

# l'auscultation des mouvements du sol ou du sous-sol interprétation des mesures

par C. LOUIS et M. DESURMONT

## 1. POSITION DU PROBLEME

Les phénomènes géologiques naturels, tels que mouvements tectoniques, érosion, dissolution, etc., ainsi que de nombreuses entreprises humaines (excavations, grands terrassements, etc.) se traduisent par des perturbations notables de l'état d'équilibre mécanique ou hydraulique des massifs. Ces perturbations se concrétisent par le développement de déplacements, de sollicitations localisées importantes et également par une modification de réseaux d'écoulement des eaux souterraines.

Pour assurer la sécurité des personnes et des biens, le géotechnicien est amené d'une part à comprendre et à analyser les lois souvent complexes qui régissent les phénomènes mécaniques ou hydrauliques dans les sols et les roches et, d'autre part, à surveiller le comportement intime des massifs susceptibles de créer un danger.

Cette dernière approche, définie par le terme auscultation, doit prétendre à plusieurs objectifs, notamment :

- analyser le comportement réel du massif et l'influence de certains phénomènes naturels ou de certaines interventions humaines (travaux) ;
- vérifier les résultats d'une éventuelle étude théorique et notamment le bon dimensionnement et l'efficacité des soutènements et confortements préconisés ;
- donner la possibilité de modifier le projet, si nécessaire, au vu du comportement réel du massif ;
- apporter garantie et sécurité dans les zones exposées à des risques naturels et sur les chantiers. A cet effet, tout dispositif d'auscultation doit pouvoir, si nécessaire, être utilisé comme un système d'alarme moyennant certains aménagements.
- apprécier l'influence des phénomènes naturels ou travaux sur les ouvrages environnants.

L'auscultation est née suite à la réalisation de grands ouvrages tels que les barrages. Le principe d'un contrôle systématique par mesures *in situ* s'est généralisé dans tous les domaines de la géotechnique en s'inspirant de l'auscultation des barrages. Cela a été le cas, tout particulièrement, pour les travaux en souterrain qui ont été le cadre, au cours de ces deux dernières décennies, d'un développement intense des mesures de contrôle *in situ*. Cette tendance, très marquée notamment lors de l'application de la nouvelle méthode autrichienne de construction de tunnels, s'est soldée par la mise au point de nouveaux dispositifs de mesure, nombreux et variés.

Pour être efficace et constituer ainsi un véritable outil pour le géotechnicien ou le responsable du chantier, le dispositif d'auscultation adopté doit satisfaire aux conditions suivantes :

- l'appareillage doit être simple et robuste ;
- l'auscultation doit permettre un « contrôle intégral » dans l'espace et dans le temps des massifs et ouvrages soumis à des perturbations ;
- la présence des dispositifs de mesure et les mesures elles-mêmes doivent perturber au minimum le rythme de travail sur les chantiers tout en étant permanente ;
- les mesures doivent enfin être rapides et à interprétation immédiate.

Dans cette optique, il est impératif d'insister sur le but essentiel des mesures et de préciser les **décisions** à prendre en cas de résultats favorables ou défavorables. A cet effet, des critères sur les amplitudes, les évolutions dans le temps, les gradients des paramètres mesurés sont à définir en relation avec les conditions géologiques, la nature et la situation de l'ouvrage, etc.

## 2. MOYENS D'AUSCULTATION DES DEPLACEMENTS

Les méthodes de mesure de déplacements le plus couramment utilisées sont les suivantes :

### a) Méthodes optiques par mesures topographiques

- nivellement ;
- triangulation au théodolite classique ou à l'aide d'instruments électro-optiques (du type telluromètre par exemple).

### b) Méthodes mécaniques utilisant des appareils posés dans le massif

- extensomètre de convergence ;
- extensomètre par fils ou tiges en sondage ;
- pendule en sondage ;
- clinomètre.

Quelle que soit la méthode utilisée, il convient d'accorder la plus grande attention à la signification de la grandeur mesurée et notamment à son caractère absolu ou relatif. Par esprit, une méthode par nivellement ou triangulation prétend apprécier un déplacement absolu, mais cela suppose un point de référence dont la fixité est vérifiée. D'une manière générale, les points de référence doivent être d'autant plus éloignés des points de mesures que les forces en jeu sont plus grandes. Par contre, les mesures d'extensométrie et de déviation sont par nature des mesures relatives car les variations de distance ou d'angle mesurées concernent des points implantés au sein du massif en déformation. Toutefois, on s'efforce d'implanter l'un des points de référence dans une zone dont le déplacement absolu est supposé le plus faible possible. Les mesures de convergence sont toujours de déplacement relatif.

### 2.1. Méthodes topographiques

Les méthodes topographiques sont trop connues pour qu'elles soient ici l'objet d'une description, même sommaire. L'accent est simplement porté sur le fait que les instruments électro-optiques, basés sur la réflexion par des cibles d'un rayon lumineux modulé, sont actuellement en plein développement.

### 2.2. Extensomètres de surface

Ces appareils sont destinés à mesurer la distance séparant deux plots scellés dans un ouvrage. Leur principe est très simple : un ruban en invar est accroché entre les deux plots de mesure et soumis à une tension constante. La lecture de la distance est faite à l'aide d'un comparateur. Les règles de convergence généralement utilisées autorisent une précision de mesure de 0.1 mm. La figure 1 présente deux schémas de principe des mesures de convergence en tunnel et sur le gradin d'une fosse d'exploitation minière à ciel ouvert.

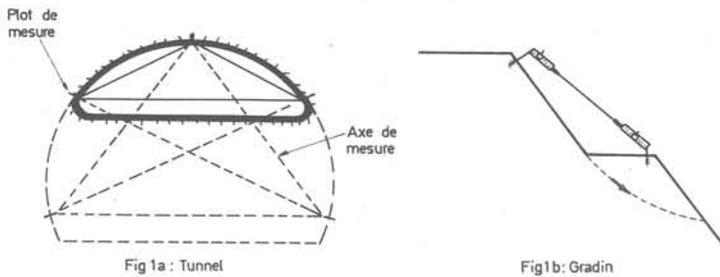


Fig. 1. — Schémas de principe des mesures de convergence.

### 2.3. Extensomètres en sondages

Ces appareils permettent de mesurer les déplacements relatifs d'un ou plusieurs points d'un sondage. Ils comprennent une ou plusieurs tiges rigides scellées au fond du trou et en différents points du sondage et guidées jusqu'à l'extérieur (fig. 2). L'observateur mesure à l'aide d'un comparateur les déplacements longitudinaux de l'extrémité de chaque tige sur une table de lecture scellée en tête du sondage. Il est donc possible d'évaluer avec une précision de 0.1 mm le déplacement relatif entre chaque point d'ancrage et la tête du sondage. Un contrôle topographique de la tête du sondage permet de déterminer les déplacements absolus de chaque point en profondeur. La mise en place

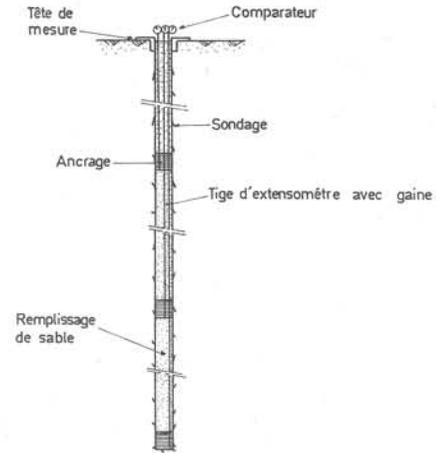


Fig. 2. — Schéma de principe d'un extensomètre triple à tiges en sondage.

d'extensomètres multiples permet de cerner la zone perturbée par les travaux.

### 2.4. Pendules en sondage

Les pendules en sondage sont basés sur le principe du fil à plomb et indiquent la verticale. On distingue les pendules directs et les pendules inverses (fig. 3).

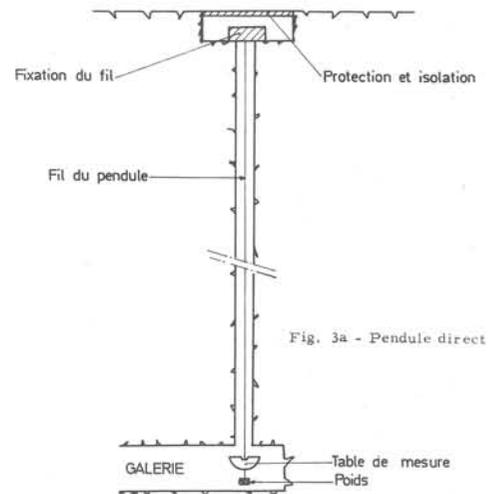


Fig. 3a - Pendule direct

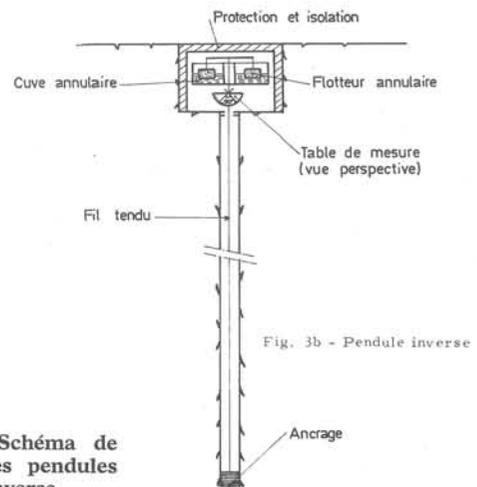


Fig. 3b - Pendule inverse

Fig. 3. — Schéma de principe des pendules direct et inverse.

- Les **pendules directs** sont constitués par un fil en acier, fixé à la partie supérieure d'un trou de forage vertical. Un poids situé à l'extrémité inférieure du fil assure une tension constante du fil. A la partie inférieure, le fil tendu passe à travers une table de mesure horizontale.
- Les **pendules inverses** sont constitués d'un fil, ancré au fond d'un forage vertical, et dont la tension est assurée par la poussée d'Archimède exercée sur un flotteur placé à la tête du forage.

En observant les mouvements de l'extrémité libre du fil, on mesure le déplacement relatif des deux extrémités du forage.

Malgré le prix de revient et les difficultés de pose, ces appareils sont remarquables par leur exactitude (si le forage est parfaitement vertical), leur grande précision, leur sensibilité (de l'ordre de 5 microns) et leur fiabilité.

### 2.5. Inclinomètres en sondage

Le déplacement d'un sondage, perpendiculairement à son axe, peut être mesuré à l'aide d'une sonde inclinométrique (fig. 4). Cette dernière, introduite dans le sondage, circule le long d'un tubage spécial comportant des rainures. Un dispositif de mesure (pendule), équipé de jauges électriques, permet de repérer en permanence la position de l'axe du sondage.

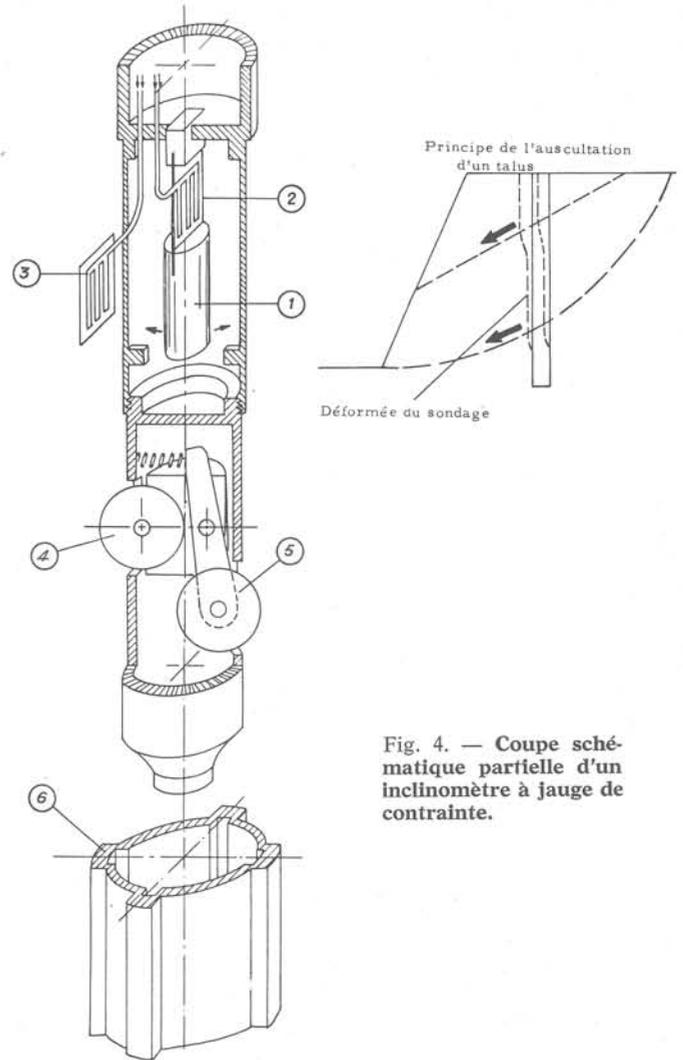


Fig. 4. — Coupe schématique partielle d'un inclinomètre à jauge de contrainte.

## 3. INTERPRETATION DES MESURES DE DEPLACEMENTS

Nous considérons ici le cas d'ouvrages souterrains dont l'auscultation des déplacements répond aux objectifs définis dans le premier paragraphe, mais aussi dont la pérennité dans le temps doit être assurée, c'est-à-dire qu'il faut rester en-deçà de l'équilibre limite avec une « marge de sécurité acceptable ». Cette catégorie d'ouvrage englobe les travaux de génie civil mais également certains travaux miniers comme, par exemple, les voies principales de desserte de travaux souterrains.

L'interprétation des mesures joue un rôle capital car elle conditionne notamment la conduite des travaux de réalisation de l'ouvrage.

Elle peut être fondée sur l'observation des quatre paramètres suivants :

- l'amplitude absolue des déplacements ;
- la vitesse des déplacements ;
- l'accélération des déplacements ;
- le taux de décroissance des déplacements ou des déformations autour de la cavité. Ce paramètre, ou gradient des déplacements ou des déformations

donne une idée de l'importance de la zone d'influence du creusement de la cavité. Il conditionne pour une grande part la valeur des poussées du terrain.

Lors de l'interprétation, l'examen de la ligne d'influence du front est également importante.

Deux types de critères sont à distinguer :

- les critères concernant la sécurité du chantier et la bonne mise en œuvre de la méthode de creusement ;
- les critères imposés par des travaux en site urbain. Ces derniers critères se surimposent aux précédents car ils sont généralement **plus stricts**.

### 3.1. Critères intervenant pour la conduite du chantier

Ces critères concernent essentiellement le comportement et la stabilité de la cavité et du massif encaissant et non pas les incidences possibles des travaux sur des ouvrages préexistants dans le voisinage. Ils

s'appuient essentiellement sur des mesures de déplacement. Les valeurs admissibles sont évaluées en cherchant à atteindre un **compromis** entre les performances d'avancement et le prix de revient d'un côté et la sécurité de l'autre, en prenant des risques bien dosés.

Pour ce qui concerne l'utilisation de la nouvelle méthode autrichienne ou méthodes similaires, il n'existe pas encore de critères numériques admis et reconnus. Les valeurs admissibles dépendent, en effet, de nombreux facteurs (nature géotechnique du terrain et de son comportement, nature et géométrie de l'ouvrage, hauteur de couverture, etc.) sans considérer les problèmes de surface en site urbain. Il est très délicat d'avancer à ce sujet des critères quantitatifs. Nous nous limiterons à donner à titre purement indicatif et sous toute réserve, quelques valeurs numériques liées à notre propre expérience, en se plaçant dans le cas d'un ouvrage de section moyenne, c'est-à-dire comprise entre 50 et 100 m<sup>2</sup>. Ces critères correspondent au déplacement absolu de la clé de voûte (généralement de l'ordre de la moitié de la convergence). Seule une fourchette peut être donnée pour tenir compte des caractéristiques rhéologiques des terrains (terrains raides ou plastiques). Les différents facteurs intervenant dans la détermination des seuils admissibles sont successivement passés en revue :

#### a) Amplitude des déplacements

D'une manière générale, l'amplitude maximale admissible est essentiellement fonction de la hauteur de couverture. Elle est de l'ordre du millième de cette dernière. Le tableau ci-après nuance cette donnée générale selon la nature des terrains.

Hauteur de couverture	Déplacement absolu en clé de voûte maximum admissible	
	Terrains raides	Terrains plastiques
10 à 50 m	6 à 12 cm	2 à 5 cm
50 à 500 m	1 à 2 cm	10 à 20 cm
> 500 m	2 à 6 cm	20 à 40 cm

La détermination de maxima admissibles doit se faire cas par cas avec la plus grande prudence, en ayant soin de tenir compte du comportement des terrains (fragile, élasto-plastique, plastique).

#### b) Vitesse de déplacement

La vitesse de déplacement est généralement mesurée en mm par jour ou par poste. Elle est maximale au passage du front dans le plan de mesure. Le déplacement journalier admissible est de l'ordre du 1/5 à 1/4 du déplacement total admissible au passage du front et doit descendre en dessous du 1/20 après un délai de l'ordre d'une semaine. La vitesse doit, enfin, s'annuler après une mise en œuvre complète du soutènement immédiat.

#### c) Accélération du déplacement

Les accélérations positives ne sont admissibles que dans les un ou deux jours qui précèdent ou suivent le passage du front (ouverture de la calotte ou abatage du stross) dans le plan de mesure. Au-delà de cet intervalle de temps, l'accélération doit toujours être négative et correspondre à un mouvement suffisam-

ment décéléré, surtout si le revêtement définitif n'est pas prévu ou s'il est différé à long terme.

#### d) Gradient de déplacement

Le gradient des déplacements (ou des déformations) dans l'espace environnant le tunnel donne l'importance de la zone d'influence du creusement. L'idéal est d'obtenir une décroissance rapide des déplacements (gradient négatifs élevés) autour de la cavité.

Si les déplacements s'annulent totalement à l'intérieur de la zone boulonnée, une stabilité absolue est assurée. Malheureusement, il n'en est pas toujours ainsi, notamment dans les mauvais terrains et *a fortiori* dans les terrains non boulonnables. Il conviendra d'être très vigilant dans de tels cas, notamment lorsqu'au moins 50 % des déplacements maxima (obtenus généralement à la paroi de la cavité) débordent la zone boulonnée.

Dans le cas des ouvrages peu profonds, la situation devient préoccupante, notamment lorsque les tassements atteignent la surface sans atténuation.

L'importance des poussées du terrain peut être estimée à partir du volume de la zone d'influence du creusement.

Les critères présentés ici concernent le chantier, ils se rapportent donc à l'analyse de la stabilité à court terme. Le problème du comportement à long terme est beaucoup plus délicat, il y sera fait allusion en fin de ce chapitre.

### 3.2. Critères liés aux travaux souterrains en site urbain

Les difficultés supplémentaires liées aux travaux souterrains en site urbain, généralement à faible profondeur, résultent de l'incidence des travaux sur les ouvrages environnants, généralement situés en surface.

L'auscultation en site urbain devra donc être axée davantage sur l'observation et le contrôle des mouvements et désordres en surface (tassements, fissuration d'ouvrages, etc.). Elle conduit généralement à des tolérances beaucoup plus faibles que celles avancées précédemment.

Des règles générales n'ont, pour le moment, pas encore été formulées.

Les limites généralement admises portent sur :

- l'amplitude maximale de l'affaissement de l'ordre de 1 à 2 cm selon la nature et la qualité des constructions en surface ;
- la pente de la dépression au point d'inflexion qui doit rester inférieure à 1/300.

Dans certains cas spéciaux, par exemple lors du passage en tunnel sous des ouvrages particulièrement vulnérables ou sensibles (voies de chemin de fer à grande circulation, conduite d'eau en charge, immeubles vétustes, etc.), des conditions particulières peuvent être imposées. A titre d'exemple, nous citerons le cas du passage délicat [du métro (S-Bahn)] de Bochum à quelques mètres sous des voies de grandes lignes de la Bundesbahn (Société des chemins de fer allemands), qui avait prescrit un **tassement journalier** maximal de 4 mm et une amplitude totale maximale (tassements cumulés) de 15 mm. A l'exécution, ces prescriptions furent respectées malgré la grande section du tunnel ( $s = 70 \text{ m}^2$ ) et la qualité médiocre des terrains traversés (marnes gréseuses). Ce succès fut obtenu essentiellement grâce à une parfaite mise en œuvre de la nouvelle méthode autrichienne.

### 3.3. Stabilité à long terme

L'étude à long terme de la stabilité constitue un problème très délicat. Très souvent, des modifications des caractéristiques géotechniques des terrains interviennent dans l'échelle des temps, ce qui rend impossible toute interprétation. De plus, l'expérience dans ce domaine reste malheureusement encore très limitée (faute d'avoir fait des mesures par le passé).

Il est cependant admis généralement que :

- a) des mouvements accélérés ou ralentis non bornés mènent à une rupture irrémédiable ;
- b) un mouvement ralenti borné est une condition nécessaire, mais non suffisante, d'équilibre.

Ceci revient à dire qu'une condition nécessaire d'équilibre à long terme est une loi de vitesse en  $t^\alpha$ , avec  $\alpha$  strictement inférieur à  $-1$ .

Cette condition n'est pas suffisante et il suffit, pour s'en convaincre intuitivement, de se référer aux comportements de pic, souvent observés, qui, au-delà d'un certain seuil de déplacement, entraînent une chute des caractéristiques mécaniques.

Le but à atteindre dans l'analyse de la stabilité à long terme (basée sur l'auscultation) est d'établir des critères permettant, à partir de l'allure de la courbe au début des mesures, de conclure quant au comportement ultérieur d'un milieu (plastique ou fragile) et à la nature de la loi cinématique du phénomène.

Il peut arriver que de tels problèmes se posent pour les travaux souterrains, notamment lorsque le soutènement immédiat (par exemple béton projeté et boulons) n'est pas complété par un revêtement définitif.

Concernant la stabilité à long terme, il y a lieu d'insister sur le fait que dans de nombreux cas, les déformations sont très faibles, avec des déplacements inférieurs au mm/an. De tels déplacements, pour être perçus, imposent l'utilisation d'appareils beaucoup plus sensibles que ceux utilisés pour l'auscultation des travaux.

### 3.4. Exemples pratiques

On se limitera ici à illustrer très brièvement l'utilisation des mesures de déplacement lors de la réalisation de tunnels routiers.

#### a) Tunnels autoroutiers de la Rubira à Barcelone

Cet ouvrage important, composé de deux tubes de 100 m<sup>2</sup> de section et de 1 270 m de longueur, traverse en site urbain et à faible profondeur des terrains difficiles.

La grande hétérogénéité des conditions géologiques et géotechniques (massif très tectonisé avec des zones à comportement soit fragile, soit très plastique, notamment dans les schistes et phyllites) imposa l'adoption d'une technique d'exécution « souple » s'accommodant des changements de terrains et donnant un minimum de désordres en surface. Compte tenu de cette situation et des impératifs qu'elle imposait, un important programme d'auscultation fut mis en œuvre (sept profils primaires et de très nombreux profils secondaires, tous les 25 m environ).

Le suivi des travaux d'un tel ouvrage, associé à une auscultation poussée, nous donna la possibilité de faire des observations très variées, riches d'enseignements.

L'exemple présenté (fig. 5), obtenu dans les phyllites de la tête nord, montre un comportement particulièrement plastique dans une zone très difficile (courbe B), comparé à un comportement normal (courbe A).

Dans la zone correspondant à la courbe B, des désordres apparents dans le béton projeté. La mise en œuvre d'un boulonnage secondaire (de 3 m puis 6 m, avec précontrainte) ne stabilisa pas les déformations. Ce n'est que l'exécution d'une contre-voûte provisoire en demi section qui permit de sauver la situation. La contre-voûte eut un effet immédiat, absolument remarquable. Non seulement elle bloqua des déplacements, mais elle inversa le phénomène en provoquant ainsi une recompression des piédroits en demi-section. La fin de la courbe B donne une idée des difficultés qui furent rencontrées lors de l'abattage du stross dans cette zone particulièrement difficile.

Il apparaît actuellement de manière évidente que de tels travaux n'auraient pu être menés à bien sans une auscultation très poussée du soutènement et des terrains environnants.

#### b) Tunnel de Rosti

Le tunnel de Rosti, situé sur l'autoroute A 8, est un ouvrage de 100 m<sup>2</sup> de section et de 260 m de longueur. Il traverse, sous une couverture maximale de 50 m, des

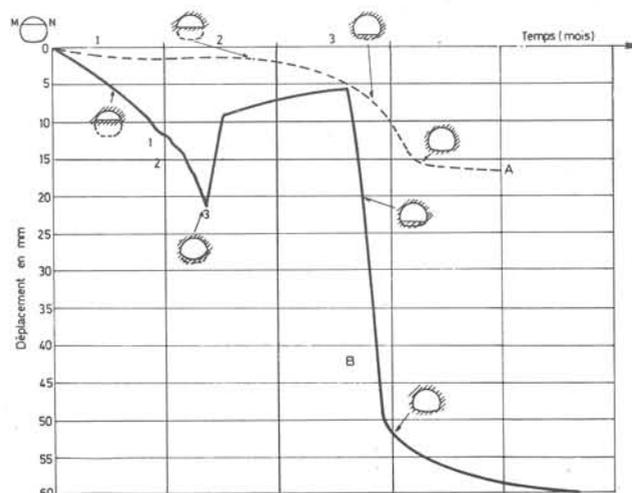


Fig. 5. — Tunnels de la Rubira - Evolutions de la convergence entre M et N dans deux cas différents.

terrains marno-calcaires du Crétacé supérieur très tectonisés. La figure 6 présente les résultats de mesures de la convergence A-B consécutive à l'abattage du stross pour une section en terrain marno-calcaire broyé. La convergence mesurée entre les pieds de cintres pendant le terrassement de la demi-section supérieure, et liée à l'éloignement du front, s'était stabilisée à 82 mm au bout six semaines. L'abattage du stross et la réalisation du béton coffré définitif ont entraîné une reprise de la convergence, qui s'est stabilisée après la réalisation du radier.

### c) Tunnel du Fréjus

Il convient également de faire référence, ici, au tunnel du Fréjus (\*).

L'ouvrage est réalisé dans des schistes lustrés avec un recouvrement très important (1 000 à 1 700 m) et les convergences mesurées suivent des lois de type  $a \log \left( 1 + \frac{t}{T} \right)$  jusqu'au moment de l'installation du revêtement définitif qui provoque une stabilisation asymptotique des déplacements.

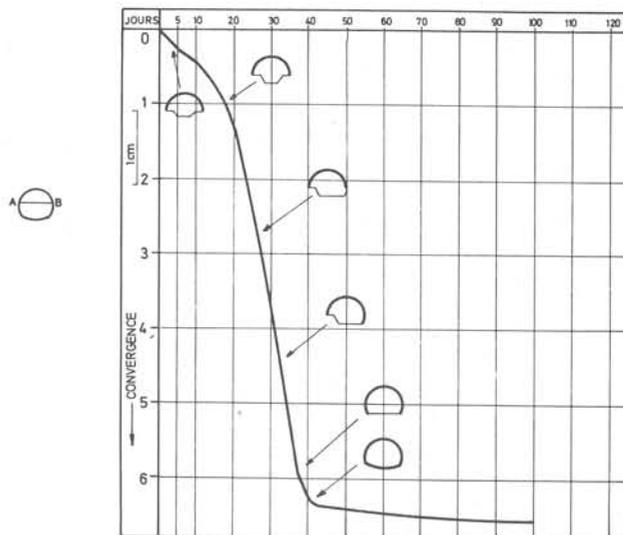


Fig. 6. — Tunnel de Rosti - Evolution de la convergence entre A et B lors du creusement du stross.

## 4. MESURES DE DEPLACEMENTS ET SIGNAL D'ALARME

L'un des principaux objets de l'auscultation est de prévenir de l'imminence d'une rupture et, pour cela, son champ d'application couvre non seulement les travaux de génie civil — dont la vocation est de durer et dont on s'efforce d'éviter la ruine — mais aussi les travaux miniers, qui s'accommodent souvent de l'effondrement, et les mouvements de terrain d'origine naturelle.

Dans le paragraphe sur la stabilité à long terme, il n'a pu être dégagé qu'une condition nécessaire de stabilité. La possibilité d'une rupture existe donc dans tous les cas. L'alarme ne peut, cependant, être donnée que si une modification de l'évolution des déplacements se produit avant la rupture.

Cinq évolutions de déplacements, relatives à des situations très différentes sont présentées :

- Effondrement dans une exploitation de minerai de fer en Lorraine, par la méthode des chambres et piliers, avec un taux de dépilage de 75 % (d'après Tincelin et Sinou, R.I.M., 1962) (fig. 7) : mesure de convergence dans une chambre, évolution de la déformation (en mm/m), de sa vitesse et de son accélération.
- Effondrements à Mirey (Jura), consécutifs aux exploitations de sel par dissolution (fig. 8) : mesures de l'affaissement d'un repère topographique, vitesse et accélération.
- Glissement du Vajont (Italie), qui mit en mouvement 250 millions de m<sup>3</sup> de terrain (fig. 9) : mesure du déplacement horizontal d'un repère topographique implanté sur la masse en mouvement.
- Glissement affectant la fosse de la mine de Chuquicamata (Chili) et qui déplaça 12 millions de tonnes

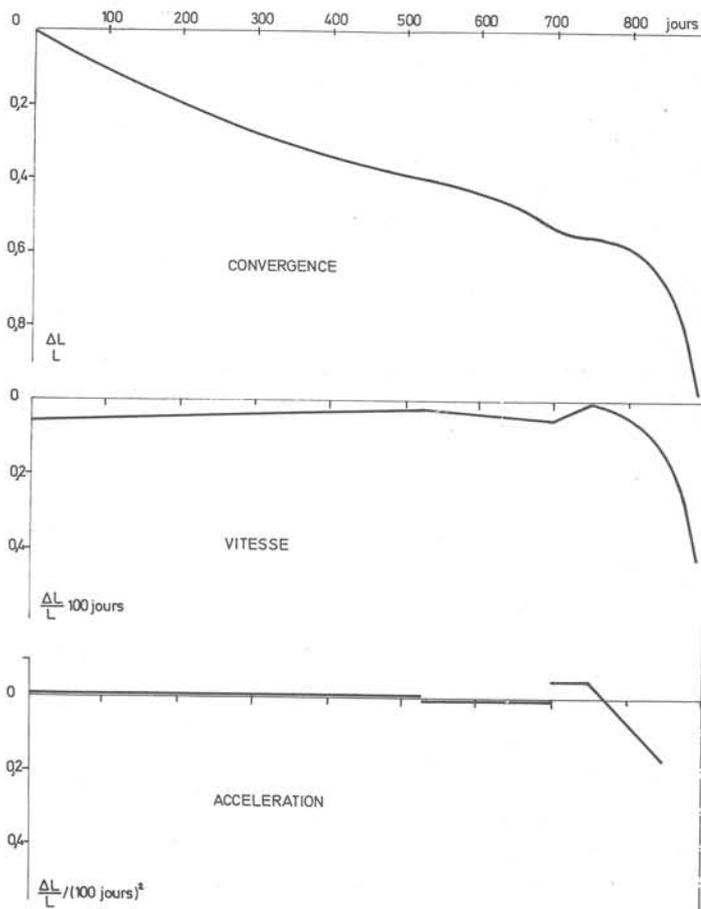


Fig. 7. — Exploitation de minerai de fer par chambres et piliers en Lorraine.

(\*) Conférence de MM. E. Tincelin et G. Vouille au Comité Français de Mécanique des Roches à Paris, le 16 juin 1977.

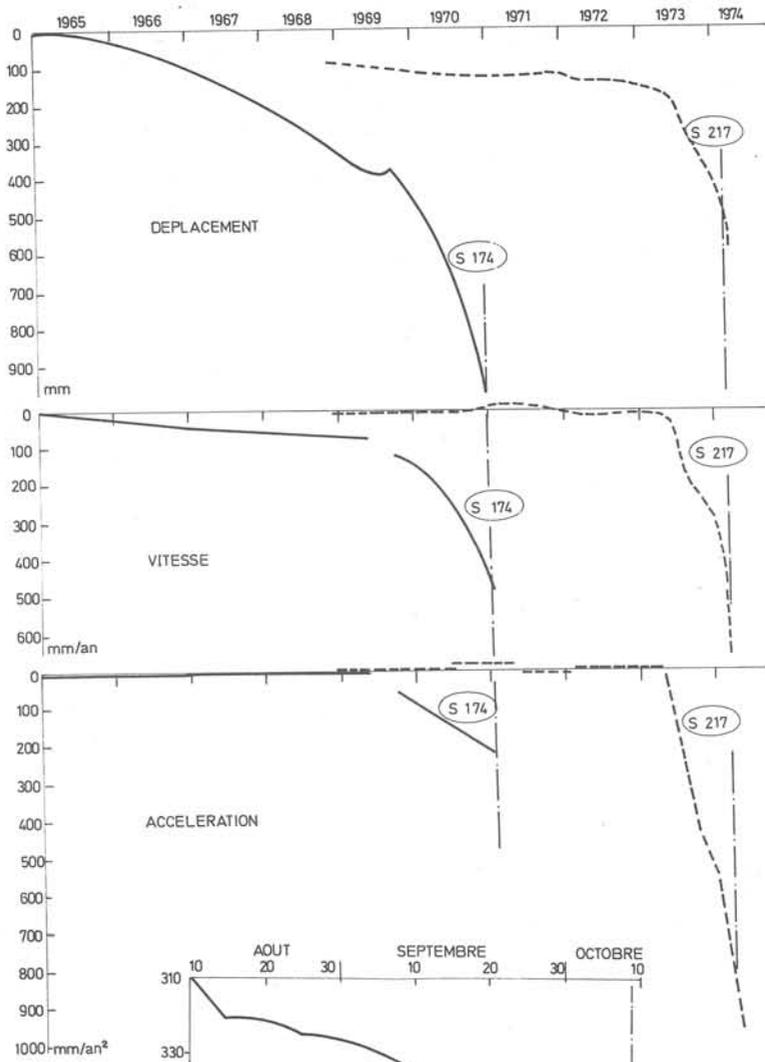


Fig. 8. — Exploitation de sel par dissolution à Miéry.

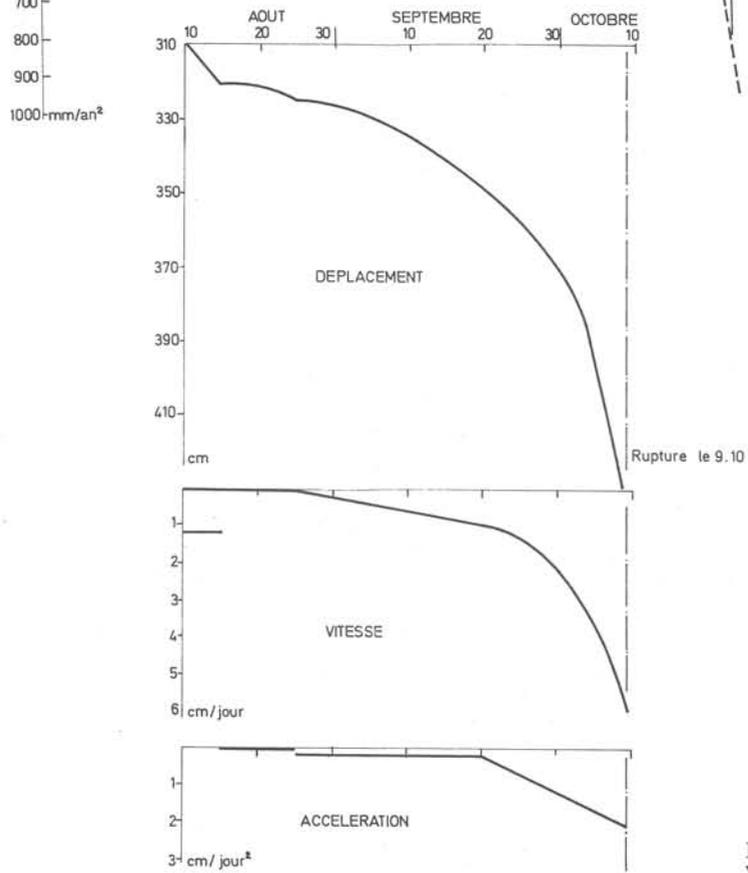


Fig. 9. — Glissement du Vajont (Italie).

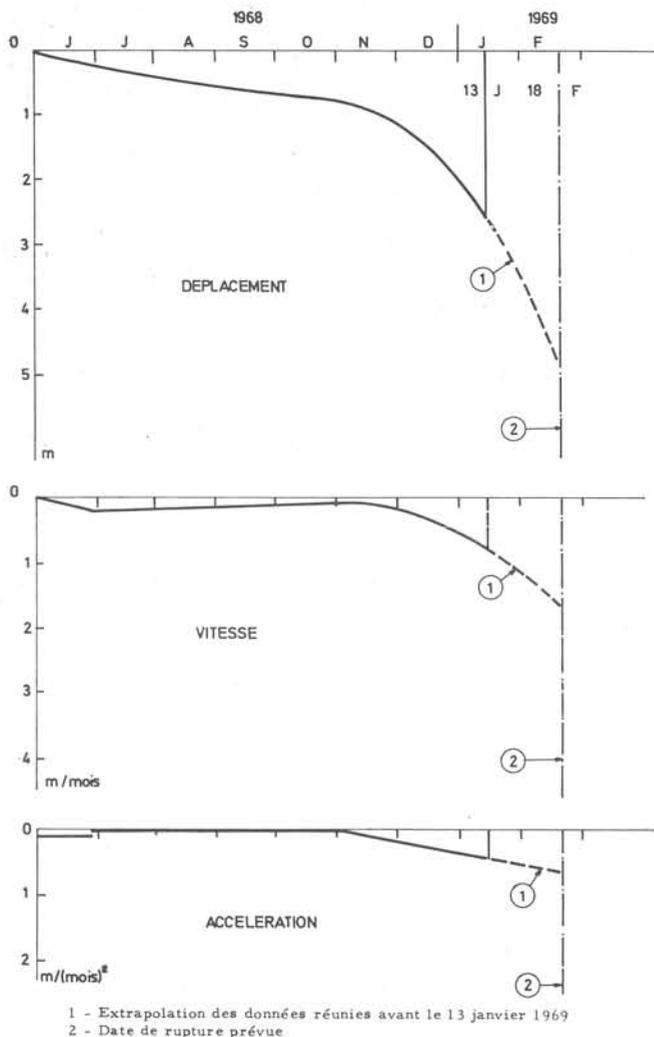


Fig. 10. — Fosse de Chuquicamata (Chili).

(fig. 10) : mesure du déplacement d'un repère topographique.

e) Glissement affectant la fosse de Kimberley Mine (Afrique du Sud) (fig. 11) : mesure du déplacement d'un repère topographique.

Compte tenu des exemples présentés ici, il semble possible de conclure que l'auscultation des déplacements d'une zone instable doit être conduite en traçant non seulement les courbes de déplacements et de vitesses, mais aussi celles d'accéléérations.

Dans les cinq cas présentés, le glissement ou l'effondrement s'est traduit, en effet, par une longue phase à accélération quasi-nulle, puis par une phase à accélération croissante en fonction d'une puissance du temps au moins égale à un, qui précède l'accident. Au cours de la première phase, le déplacement est quasi-linéaire ; au cours de la seconde phase, il croît en fonction d'une puissance du temps au moins égale à trois.

Une méthode possible de prévision de l'accident consiste donc à déterminer la date du changement de régime et, dès que les valeurs de l'accélération s'écartent de zéro plus que d'une quantité imputable aux incertitudes de mesures ou à leur dispersion, il

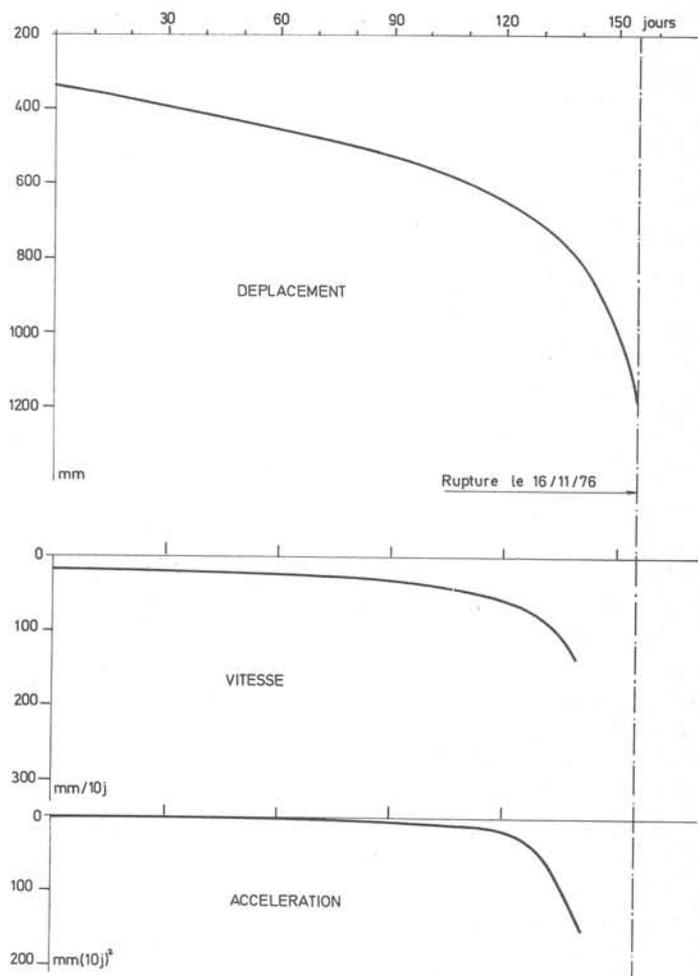


Fig. 11. — Fosse de Kimberley Mine (Afrique du Sud).

convient d'abord de multiplier le rythme des mesures pour confirmer la tendance, et ensuite de prendre les dispositions nécessaires.

On remarquera que le temps écoulé entre la date de changement de régime et la date de rupture est très variable :

Lorraine :	150 jours environ
Miery :	200 et 500 jours
Vajont :	20 jours
Chuquicamata :	110 jours
Kimberley :	30 jours

et que les vitesses des déplacements mesurés ont des ordres de grandeur très différents : de 0.5 mm/m par an en Lorraine au mètre par mois à Chuquicamata.

## 5. CONCLUSIONS

Différents aspects de l'auscultation des déplacements ont été brièvement abordés. Il semble inutile d'insister sur le caractère indispensable de l'auscultation tant pour la conduite de travaux qui perturbent l'équilibre initial des terrains que pour la surveillance de mouvements naturels à évolution catastrophique.

L'interprétation des mesures, immédiate et systématique, automatisée si possible et sans laquelle toute auscultation est bien évidemment inutile, doit pouvoir servir de signal d'alarme mais, en général, dans l'état actuel de nos connaissances, la date de la rupture ne semble pas pouvoir être précisément prévue.

Il convient enfin de souligner le caractère simplificateur de la présentation adoptée : dans la réalité, il convient de ne pas se limiter à l'auscultation des déplacements. Les mesures de contraintes et l'auscultation hydraulique sont, en effet, des compléments nécessaires aux mesures de déplacements. D'autre part, des variables climatiques (température, précipitations) ont souvent une influence considérable sur l'évolution des mouvements naturels à issue catastrophique.