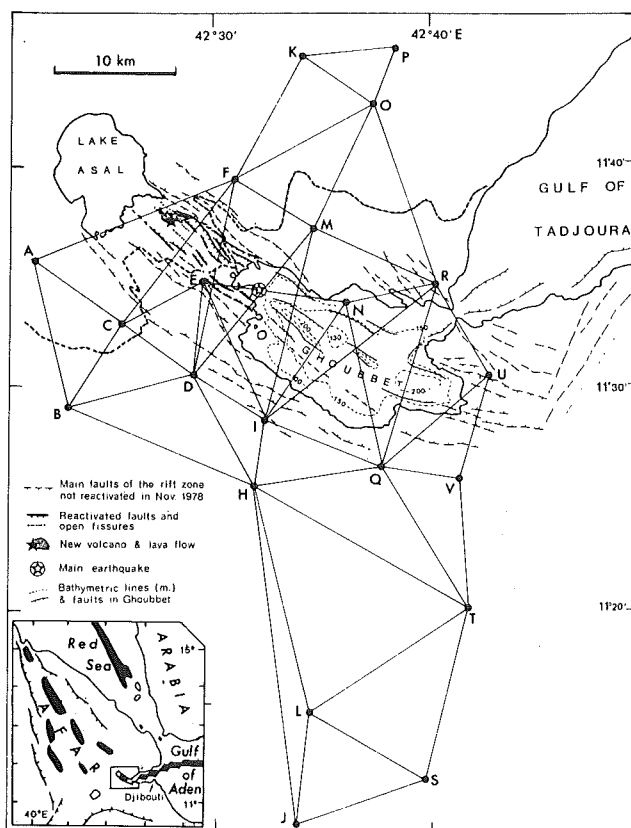


Fig. 1 — Réseau géodésique à grands côtés, implanté en 1972-73. Il y a 22 sommets, plus un itinéraire (en pointillé) de 100 km de nivellement de haute précision.

Les remesurages fréquents assurés en particulier depuis l'Observatoire Géophysique d'Arta, mettent en évidence des mouvements dans la zone de plancher interne ininterrompus depuis 1978, et susceptibles d'être modélisés comme un réajustement élastique après rupture. En tout cas, ces mouvements détectés de manière très localisée apparaissent comme numériquement notables, plusieurs accidents rejoignant en effet à des vitesses de l'ordre du centimètre par an.

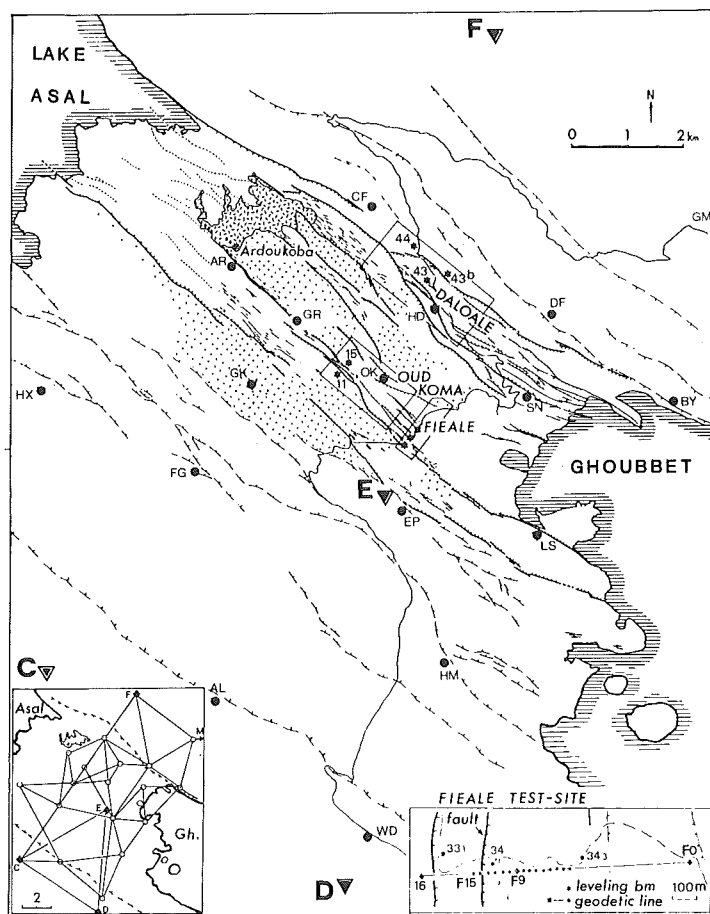


Fig. 3 — Densification du réseau de 1972-73 dans la zone centrale où les mouvements sont importants. Les triangles désignent les points du grand réseau, et les ronds, ceux du réseau intra-rift. Dans l'encadré, certaines des visées effectuées.

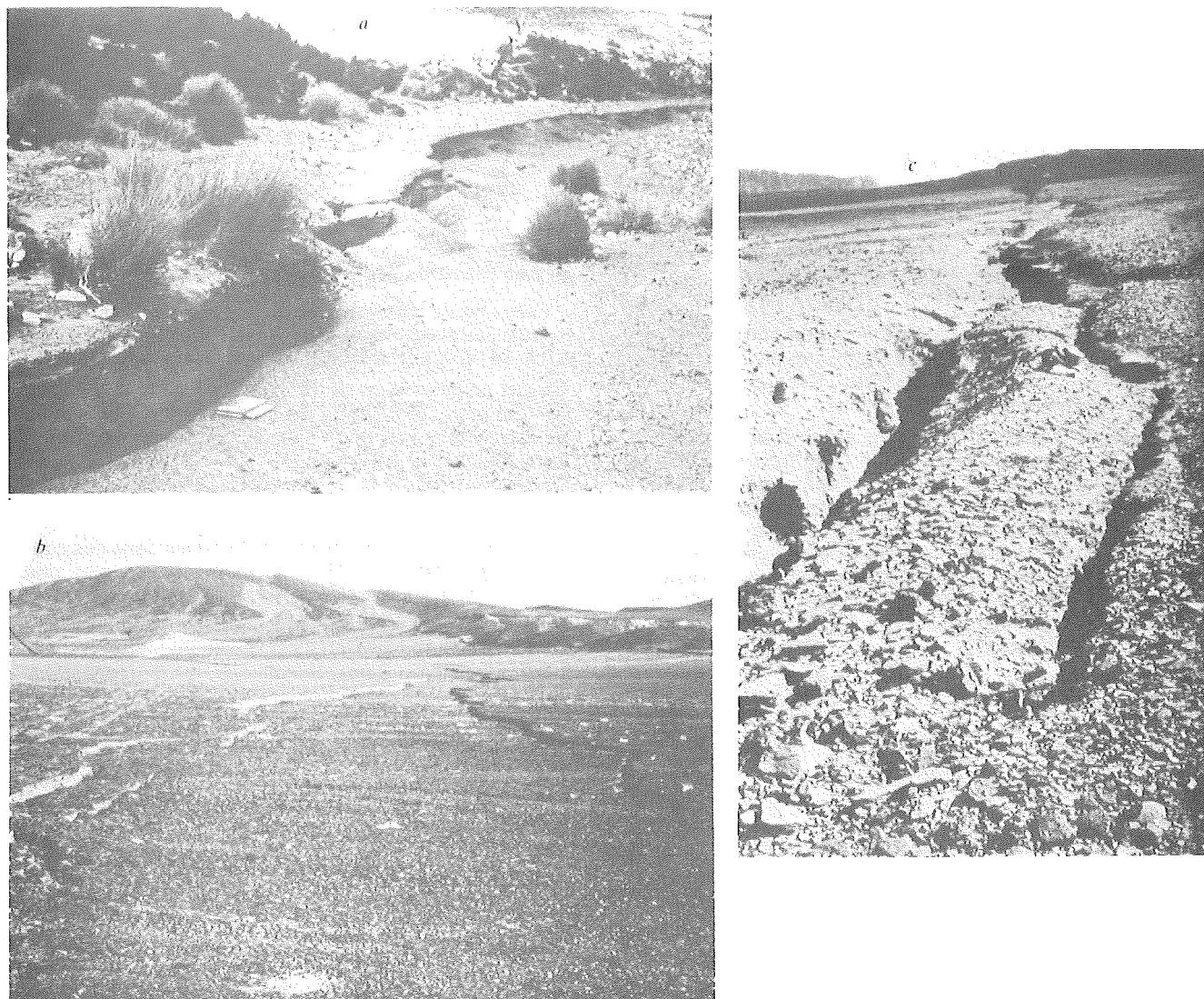


Fig. 2 — Failles ouvertes en 1978 pendant la crise sismo-volcanique de novembre. Ces failles sont généralement des failles anciennes plus ou moins visibles et qui ont rejoué. L'ouverture totale était de plusieurs mètres d'après les mesures faites juste après la crise.

C. Les mesures sur le réseau géodésique de 1972-73 (cf. fig. 1)

Ce réseau de 22 stations, équivalent à un réseau de 2^e ordre, a été mesuré en 1972-73 en trilatération et triangulation simultanément en utilisant un Aga 8 à laser et des théodolites T3. Compte tenu des moyens disponibles lors des opérations en 1978 et les années suivantes, et de l'intérêt de cette zone au plan géophysique, une optimisation des moyens de mesure a été recherchée et la solution retenue a toujours été depuis lors l'emploi d'appareils de mesure de distance à laser (Aga 8, Aga 600, Rangemaster II). La précision obtenue reste excellente (en moyenne 1 mm/km) et la rapidité de mise en œuvre considérable (quelques jours). Les mesures ont lieu de nuit ; en effet, il est indispensable de connaître la température de l'air avec précision et le jour, le rayonnement solaire rend cette opération difficile ; par ailleurs, à Djibouti, la visibilité médiocre rend délicate la mesure de longues distances de jour. De même, un itinéraire de nivellement de 100 km a été mesuré en aller-retour, avec une erreur probable kilométrique de 1 mm/km (voir résultats de comparaison fig. 5).

D. Mesures de photogrammétrie à fort recouvrement (cf. fig. 6)

Par ailleurs, en 1984, une opération de photogrammétrie à fort recouvrement a été menée dans la zone cen-

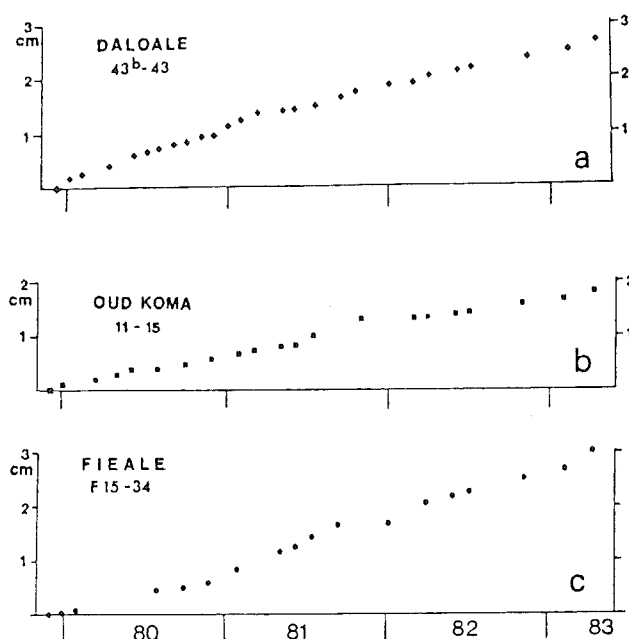


Fig. 4 — Mouvements quasi continus observés sur certaines failles observées en nivellement de précision, entre 1979 et 1983.

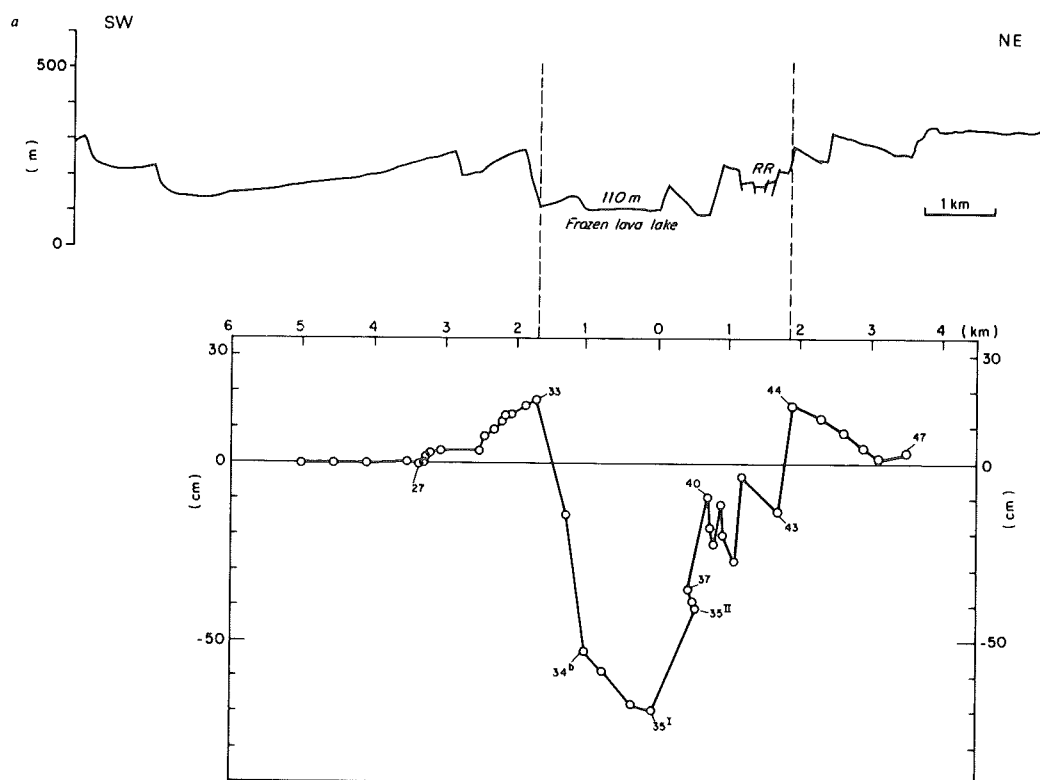


Fig. 5 — Mouvements verticaux sur l'itinéraire de nivellement de précision entre 1973 et 1978, consécutifs à la crise sismo-volcanique. Les mouvements sont à comparer au profil en travers de la topographie (au-dessus).

trale dont l'activité est élevée. Environ 350 cibles ont été fixées sur le terrain ou peintes sur des rochers, et une vingtaine d'entre elles ont été incluses dans une réobservation de la géodésie intra-Rift. Un survol en hélicoptère à basse altitude, en utilisant une chambre de prise de vues Wild RC 8, a permis d'obtenir des clichés ayant un recouvrement moyen de 85 %. De sorte qu'en général, une cible est visible sur au moins 6 images. Un calcul d'aérotriangulation permet alors de connaître dans le référentiel des points d'appui, les coordonnées des cibles avec une excellente précision (2 à 3 cm en général). Lors des futures opérations nous aurons ainsi une carte des déplacements des 350 cibles en ne fournissant que le travail d'observation des 20 points d'appui.

6) Discussion : méthodologies optimales pour la surveillance de zones instables

Il y a plusieurs niveaux de surveillance possibles :

1) Mesures en continu en mode automatique.

Il existe jusqu'ici très peu de matériels utilisables, et ils ne fournissent que des données locales en général : c'est le cas des inclinomètres, des extensomètres et des fissuromètres par exemple. Ces appareils peuvent être très précis et sont facilement informatisés ou télétransmissibles, mais ils sont très sensibles au bruit local (soleil, température, niveau d'eau dans les nappes phréatiques).

2) Mesures manuelles discontinues sur de petits réseaux

Il s'agit, par exemple, de petits profils de nivellement (100 m entre repères) faciles à observer, de géodésie à petits côtés, etc... où les aléas météorologiques sont quasi inexistantes, et où le coût de la mesure est faible.

De telles mesures sont quasiment insensibles aux bruits locaux et donnent une bonne précision, mais elles passent par un "échantillonnage" de la zone dont il est toujours très délicat de dire s'il est représentatif. De plus,

des mouvements rapides (quelques secondes — quelques heures) sont généralement ignorés.

3) Observation lourde de grands réseaux

Il s'agit de séances de mesures longues de géodésie ou de nivellement, avec des moyens en personnel et en matériels conséquents. Des opérations de ce genre sont onéreuses et ne peuvent être faites souvent (1 ou 2 fois par an par exemple). Par contre, il n'y a plus aucun risque de gêne par les bruits locaux, et les mouvements à grande longueur d'onde seront vus aisément. La précision des mesures sera généralement limitée par des effets météorologiques (réfraction, température, visibilité).

Toute surveillance complète est finalement obligée d'employer un peu de ces trois niveaux de mesure. L'optimisation consiste à analyser ce qui est financièrement disponible pour l'équipement en matériel de base, et ce qui l'est pour le fonctionnement, et à considérer ce qui est le plus intéressant pour le suivi du phénomène, quels sont les constantes de temps et les longueurs d'onde de ce que l'on veut mesurer.

Les méthodes existantes vont s'enrichir du côté des appareils de géodésie par satellite dans deux directions : le GPS bien connu maintenant, destiné aux grands réseaux en observation manuelle classique, et le système Doris qui sera lancé par le CNES en 1988 sur le satellite Spot 2 et dont les balises de terrain sont actuellement à l'étude. Ce dernier système sera a priori une excellente réponse pour le problème de surveillance en continu, avec une précision centimétrique et une constante de temps d'un jour environ, joint à un système de collecte de données centralisé et automatique peu onéreux.

Le dernier problème sur lequel nous insisterons est celui de la validité de l'échantillonnage du milieu que représente le choix des repères planimétriques et altimétriques. Il faut toujours faire l'hypothèse (contraignante !) que le point se déplace comme le milieu environnant. On ne peut

conforter cette hypothèse que si les points sont nombreux et permettent des tests statistiques, mais vu le prix du point géodésique classique, c'est généralement inaccessible. La photogrammétrie de précision à fort recouvrement est conçue comme une réponse à ce problème. Mise en œuvre dans des chantiers délicats (route d'accès au tunnel du Fréjus, Piton de la Fournaise à la Réunion), elle produit une grande densité de points à un coût très réduit, au prix d'un investissement important lors de la première opération (ciblage).

Conclusion : Ces travaux, financés par le CNRS et par l'IGN, ont permis de mettre au point des méthodes dérivées de la topographie classique mais optimisées pour la surveillance et, dans certains cas, entièrement originales. Cela montre combien peut être fructueuse la col-

laboration de spécialistes de domaines voisins (géophysiciens, topographes), dès lors qu'ils s'associent dans un but commun. Dans bien des cas, l'économie de la collaboration avec le topographe paraît évidente pour celui qui ne connaît cette profession que de loin. Et dans beaucoup de cas, il en résulte une très médiocre optimisation de l'effort fourni vis-à-vis du résultat obtenu.

La Géométrie au sens large est desservie par la simplicité apparente des méthodes employées. Nous devons rappeler à chaque occasion qu'elle représente une technique à part entière, qu'elle évolue rapidement et qu'elle permet de fournir des données d'autant plus remarquables et utiles qu'elles sont, ici, toujours d'une interprétation immédiate et instinctive, et donc faciles d'emploi et fiables.



Fig. 6 — Montage de photos aériennes de la zone Asal-Ghoubbet montrant les épanchements de laves (en noir) et la fracturation NW-SE très active.

REPRODUCTION PHOTOGRAPHIQUE

<ul style="list-style-type: none"> ● agrandissements ● réductions ● remises à l'échelle en tous formats ● réductions/assemblages de plans à échelle imposée 	<ul style="list-style-type: none"> ● confection ● reproduction ● travaux spéciaux sur mosaïques topographiques 	<ul style="list-style-type: none"> ● travaux sur supports polyester ● typons offset tramés ou trait
---	---	---

HAUTE PRECISION

LART

PHOTO-REPROGRAPHIE PHOTO-CARTOGRAPHIE

LES APPLICATIONS DE LA REPRODUCTION TECHNIQUE

5, rue de la Véga
75012 PARIS

(1) 43.47.15.92

Prévention des risques naturels par télédétection

par Daniel BELLAN, Département de Télédétection, Institut Géographique National

Résumé

La prévention des risques naturels nécessite une connaissance approfondie des phénomènes engendrant ces risques. Une étude par télédétection permet une approche rapide, homogène et relativement peu coûteuse sur de grandes surfaces débouchant sur une cartographie du risque. Les documents issus de l'étude seront de deux types : les cartes de constat établies par observation des phénomènes passés ou actuels, et les cartes de zonage du risque. L'établissement d'un document de prévention passera par un constat lié à l'étude des conditions de milieu et des facteurs défavorables, pour aboutir par analogie à une délimitation des zones présentant les mêmes

conditions et facteurs défavorables. Une telle méthode peut s'appliquer à la plupart des risques naturels : avalanches, mouvements de terrain, inondations, incendies de forêt, érosion des sols...

La photographie aérienne reste l'outil principal de ce type d'étude. Les prises de vues successives sur une même région à moyenne ou grande échelle permettent d'analyser en détail le comportement des différents phénomènes et de suivre leur évolution. La thermographie est un complément intéressant pour évaluer certains facteurs. La bonne définition et la répétitivité des images du satellite SPOT rendent possible le suivi de certains phénomènes, en particulier inondations et avalanches.

Introduction

Dans l'étude et la prévention des risques naturels, la télédétection apporte des moyens d'investigation rapides, peu coûteux, applicables sur de grandes surfaces, permettant dans certaines limites l'élaboration de différents documents : constat, zonage du risque, évaluation des dommages potentiels, facteurs aggravants. Les moyens utilisés sont surtout la photographie aérienne dans les études de détail, la thermographie, les images de satellite pour les phénomènes de grande ampleur, l'observation multi-temporelle assurant le suivi de l'évolution des phénomènes. L'approche par télédétection sera plus ou moins complète suivant le type de risque étudié : avalanches, mouvements du sol, incendies, inondations.

Les applications de la télédétection à l'étude des risques naturels sont multiples, d'importance variable suivant le type de risque étudié, mais jamais négligeable.

Au niveau le plus général, l'aide apportée par la télédétection au développement des sciences de la terre n'est plus à démontrer : une meilleure connaissance de la dynamique des phénomènes naturels constitue déjà la plus élémentaire des préventions.

Au niveau du phénomène engendrant un risque, l'étude par télédétection permettra une approche plus ou moins complète débouchant sur l'élaboration de documents intéressants la prévention et pouvant revêtir plusieurs formes : cartes de zonage du risque, cartes de constat, représentation cartographique des préjudices possibles,

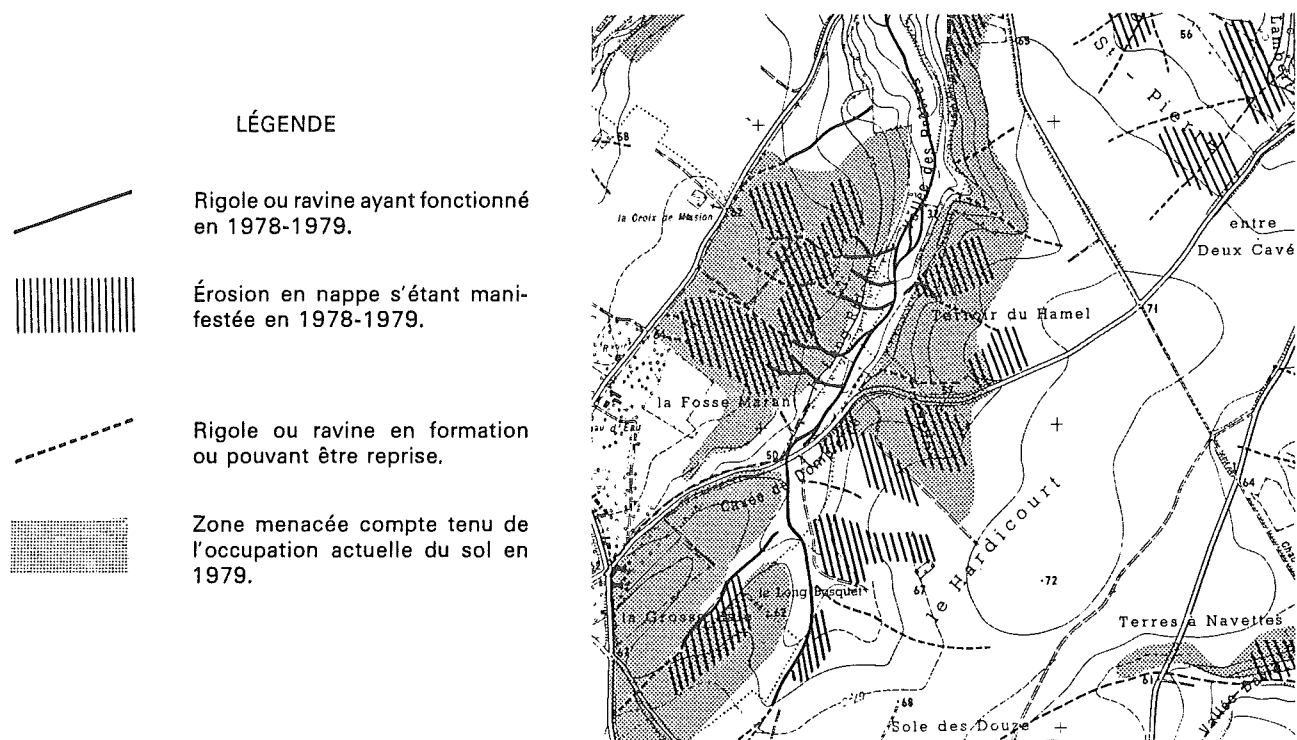


Figure 1 : Extrait de carte de constat et de prévention de l'érosion des terres. 1 : 25 000.

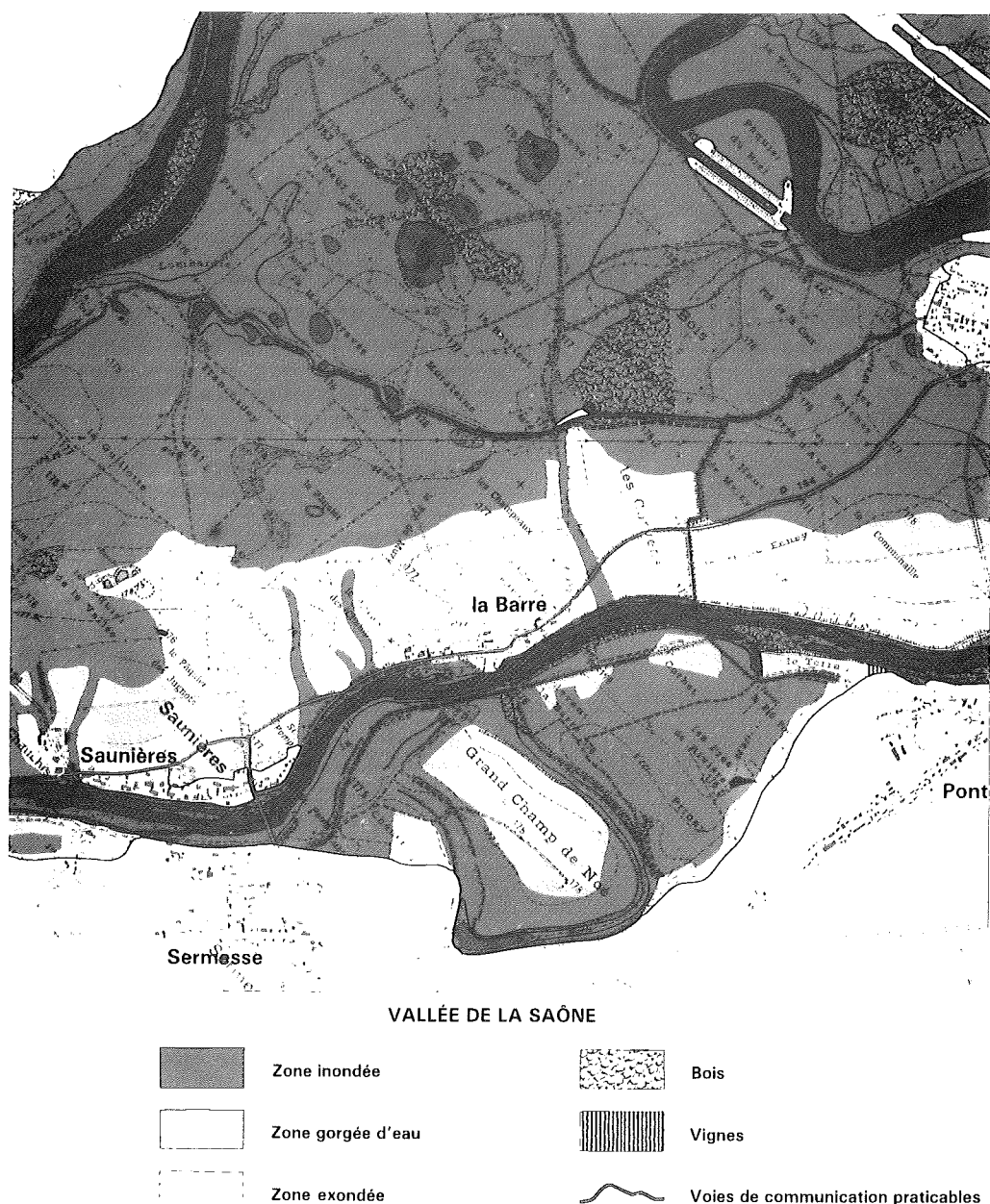


Figure 2 : Extrait de carte de constat d'inondation. 1 : 25 000.

des moyens de prévention et éventuellement de lutte contre les sinistres.

I. — LA TELEDETECTION : Avantages et limites

On pourra définir la télédétection, en la limitant à ses aspects opérationnels dans le domaine des risques naturels, comme la saisie, le traitement et la présentation des données acquises par l'observation de la surface terrestre dans différentes longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique. Dans la pratique, on utilisera surtout la photographie aérienne, les enregistrements thermographiques et hyperfréquences, et l'imagerie de satellite. L'interprétation des résultats pourra être effectuée manuellement (par exemple photo-interprétation) ou assistée par ordinateur (par exemple classifications automatiques).

L'utilisation de la télédétection présente des avantages importants : rapidité de mise en œuvre et d'exploitation, prix de revient relativement modeste, interven-

tion sur des régions peu connues ou difficiles d'accès, homogénéité de l'étude, investigation applicable sur de grandes surfaces.

Cependant ses possibilités sont limitées. L'image obtenue par télédétection est une visualisation de la surface terrestre à une échelle donnée. Beaucoup de phénomènes souterrains présentent peu ou pas d'indices de surface et vont ainsi échapper à l'investigateur ; c'est le cas de certains risques liés aux mouvements du sol, et c'est surtout le cas du risque de séisme où la télédétection est particulièrement démunie pour une étude préventive. La précision de l'observation est également limitée par l'échelle. Suivant le type de risque étudié, la nature de l'information recherchée et la précision demandée, l'approche par télédétection pourra être très fine ou incomplète. Ces lacunes peuvent souvent être comblées par l'utilisation d'autres procédés d'acquisition de données tels que les observations de terrain, les méthodes géophysiques, les sondages, les levés directs, etc... On ne devra pas considérer la télédétection comme un moyen d'étude complet et concurrent des autres méthodes, mais comme un outil utile, indispensable même, mais

d'usage limité, et complémentaire des moyens d'investigation propres à chaque science et des techniques d'observation directe. Ces raisons amènent à préciser certains impératifs devant guider une recherche basée sur la télédétection : tout d'abord une meilleure connaissance possible du sujet étudié, une bonne solution étant la collaboration avec les spécialistes de celui-ci ; ensuite une référence constante au terrain permettant d'étalonner les observations et d'éviter toute dérive.

L'observation multi-temporelle sera très utile dans le domaine des risques naturels pour suivre l'évolution des conditions du milieu dans les zones à risques, pour étudier les variations des différents facteurs aggravants et pour effectuer les constats d'événements. La réalisation d'enregistrements à des périodes déterminées autorise le choix de bonnes conditions d'observation (période et heure favorables pour faire ressortir certains indices) et des vecteurs et capteurs adaptés (échelle, émulsion photographique ou capteur sélectif). Cependant la mise en place de moyens aéroportés est assez coûteuse, et la réalisation d'une mission spéciale ne se justifiera que pour des phénomènes à haut risque et avec une bonne garantie d'efficacité. Il faudra le plus souvent se contenter des observations multitemporelles à l'aide de documents déjà enregistrés sur une même région : collections de photographies aériennes, thermographies et imagerie satellite. L'existence notamment des missions photographiques échelonnées dans le temps, une dizaine en moyenne en chaque point du territoire métropolitain, permet une bonne variété des conditions d'observation et un suivi de l'évolution des phénomènes naturels.

La photographie aérienne

Malgré le développement des autres moyens de la télédétection, la photographie aérienne reste l'outil principal. Elle est bien connue et utilisée par la plupart des spécialistes des risques naturels. Son efficacité est augmentée en faisant jouer ses variables suivant l'objet de l'étude : échelle, émulsion, période de prise de vues. Elle fournit par l'observation stéréoscopique un excellent modèle de terrain et sera souvent utilisée comme premier niveau de "vérité-terrain" dans l'exploitation des autres procédés de télédétection, par exemple pour l'interprétation des thermographies ou des images de satellite. Le domaine d'utilisation de la photo-interprétation couvre la plupart des risques naturels, on notera des applications particulièrement intéressantes en matière d'avalanches et de mouvements du sol.

La thermographie

La thermographie est une technique d'acquisition de l'image thermique du sol. Le capteur aéroporté se compose d'un système à balayage, d'une cellule détectrice sensible dans l'infra-rouge thermique et d'un enregistreur. Une baie de restitution réalise la transcription sous forme d'image photographique. Celle-ci sera très différente d'une image obtenue dans le visible, et une comparaison avec la photographie aérienne permettra la sélection des anomalies thermiques pouvant concerner le risque étudié. Les détails observés sont intéressants soit par leur température elle-même, comme dans le cas d'une recherche de foyers d'incendies, soit par les conclusions tirées de leur disposition et de leur répartition. Les différences de propriétés thermiques des corps (chaleur massique, conductivité thermique, émissivité) font apparaître par l'intermédiaire de la température de surface des discontinuités du sol et du sous-sol d'un intérêt évident en matière de mouvements de terrain. Il en est de même pour la présence d'eau libre et la teneur en eau des sols. La comparaison entre deux enregistrements thermographiques réalisés en période chaude et en période froide (par exemple le jour et la nuit, en prenant le maximum d'amplitude thermique) donnera une visualisation de

l'inertie thermique des sols et fera apparaître plus nettement encore les discontinuités. On peut espérer par cette méthode encore à l'état de recherche pouvoir localiser des cavités souterraines peu profondes (anciennes carrières, karsts) et ainsi prévenir les risques d'effondrements. Nous citerons quelques applications opérationnelle de la thermographie : recherche de sources et de traces d'humidité (application possible à l'étude des glissements de terrain), détection de foyers résiduels d'incendies de forêt et de foyers souterrains, recherche de fuites dans des digues de canaux.

L'imagerie satellitaire

Les images de satellite ont été peu utilisées jusqu'à maintenant en matière de risques naturels, en raison de leur faible résolution. On citera tout de même les cartes de constat d'incendies de forêt réalisées par classification automatique sur ordinateur à partir d'images du satellite Landsat. De nouvelles possibilités s'ouvrent avec le lancement récent du satellite français Spot. Nous en rappellerons quelques caractéristiques : une répétitivité de deux jours pour la France, permettant d'espérer 5 à 6 couvertures utilisables par an ; deux modes d'acquisition : panchromatique avec une résolution de 10 m, et multibande (dans le vert, le rouge et le proche infra-rouge) avec une résolution de 20 m ; possibilité d'observation stéréoscopique des images. Plusieurs applications sont envisageables en matière de risques naturels, surtout dans le domaine du constat : avalanches, inondations, mouvements de dunes, érosion, incendies de forêt, état sanitaire de la végétation.

DETECTION DE FOYERS D'INCENDIE PAR THERMOGRAPHIE

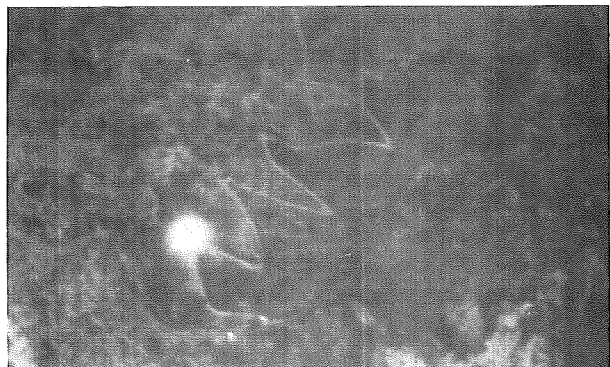
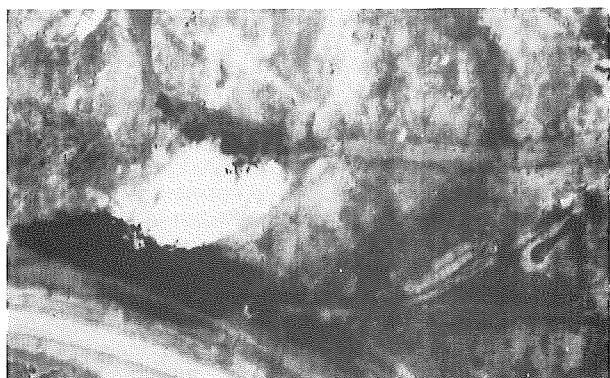


Figure 3 : Foyer résiduel d'incendie de forêt.



Les anomalies thermiques localisées sur le croquis correspondent à des foyers.

Figure 4 : Détection de foyers souterrains.

II. — APPLICATION A L'ETUDE DES RISQUES

Les résultats de l'interprétation des images obtenues par télédétection, y compris et surtout la photographie aérienne, feront l'objet d'une cartographie des risques que l'on pourra concevoir sous différentes formes.

Les cartes de constat transcrivent l'ampleur d'un phénomène à partir de preuves visibles : soit observation du phénomène lui-même (cas d'une intervention par télédétection sur une région inondée par exemple), soit observation des traces laissées au sol. La surface du sol porte l'empreinte de tous les événements passés et la constatation pourra être quelquefois assez délicate. Pour un certain nombre de risques, le stade de constat est nécessaire pour passer à un essai de prévision, c'est-à-dire à une carte de zonage du risque. Pour les phénomènes répétitifs sur un site donné et si on dispose de séries d'observations anciennes, à la fois datées et localisées, il sera possible par l'application de lois statistiques d'affecter une probabilité, dite période de retour, à une certaine extension du phénomène. On pourra alors soit déterminer la période de retour de l'événement constaté, soit par une photo-interprétation très détaillée mettre en relation des traces de phénomènes passés et une période de retour donnée. Une telle méthode, déjà partiellement appliquée à l'étude du risque d'inondation, pourrait être étendue à d'autres domaines comme par exemple à certaines avalanches ou certaines laves torrentielles.

Pour les phénomènes potentiels sur un périmètre présentant certains facteurs de risque, une étude par télédétection tentera de délimiter le risque futur à partir de l'identification d'événements actuels ou passés. Un constat sera réalisé par observation des indices d'activité et des formes laissées au sol. La démarche doit s'appuyer sur une enquête de terrain pour compléter l'investigation et bénéficier de l'expérience acquise par les habitants de la région et les spécialistes (renseignements oraux et archives). Au cours du constat on se préoccupera surtout de déterminer les conditions d'apparition des phénomènes et l'importance des facteurs aggravants ou favorables. La délimitation par analogie des zones où les conditions d'apparition sont réunies ainsi que l'appréciation des critères de fréquence et d'intensité constituent évidemment la phase la plus délicate de l'étude et comportent une forte part de subjectivité.

Les résultats obtenus par télédétection sont généralement publiés sous forme de cartes à échelle moyenne (1 : 25 000). Celles-ci ne constituent qu'une approche même si elle est localement très complète, et sont complémentaires d'autres moyens d'étude. Ayant surtout une valeur indicative, elles ne comporteront pas d'évaluation du degré de danger.

Avalanches

En matière d'avalanches, la méthode développée par la Division Nivologie du CEMAGREF et l'IGN fait appel à la photographie aérienne. La Carte de Localisation Probable des Avalanches (CLPA) comporte deux versions superposées : une version "enquête sur le terrain" qui est une carte de constat établie à partir de renseignements oraux et d'archives, et une version "photo-interprétation" dressée à partir de photographies aériennes prises en été. Celle-ci est également une carte de constat, non des événements eux-mêmes, mais des traces qu'ils ont laissées (formes d'érosion et d'accumulation, dégâts) en prenant également en compte certains facteurs de déclenchement (zones d'accumulation, modelé favorable, exposition, conditions de sol et de végétation) et la morphologie du trajet (dénivelée, pente, profil de versant, ressauts, obstacles...). Il faut noter qu'aucune synthèse n'est réalisée par le photo-interprète entre les deux versions. Cette formule permet à l'utilisateur de tirer lui-même les conclusions de deux approches

différentes. Il est vraisemblable que les images Spot rendront possible le constat de nombreuses avalanches et pourront apporter un complément à l'enquête permanente réalisée par les services concernés, surtout dans les régions peu fréquentées.

Mouvements de terrain

La photo-interprétation est actuellement très utilisée pour l'étude des risques de mouvements de terrain. Un exemple d'approche par étude des photographies pourra être résumé ainsi : pour les phénomènes actifs ou anciens on effectue un constat des conditions de déclenchement, de l'extension et de la zone d'arrivée. Pour les événements anciens, l'extension de plusieurs phénomènes successifs donne une enveloppe représentant le risque maximal dans des conditions normales. Ceci n'inclut pas l'événement "catastrophique" se produisant dans des circonstances exceptionnelles et toujours difficile à délimiter, par photo-interprétation ou par d'autres méthodes. Pour les phénomènes potentiels dans les parties non actives, les critères de déclenchement et d'extension possible sont estimés par comparaison avec des terrains présentant des conditions similaires et des indices de mouvement. Ce type d'étude, bien qu'incomplet car limité aux indices visibles, complètera utilement les méthodes de géologie appliquée habituellement utilisées. La thermographie et les émulsions photographiques infra-rouge et infra-rouge couleur sont d'un intérêt capital pour déterminer la teneur en eau des sols, la localisation des concentrations en eau et les relations eau-végétation. On recommandera donc particulièrement leur usage pour les risques où le rôle de l'eau est important : glissements de terrain, formation de laves torrentielles et de coulées boueuses. En matière de risque d'effondrement, il existe de nombreuses techniques de prospection au sol, cependant une recherche préalable par télédétection permettra d'utiliser au mieux les indices de surface, soit par photo-interprétation (dépressions, régime de l'eau dans le sol, état de la végétation, cassures et leur distribution directionnelle...), soit par thermographie (eau, discontinuités, différences d'inertie thermique).

Certains phénomènes apparentés aux mouvements de terrain, lents mais de grande ampleur, se prêtent bien à la détection par satellite : citons l'érosion du sol, les déplacements des cours d'eau, les mouvements du littoral, le déplacement des dunes. Leur évolution pourra être suivie par observation multi-temporelle. Ces phénomènes sont étudiés localement par photo-interprétation en fonction des besoins. Un exemple d'étude du risque d'érosion est donné en fig. 1. La délimitation des zones menacées incitera à prévoir un aménagement ou à surveiller les pratiques culturales.

Inondations

Le risque d'inondation a fait l'objet de nombreuses réalisations cartographiques. La télédétection peut intervenir dans deux types d'études, tout d'abord dans l'élaboration d'un véritable document de prévention, c'est-à-dire évaluant des facteurs sur lesquels on peut intervenir pour diminuer le risque. On citera l'étude du bassin versant et de son évolution : cultures, végétation, imperméabilisation du sol, ruissellement ; les obstacles à l'écoulement : encombrement du lit mineur, densité et nature de la végétation dans le lit et sur les berges, sinuosités et leur fréquence, morphologie du lit majeur ; inventaire d'occupation du sol dans la zone à risque pour l'évaluation des dommages. La plupart des données utiles à ce document seront recensées par photo-interprétation. Un deuxième type de document est le constat du phénomène lui-même. Il nécessite une intervention par avion au maximum de la crue, et ceci dans de mauvaises conditions météorologiques. La réussite totale de l'opération sera donc aléatoire. On utilise l'émulsion infra-rouge pour

reconnaître les sols gorgés d'eau et la limite exacte de l'inondation dans le cas d'une lame d'eau très mince. La carte de constat précisera la limite de la zone atteinte, la dynamique des écoulements, l'occupation de l'espace inondé : habitat, cultures, infrastructures. Dans l'exemple présenté (figure 2) la prise de vues a été réalisée sous couvert nuageux. Un enregistrement par radar permettrait de s'affranchir des conditions météorologiques, les longueurs d'onde utilisées passant bien à travers les nuages. Le rôle des images de satellite est hypothétique, car il faudrait obtenir une image au moment du maximum de la crue sans couvert nuageux. La possibilité de mettre en relation un niveau d'inondation donné et une période de retour rend utile la réalisation d'un grand nombre de constats.

Incendies de forêt

A la différence des autres phénomènes, le constat des incendies de forêt est peu utile dans la prévention du risque, la principale raison étant l'importance du facteur humain dans les conditions d'apparition. La télédétection participera à l'élaboration de documents de prévention

et de lutte contre le feu, dont les thèmes principaux seront une représentation de la végétation suivant le degré d'inflammabilité et de combustibilité, une occupation du sol comportant les points sensibles, et les moyens de lutte : possibilités de pénétration par véhicules, densité de végétation, obstacles, viabilité, points d'eau, etc... Le recensement de la plupart des thèmes est possible par photo-interprétation. Un intéressant document de prévention sera apporté par la thermographie, en déterminant la localisation de foyers résiduels après intervention des services d'incendie (figure 3). La thermographie sera également applicable à la recherche de foyers souterrains. Ce phénomène se développe dans des remblais peu compactés et à forte teneur en matières combustibles (terris). L'étude précisera la localisation et l'extension des foyers (figure 4), des enregistrements répétés permettront de suivre leurs déplacements.

La prévention est à la fois une information sur le risque et un effort pour le minimiser. La télédétection agit dans les deux domaines en apportant une meilleure connaissance des phénomènes naturels et une évaluation des facteurs favorables ou défavorables sur lesquels on peut agir pour diminuer le risque.

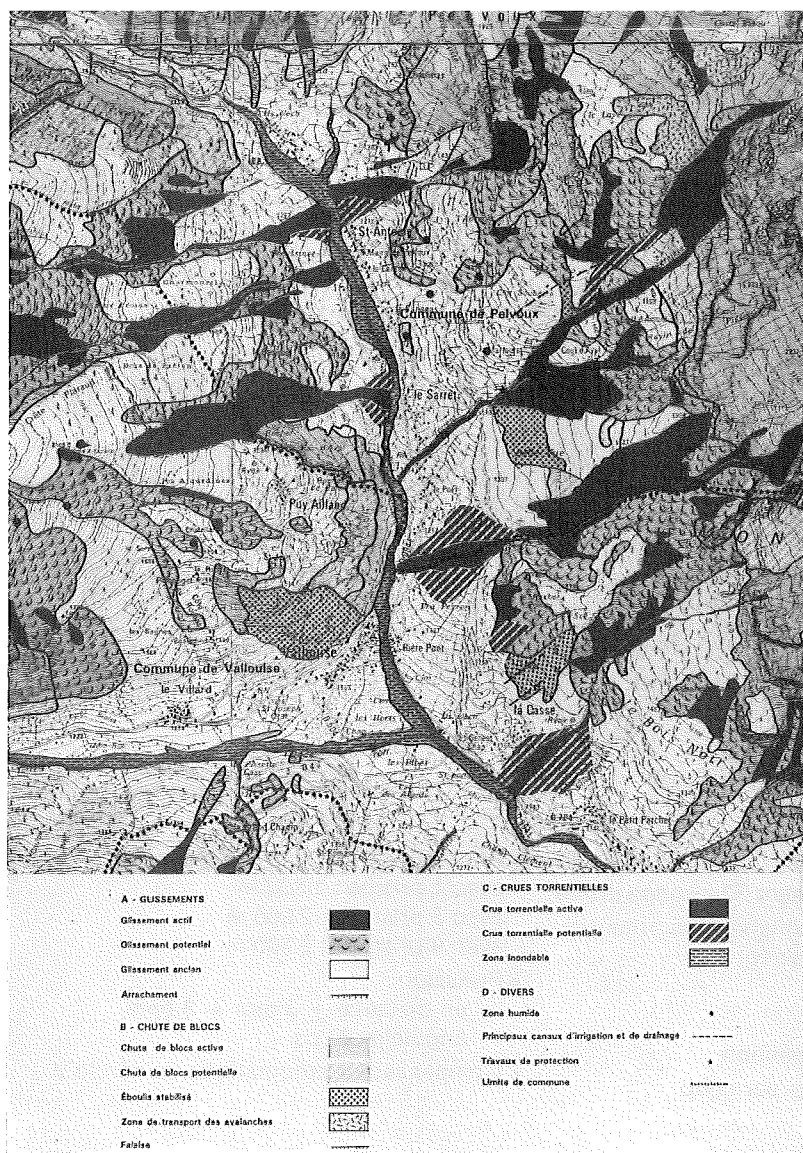


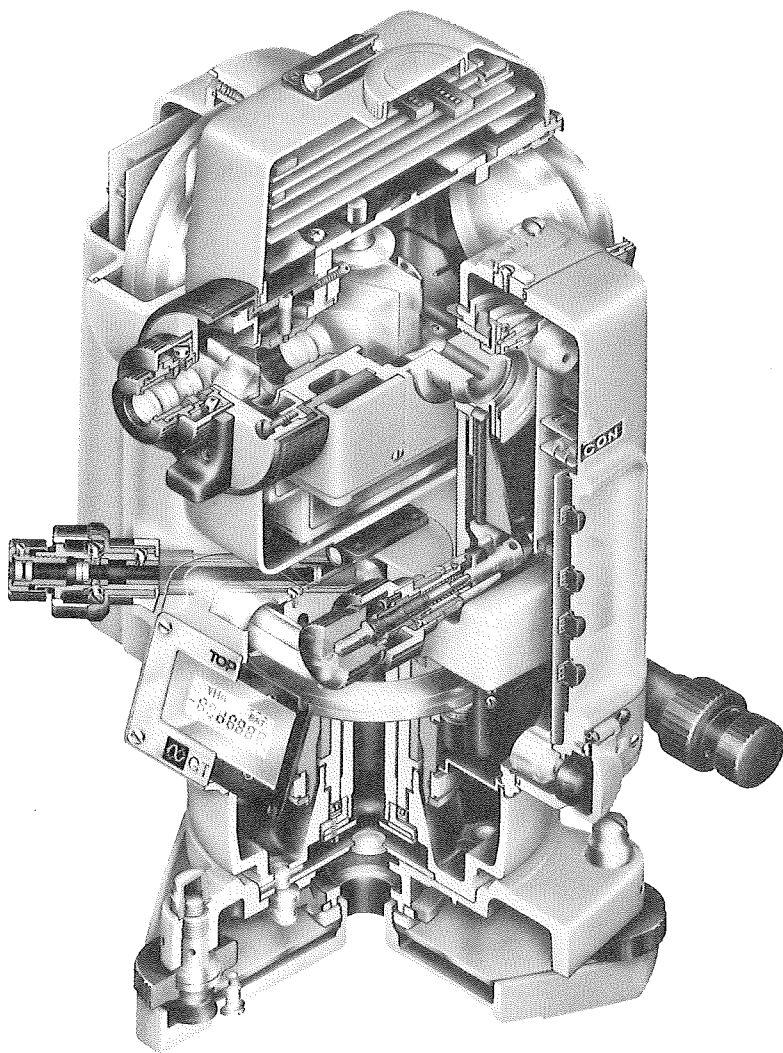
Figure 5 : Exemple de carte de localisation des mouvements de terrain établie par photo-interprétation et enquête sur le terrain. 1 : 25 000.

ETS3

TOPCON

TACHEOMETRE ELECTRONIQUE à cœur ouvert

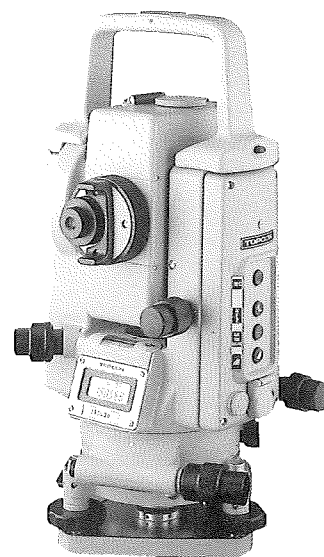
ENREGISTREUR



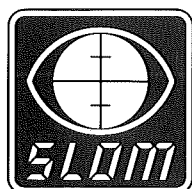
avec :

FC-2

FC-2C



- Lectures sur 2 écrans LCD
- Lunette coaxiale grossissement 30 x image droite
- Par simple pression d'une touche vous obtenez :
 - Distance réduite (ou inclinée)
 - Dénivelée
- Calcul des coordonnées
- Mesure de l'angle H par répétition
- Mesure en tracking ou coup par coup
- Portée en conditions normales :
 - avec 1 prisme : 1.300 m
 - avec 3 prismes : 2.200 m
 - avec 9 prismes : 2.700 m
- Précision
 - en distance $\pm 3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$
 - angulaire 20 cc
- Compensateur automatique du cercle V



Documentation et démonstration sur demande à :

11 Bis, Rue du Perche, 75003 PARIS - Tél. : (1) 42 71 28 30 - Télex : 240.729



Séisme et glissements de terrain au volcan Ontake (Japon)

Communication de Pierre DUFFAUT

Résumé

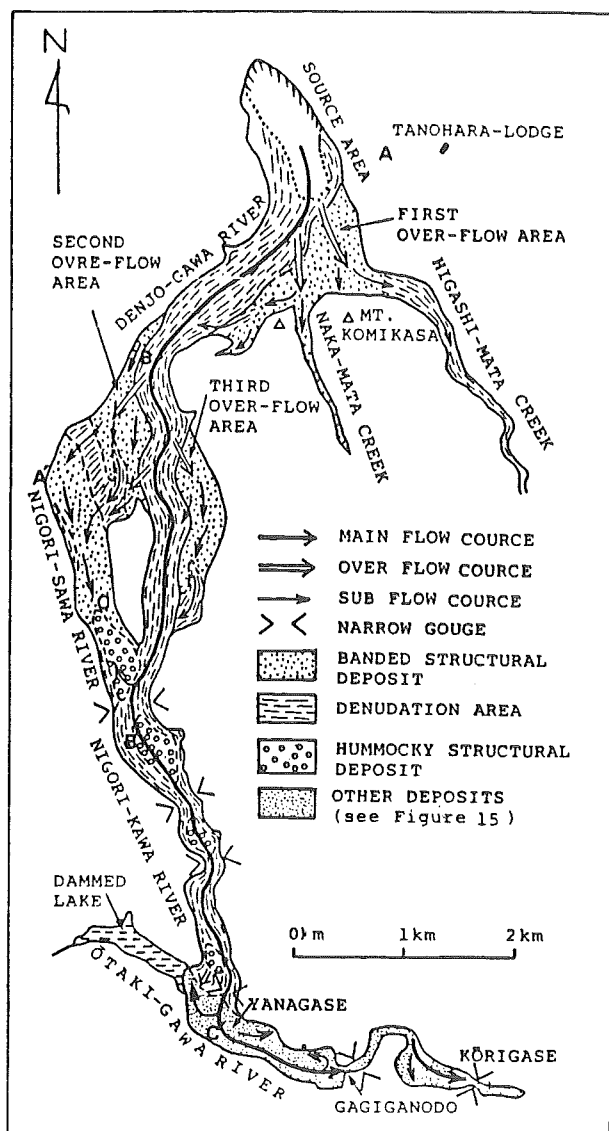
Le 14 septembre 1984 un séisme superficiel mais violent a secoué la base du volcan Ontake, et produit d'innombrables dégâts le long des routes d'une vallée très encaissée. Les dégâts directs aux villages ont été relativement modestes mais plusieurs glissements de terrain ont causé 29 morts et détruit une douzaine de maisons, sans compter les ponts, et quelques dégâts aux barrages hydroélectriques.

Le glissement principal concerne l'écroulement d'une arête du volcan entre 2 550 et 1 900 m d'altitude, il a affecté 30 km³ qui ont dévalé ravins puis vallées jusqu'à 1 000 m d'altitude sur une longueur totale de 14 km, à une vitesse voisine de 100 km/h.

Les documents et photos disponibles montrent le débordement du "flot" rocheux malgré des ravins de plus de 100 m de profondeur, puis la "sédimentation" en plusieurs parties dans la partie basse de la vallée (où un lac de barrage naturel a été retenu).

A cette occasion, j'ai réuni des documents sur les sujets suivants :

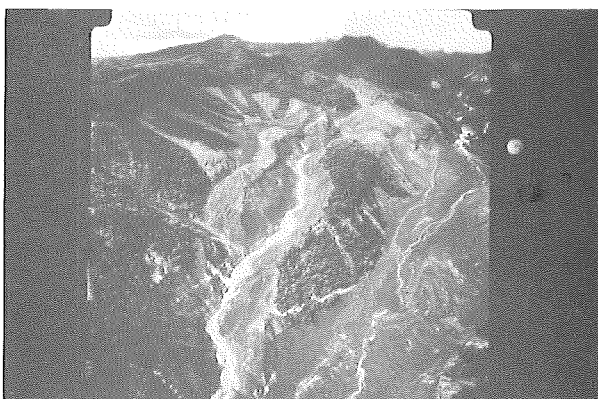
- le séisme, comparé avec des séismes français, et avec la sismicité du Japon, y compris les limites des plaques lithosphériques ;
- les dégâts causés par le séisme à un barrage en terre, et au tunnel ;
- les effets des séismes sur les barrages au Japon, en général ;
- la surveillance des volcans au Japon.



Et mes conclusions ont porté notamment sur les caractères propres des volcans en matière de stabilité de pentes : les volcans sont des montagnes dangereuses en raison de leur activité proprement volcanique : coulées de laves, émission de cendres, voire de nuées ardentes, explosions, mais en dehors de toute période d'activité ce sont des montagnes singulièrement vulnérables à l'érosion des pentes, aux séismes, et à l'action de l'eau, qui d'ailleurs y tombe en abondance. Les coulées de boue qui y prennent naissance dévastent des régions étendues à Java, en Colombie. Elles ressemblent étrangement aux coulées provenant de la liquéfaction de crassiers miniers ou de bassins de décantation.

En effet les volcans sont des crassiers, des tas de débris superposés un peu au hasard, mal stabilisés, et très vulnérables.

(Conférence faite à l'ITBTP (Parution dans les Annales ITBTP (courant 1986).



Ets A. THOMAS

Magasin de vente et bureaux :

12, rue Friant, 75014 PARIS

Tél. : (1) 45.43.55.25

Télex : TOPODIF 203590

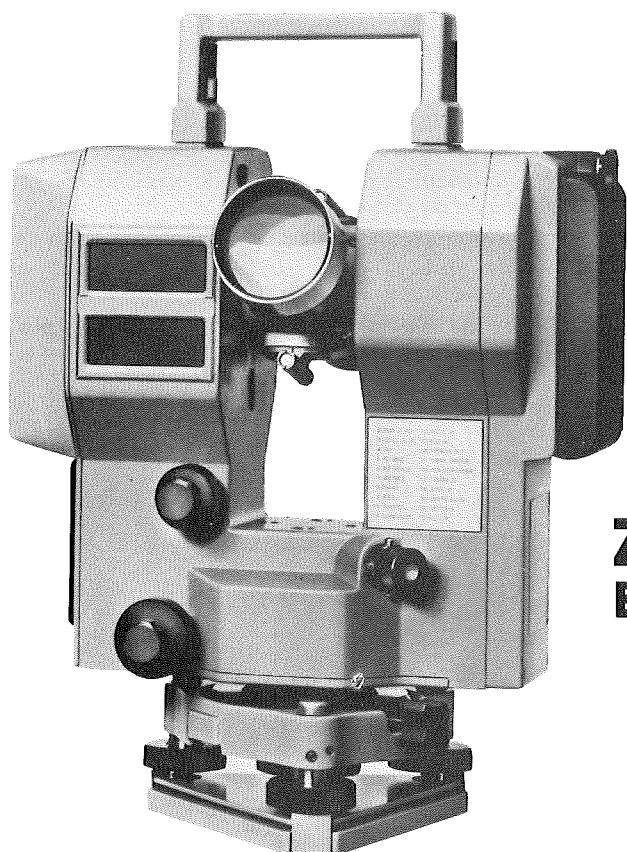
VENTE
LOCATION
REPARATION
•
INSTRUMENTS
DE
TOUTES MARQUES
•
FOURNITURES :
TOPOGRAPHIE
DESSIN
•



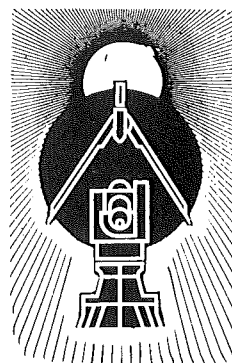
**SOKKISHA
SET 3**

STATIONS TOTALES ELECTRONIQUES

DOCUMENTATION
ET TARIF
SUR DEMANDE



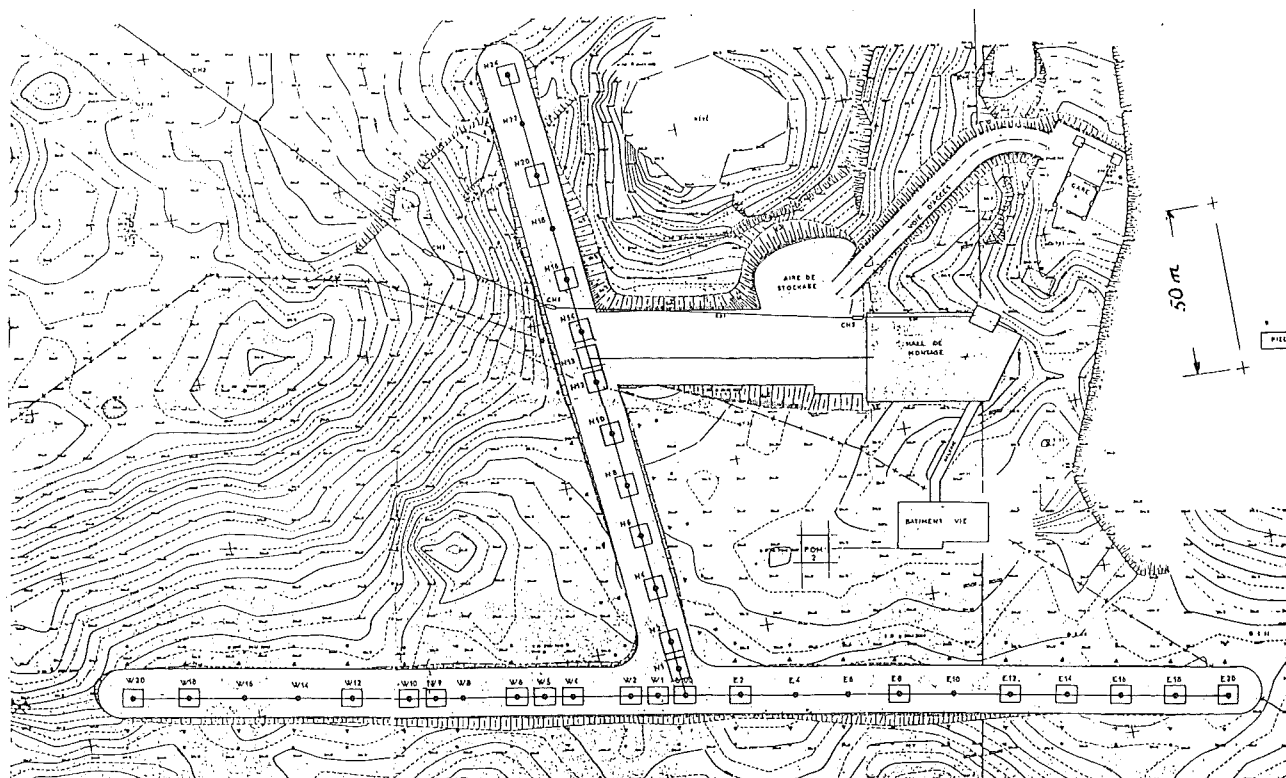
**ZEISS
ELTA 4**



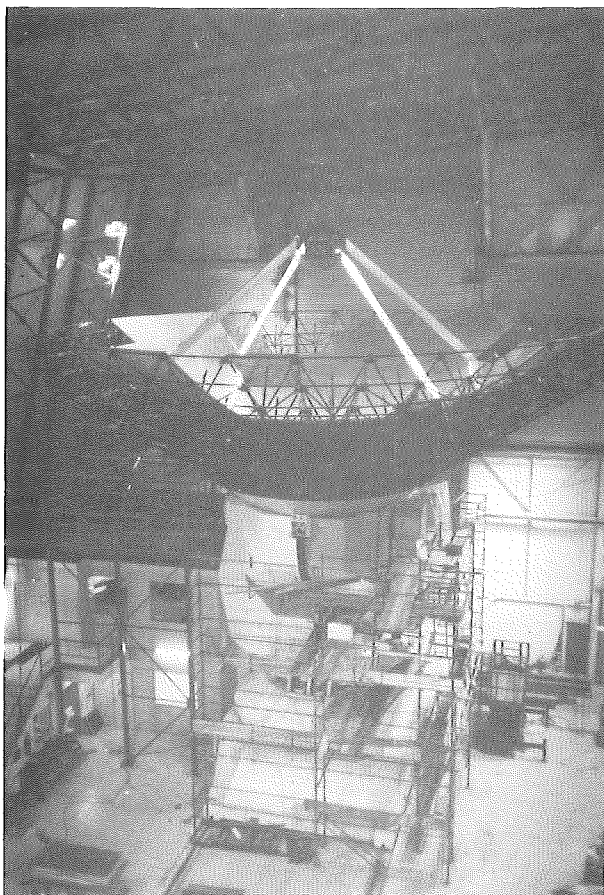
IRAM* - Observatoire radio-millimétrique du plateau de Bure

Organisée par la section régionale de Lyon de l'AFT à l'initiative de son Président Yves Alajouanine, cette journée regroupait des membres des sections Rhône-Alpes et Provence-Côte-d'Azur, pilotés par M. Daniel Roux, Ingénieur ESGT, responsable du Service Topographique de l'IRAM.

L'observatoire a été implanté sur le plateau de Bure : région du Devoluy près de Corps entre Grenoble et Gap. Les exigences imposées par les Radio-Astronomes : Plateau de plusieurs centaines de mètres d'envergure, à 2 500 mètres d'altitude, ont été satisfaites par ce site unique en France.



* Institut de Radio Astronomie Millimétrique



En raison de la contrainte liée au transport par téléphérique, seulement une vingtaine de personnes ont pu participer à cette visite et l'IRAM espère pouvoir réitérer cette visite.

La réussite de cette journée fut facilitée par d'excellentes conditions météorologiques d'une part et une grande ponctualité des participants d'autre part. A 10 heures du matin ces derniers montaient dans la cabine pour gravir en 18 minutes les 1 000 mètres de dénivellée séparant la Gare Basse de l'Observatoire. Au cours de l'ascension, le long des 3 400 mètres de câbles un exposé historique, retraçant les différentes phases de la construction de l'observatoire, mis particulièrement l'accent sur les principales difficultés inhérentes à un tel chantier de montagne.

Les participants observèrent de très près la nature du sol, notamment les nombreux karsts et la roche calcaire fissurée permettant de comprendre les solutions retenues au cours des études de Génie-Civil. La neige encore présente le 4 juillet sous forme de congères fournissait l'explication d'une période de construction extrêmement courte (4 mois par an environ). L'observatoire a été construit sur une période de 6 ans, soit 24 mois de chantier effectif, ce qui est tout particulièrement remarquable compte tenu des contraintes liées à l'altitude et à l'absence de voies d'accès naturelles (débit horaire du téléphérique : 5 tonnes).

En arrivant à la Gare Haute, on put particulièrement apprécier la dimension et la qualité des installations (liaisons couvertes entre Gare Haute et Hall de Montage, entre Hall de Montage et Bâtiment-Vie afin de faciliter les déplacements en période hivernale).

La première partie de l'exposé fut consacrée au but de la Radio-Astronomie et au pourquoi d'un tel Observatoire, son histori-

que et ses outils d'observation : les antennes. Cet exposé fut réalisé en présence d'une antenne en cours de montage ce qui permit de visualiser les problèmes.

La seconde partie de l'exposé, d'intérêt plus professionnel, fut consacrée aux aspects géométriques de cette réalisation, pourquoi l'Astronomie a-t-elle besoin d'une grande précision, la qualité de surface des antennes et la métrologie de l'interféromètre.

Nous ne donnerons ici que les grandes lignes du programme de construction.

L'observatoire se compose d'un Hall de Montage capable de recevoir les trois antennes de 15 mètres de diamètre, haute de 23 mètres et pesant chacune environ 130 tonnes, et d'un bâtiment-vie, équipé de toutes les commodités, d'une capacité d'hébergement de 20 personnes réparties sur 13 chambres indépendantes.

Les trois antennes circulent sur des rails espacés de 5,5 mètres, orientés pseudo Nord-Sud, Est-Ouest, d'une longueur totale de 500 mètres environ. Les antennes peuvent être disposées sur 26 stations d'observation différentes fixes en cours de mesures. Ces différentes positions sont définies par un réseau micro-géodésique mesuré au distivar (environ 1 600 mesures réalisées avec 25 fils différents) qui garantit une position relative entre chaque antenne à quelques dixièmes de mm près. La qualité de surface des antennes obtenues après réglage des panneaux est attendue entre 100 et 200 microns rms. La qualité attendue des panneaux était de 12 microns rms et elle se situe sur les premiers 100 panneaux entre 6 et 15 microns ce qui est remarquable.



Le géodimètre 140 AGA : Etude et utilisation pratique

M. Pierre GRUSSENMEYER
Ingénieur ENSAIS

NDLR : M. Pierre Grussenmeyer, ingénieur ENSAIS, était l'auteur de l'article intitulé : Le géodimètre 140 AGA : étude et utilisation pratique paru dans le n° 26.

XYZ lui présente ses excuses pour cet oubli involontaire, suggère à ses lecteurs d'insérer les résumés ci-après dans le n° 26.

Résumé

Le géodimètre 140, proposé par la société AGA GEOTRONICS, est une station complète équipée d'un télémètre performant et d'un système de mesure angulaire nouveau qui consiste à intégrer un signal sur toute la surface du cercle électronique. Le théodolite électronique, qui est basé sur la prise en compte automatique de tous les défauts de collimation verticale et horizontale, de tourbillonnement et de calage, permet de réaliser toutes les mesures dans une seule position de la lunette.

En vue de déterminer la qualité effective de l'appareil, nous avons successivement étudié :

- le télémètre en élaborant plusieurs méthodes de quantification des erreurs systématiques telles que les défauts d'homogénéité de phase, la constance d'addition, le facteur d'échelle et les erreurs cycliques ;

- le théodolite par la mise en œuvre du test de Heuvelink sur le cercle horizontal, par l'analyse de ses réactions aux variations de champ magnétique et par la comparaison de mesures réalisées dans les mêmes conditions au T2 (Wild).

Sur le terrain, l'utilisation du Géodimètre 140 sur des canevas de trilatération, de triangulation et de polygonation à longs côtés a montré que la précision standard du télémètre est meilleure que celle annoncée ($\pm 5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/km}$) et qu'un angle est observé avec une erreur moyenne quadratique de $\pm 8,5 \text{ dmGr}$ dans une seule position.

Abstract

The Geodimeter 140, proposed by the company AGA GEOTRONICS, is a total station fitted out with a well proven distance measuring system and a new device for the measurement of angles. The theodolite is based on reading and integrating a signal over the whole surface of an electronic circle. It corrects tilt-axis errors and deviations from the plumb line. This system provides a full angular accuracy from simple face measurement without the need of averaging.

In order to determine the real accuracy of the instrument, we have successively studied the following investigations :

- the telemeter : we expose different methods of quantization of systematic errors as the homogeneity of the carrier phase, the scale factor of the system and the cyclic errors ;

- the theodolite : we make use of the Heuvelink test to study the horizontal circle, we analyse the reaction of variations of the magnetic field, we compare rounds of directions between the Geodimeter 140 and the Wild T2.

We survey networks of trilateration, triangulation and polygonation walkings with long sides. The telemeter permitted to reach a better accuracy than the one which was announced : ($\pm 5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/km}$), forecast of the constructor). An angle is measured with an indecision of $\pm 8,5 \text{ cc}$.

Zusammenfassung

Der von der Gesellschaft AGA GEOTRONICS angebotene Geodimeter 140 ist eine komplette Beobachtungsstation, ausgestattet mit einem leistungsfähigen Entfernungsmesser und mit einem neuen Winkelmessungssystem, das ein Signal auf der ganzen Fläche des elektronischen Kreises integriert. Der Theodolit der alle Zielachsen-, Höhe-index-, Achszapfen- und Stehachsenfehler automatisch in Betracht zieht, erlaubt alle Beobachtungen in einer Fernrohrlage auszuführen.

Um die tatsächliche Qualität des Instruments zu bestimmen, haben wir für den Entfernungsmesser beziehungsweise den Theodolit :

- mehrere Quantifikationsverfahren der systematischen Fehler entwickelt, so wie die Phaseninhomogenitäten, die Additionskonstante, die Maßstabkorrektur und die zyklischen Fehler ;

- den Test von Heuvelink auf den Horizontalkreis verwendet seine Reaktionen auf die Schwankungen des magnetischen Felds zergliedert und die Beobachtungen vom AGA 140 mit Beobachtungen die in den selben Bedingungen mit dem Wild T2 ausgeführt, verglichen.

Auf dem Gelände zeigte die Verwendung des Geodimeters 140 für die Festlegung von Trilateration, Triangulation, und langseitigen Polygonation Netzen, daß die Genauigkeit des Entfernungsmessers besser ist als die angegebene ($\pm 5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/km}$) und daß ein Winkel mit einem mittleren Fehler von $\pm 8,5 \text{ dmGr}$ in einer Fernrohrlage beobachtet werden kann.

Wild et les Géomètres : tous dans le même bateau !

A l'heure où chacun a le souci de maîtriser son "image", il est important qu'une profession telle que celle du géomètre en prenne conscience. Cette dynamique professionnelle, elle peut s'exercer à tous les stades et de différentes manières, comme nous l'ont montré les étudiants de l'INST. Eux, ils ont choisi le média de la voile pour faire parler de leur profession et la société WILD, en s'associant à cette initiative, les a encouragés et soutenus dans cette épreuve sportive qu'est la course de l'EDHEC.

Chaque année, depuis 18 ans, l'EDHEC ouvre la saison de voile en organisant une course croisière réservée aux étudiants des grandes écoles et universités. De plus en plus réputée, elle rassemble plus de 300 bateaux à chaque printemps sur les flots de l'Atlantique. L'Institut des Sciences Topographiques (ESG-TIT), principale école de formation de géomètres-experts y participait. Cette épreuve sportive, on s'en doute, est particulièrement appréciée des étudiants qui savent traditionnellement allier le sport à la fête. Gagner, on le sait, n'est jamais facile, mais participer n'est pas simple non plus : dans les coulisses, il faut étudier un projet, préparer un budget, contacter les entreprises, vendre le dossier au sponsor et faire des relations publiques... Une initiative qui demande beaucoup de travail et de dynamisme et qui permet de mettre en contact, dans une ambiance décontractée mais sportive et performante, l'entreprise et le milieu universitaire. C'est cette démarche que WILD a voulu saluer en participant financièrement à la course. *En effet, plus les étudiants géomètres feront parler d'eux, meilleur cela sera pour la profession en général*, affirme M. Gouinguéné, Directeur de la division géodésie chez WILD + LEITZ France.

Le 30 mars, dans le port de La Rochelle, on retrouve donc nos 7 compères à bord d'un SUN RISE neuf de 11 mètres de long, équipé d'un mât de 9 mètres, d'un spi de 90 m², d'un enrouleur de foc et d'un radio de première catégorie - les amateurs apprécieront ! -

Le moral des troupes est au beau, ce qui n'est pas le cas de la météo. Ce sera l'occasion de sortir les cirés aux emblèmes du sponsor ! Comme chez les 7 nains de Blanche Neige, tous les caractères sont réunis : dormeur, calme, comique, "grande gueule", nerveux... pour former une formidable équipe.

L'esprit d'équipe, c'était aussi le défi que s'étaient lancés les 7 participants. Le désir de vouloir gagner ensemble dans le sport pour pouvoir gagner aussi dans la vie professionnelle : une attitude qui mérite d'être saluée. Les étudiants de l'INST ont accepté de jouer la compétition en y associant l'entreprise ; en effet WILD et les 7 équipiers étaient tous dans le même bateau !



Demande d'emploi

Technicien géomètre topographe, 30 ans, CAP d'opérateur Géomètre en 1978 à Lyon, stage au centre de formation professionnelle des adultes à Meaux, **recherche emploi**, écrire à Pierre-Laurent Foucault, 1, rue Louis Pergaud, 69720 St-Bonnet-de-Mure ou tél. 78.40.93.31.

"Vends tachéomètre électronique auto-réducteur ZEISS ELTA4 avec accessoires ; prix : 25 000,00 F ; garantie. Tél. : 99.99.13.67".

COLLECTION ECOLOGIE APPLIQUEE
ET SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT
Sous la direction du Pr. F. RAMADE

LA CARTOGRAPHIE ECOLOGIQUE ET SES APPLICATIONS

P. OZENDA

Membre de l'Académie des Sciences, Professeur à l'Université de Grenoble
MASSON

Répertoire des Annonceurs

SERCEL	II CV
LE PONT EQUIPEMENT	6-7
ZEISS IENA	18
GEOTRONICS	32-33
WILD	42
BLANCHET LOCATOP	48
LART	52
SLOM	58
THOMAS	60
TOPO CENTER	IV CV