



**LE XVI<sup>e</sup> COLLOQUE  
DE MÉCANIQUE DES ROCHES  
DE SALZBOURG**

**COMPTE RENDU DE CI. LOUIS \***

Les 30 septembre et 1<sup>er</sup> octobre s'est déroulé à Salzbourg le XVI<sup>e</sup> Colloque de Mécanique des Roches organisé par le groupe régional « Salzburger Kreis » de la Société Internationale de Mécanique des Roches (1).

Cette année le caractère monolingue du colloque a certainement fait beaucoup pour limiter la participation aux pays d'expression allemande. A côté des délégations importantes de l'Allemagne Fédérale et de l'Autriche, 13 autres pays étaient représentés, notamment la Suisse, l'Allemagne de l'Est, la Hollande, la Tchécoslovaquie.

Aucun thème n'avait été imposé au colloque mais on peut classer sous quatre rubriques différentes les onze communications.

- I. — *Influence des discontinuités* (2 communications);
- II. — *Procédés de mesure* (3 communications);
- III. — *Classification des roches par rapport au forage* (2 communications);
- IV. — *Stabilité des versants rocheux et appuis de barrage* (4 communications).

Ce plan est utilisé pour le compte rendu qui, comme les années précédentes, s'attache seulement à rapporter et analyser les idées maîtresses en insistant sur les discussions et remarques. Pour avoir plus de détails, il sera toujours possible de

consulter la revue « Felsmechanik und Ingenieur-geologie » où les communications et discussions seront publiées intégralement avec des résumés et légendes en anglais et français.

---

**I. Influence des discontinuités**

---

SCHNEIDEGGER (University of Illinois) dans un exposé général touchant plutôt à la géophysique, étudie les relations entre les contraintes « isallèles » (2) et les hétérogénéités superficielles. Au voisinage de la surface, l'écorce terrestre se trouve dans un état de contraintes tectoniques qui peut s'écarter considérablement de l'état hydrostatique. En étudiant les phénomènes de rupture d'après la théorie de Mohr, on obtient deux surfaces de rupture conjuguées se coupant suivant la direction de la contrainte moyenne principale.

L'auteur rappelle les trois états possibles de contraintes normales tectoniques définis par Anderson (3) et expose la théorie des « lignes isallèles de contraintes » pour étudier et caractériser le champ des contraintes tectoniques à la surface du globe. A partir de ces bases théoriques, il étudie quelles modifications introduisent sur les trajectoires de

---

\* Ingénieur des Arts et Manufactures, Institut für Boden- und Felsmechanik, Technische Hochschule, Karlsruhe.

(1) On rappelle les comptes rendus des deux Colloques précédents parus dans *La Houille Blanche*, le XIV<sup>e</sup> dans le n° 1-1964 et le XV<sup>e</sup> dans le n° 2-1965.

(2) Isallèles est un néologisme dû à Lensen (1958). Les lignes isallèles sont le lieu des points où les angles de compression ont une valeur donnée (angle des surfaces de rupture conjuguées).

(3) ANDERSON (E.M.). — *The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Britain*. *Edinburgh Oliver et Boyd* (1942).

contraintes tectoniques les hétérogénéités superficielles. La connaissance des relations liant les valeurs des contraintes isallèles et les directions des hétérogénéités à deux dimensions à la surface de l'écorce terrestre permet d'une part, de prévoir la position des directions principales du tenseur des contraintes au voisinage de la surface, d'autre part, de déduire la position des hétérogénéités invisibles à partir des lignes isallèles de contraintes dans le cas où ces dernières ont été déterminées directement au préalable (photographies aériennes, cartes tectoniques spéciales, etc.). Cette méthode peut donc constituer un nouveau procédé de prospection géophysique.

L'auteur se limite à des cas simples. Il étudie l'influence d'hétérogénéités localisées, par exemple, cavité cylindrique, fissures planes.

Pour illustrer son exposé, il donne des exemples d'études dans la région au sud de l'Etat d'Illinois. A partir d'une carte des failles visibles dans cette région, l'auteur a déterminé les lignes isallèles de contraintes et les systèmes de contraintes s'y rattachant.

A une échelle plus réduite, DÖRING (Berlin-Est) étudie l'influence d'un système de fissuration représenté par des plans parallèles, sur la répartition des contraintes dans un demi-plan avec sollicitations extérieures quelconques (fig. 1).

Pour ce problème à deux dimensions, il ajoute aux deux équations habituelles de l'équilibre élastique, la loi de frottement de Coulomb dans les plans de fissuration. Il obtient alors, pour la répartition des contraintes, des expressions explicites en fonction des conditions aux limites et de l'angle  $\alpha$  définissant l'orientation du système de fissuration. Les solutions proposées par Döring sont de type hyperbolique et mettent en évidence les anisotropies mécaniques.

Les singularités du système différentiel se traduisent par deux directions privilégiées dont l'une se confond avec celle du système de fissuration.

Au cours de la discussion, le professeur MÜLLER mentionne qu'à l'aide d'études de photo-élasticité cette répartition des contraintes a déjà été observée (fig. 2). Les efforts se répartissaient soit dans les couches limitées par les plans de fissuration, soit dans une direction plus ou moins perpendiculaire au système de fissuration.

## II. Procédés de mesure

KASPAR (Prague) a étudié l'influence de l'état de compression interne des massifs rocheux sur leurs propriétés électromagnétiques. A partir de ces relations, il a mis au point un système de mesure des variations de la compression interne. L'appareil en lui-même est constitué d'un émetteur (fréquence 15 MHz) et de deux récepteurs. Les récepteurs placés à des distances différentes de l'émetteur, doivent être sensibles et précis, car les variations des grandeurs mesurées sont très faibles. Les mesures permettent de déterminer les variations des constantes relatives à la propagation des ondes électro-

magnétiques. Ces constantes sont liées à l'état de compression du milieu.

Les principales difficultés rencontrées par Kaspar résident, d'une part dans l'obtention d'une précision de mesure suffisante et, d'autre part, dans l'élimination des influences perturbatrices ayant parfois des effets analogues à celui de la variation de la compression interne (par exemple la variation de la teneur en eau).

Louis MÉNARD (Paris) expose les possibilités d'application des techniques pressiométriques dans les roches et massifs rocheux. Il utilise des appareils fournissant des pressions plus élevées que pour l'étude de sols et avec une plus grande sensibilité dans les mesures de déformation. Cette méthode est bien connue en France.

Après de nombreuses questions, notamment sur la sensibilité, la précision des mesures, l'influence de la température de l'humidité, le professeur Müller demande des précisions sur la façon dont les résultats reflètent la fissuration (plus précisément la fréquence des fissures), Ménard donne les deux courbes schématiques de la figure 3. Toutefois cette réponse reste théorique, car le pressiomètre fait « pont » par rapport aux fissures.

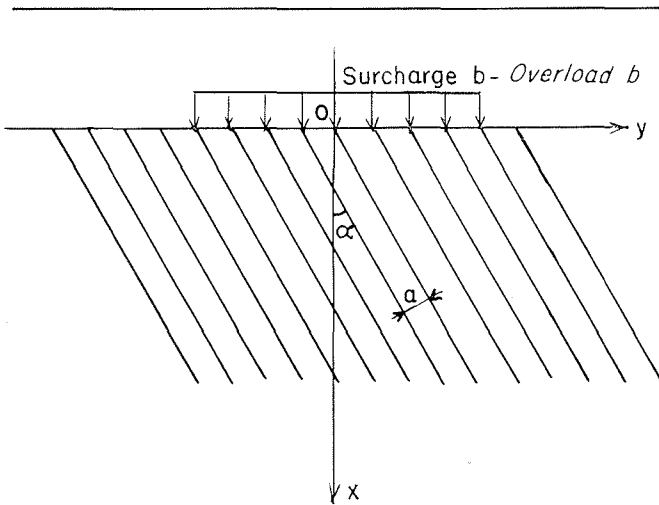
DVORAK (Prague) présente un appareil qui s'applique au même problème. C'est une sonde qui exerce, par air comprimé, une pression radiale sur la paroi du trou de forage. Les déformations résultantes sont obtenues par mesure directe des variations du diamètre du trou de forage. Ces mesures de variations de diamètre imposent préalablement un forage soigné, de diamètre rigoureusement constant. Elles sont faites par un moyen mécanique. Le système de mesure est constitué d'une pointe et de plaques placées à la paroi du forage. Le déplacement de la pointe, pour venir en contact avec les plaques, est assuré par un moteur électrique. Le nombre de tours que le moteur doit faire pour obtenir le contact permet de déterminer la longueur du déplacement de la pointe.

Les résultats concernant les modules de déformation obtenus à l'aide de cet appareil concordent relativement bien avec les valeurs déterminées par des essais au vérin.

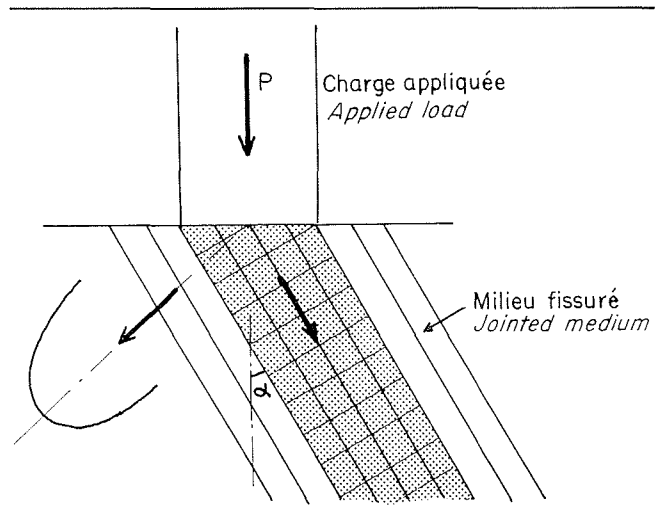
On rappellera ici la longue tradition d'appareils français mis au point spécialement pour les roches par Electricité de France et par le Centre expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics (voir notamment : Noël, *Ann. I.T.B.T.P.*, n° 185, mai 1963; et Comès, *Travaux*, novembre 1965).

## III. Classification des roches par rapport au forage

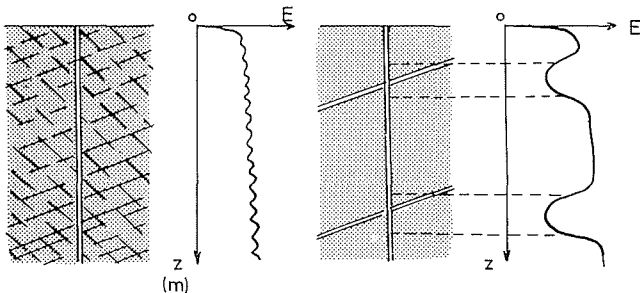
FETTWEIS (Leoben) aborde les questions de résistance des roches en les reliant aux problèmes de forage. Les conditions de forage dans les roches dépendent de très nombreux facteurs. Jusqu'à présent, les relations liant, par exemple, les vitesses d'avancement aux différents paramètres n'ont été étudiées que très sommairement. Fettweis a étudié ce problème de manière systématique en vue de prévoir les possibilités de forage dans des cas don-



1/ Géométrie du milieu fissuré considéré par Döring.  
Geometry of the jointed medium considered by Döring.



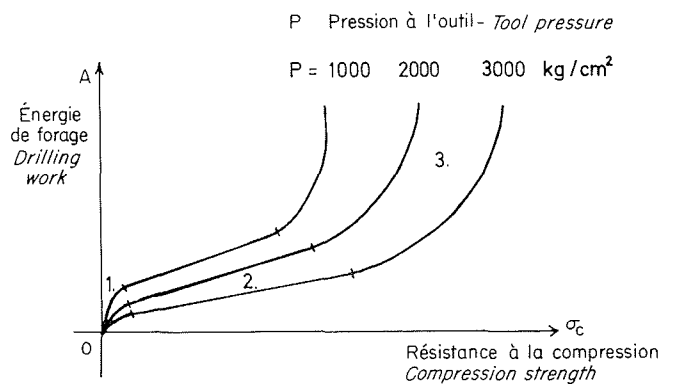
2/ Principe des essais de Föppl en photo-élasticimétrie (remarque de L. Müller).  
Principle of Föppl's photo-elasticimetric tests (comment by L. Müller).



1 - Massif très fissuré  
Very jointed rock

2 - Massif ayant des fissures isolées  
Rock with isolated joints

3/ Influence de la fissuration sur les résultats des mesures pressiométriques.  
Effect of jointing on pressiometer measurement results.



4/ Résultats des essais de Fettweis.  
Fettweis test results.

nés. Il étudie en particulier les influences de la résistance du rocher et de la pression sur l'outil. Les grandeurs de référence sont soit les énergies de forage, soit les vitesses d'avancement.

L'étude expérimentale comporte plus de 7 000 essais dans divers matériaux (béton, mortier et différentes roches). Les mortiers ont l'avantage de présenter des caractéristiques mécaniques variables avec l'âge, tandis que la composition et la structure restent inchangées.

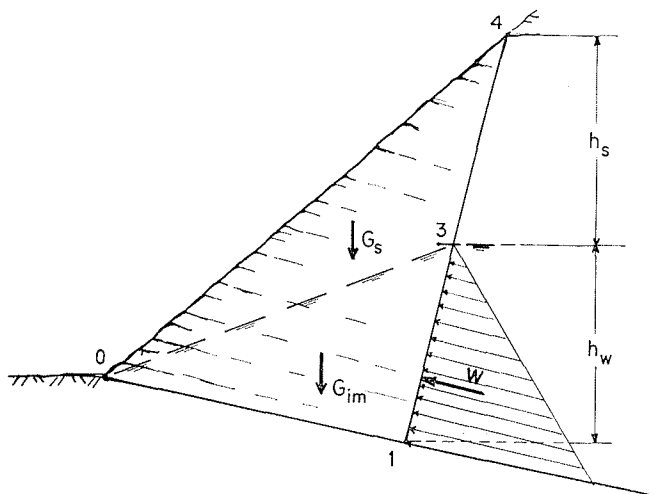
Les essais de forage rotatif ont été systématiquement conduits avec un diamètre de 10 mm sur une profondeur de 10 mm. Les résultats montrent (fig. 4) que l'énergie de forage a, en fonction de la résistance à la compression de l'échantillon considéré, une croissance tout d'abord dégressive (zone 1) (pour des échantillons de faible résistance à la compression) et ensuite une croissance linéaire (zone 2). Ce domaine de linéarité est d'autant plus étendu que la pression sur l'outil est plus élevée. Pour une pression donnée sur l'outil, on remarque qu'il existe une valeur caractéristique de la résistance à la compression au-delà de laquelle la croissance de l'énergie de forage cesse d'être linéaire et prend une allure asymptotique (zone 3). On peut considérer que l'énergie de forage est infinie à partir

du moment où la vitesse d'avancement est nulle, la pression sur l'outil correspondante est, pour la résistance à la compression considérée, la pression critique de forage en dessous de laquelle l'avancement cesse d'être possible.

En vue d'établir une classification des roches, LOCKER (Salzbourg) a rassemblé un très grand nombre de résultats concernant les caractéristiques mécaniques des outils de foration, dans les mines, les carrières et sur les chantiers de tunnels. Il fait état également des ruptures d'outils et de fréquence d'affûtage. L'auteur a établi la classification des roches en prenant pour critère les conditions d'avancement (classes de 1 à 100).

Locker s'attache ensuite à dégager les avantages sur le plan économique et au point de vue régularité des profils, des procédés utilisant le principe de la fraise. Pour illustrer son exposé, il cite des exemples pratiques du bassin houiller de Trimmelkam et parle des machines de foration utilisées en Autriche (jusqu'à un diamètre 2,40 m) et des machines étrangères (U.S.A., U.R.S.S., Angleterre, Allemagne).

A la fin de l'exposé, Locker propose un film sur la machine de forage Wohlmeyer (Vienne) travaillant dans une mine de charbon et dans une carrière.



5/ Etude d'un versant en tenant compte de l'eau \* présente dans les fissures :

- 0-4 surface du versant;
- 1-4 fissure ouverte;
- 0-3 niveau de l'eau dans les fissures;
- 0-1 joint de stratification.

*Study of a hillside allowing for water in the joints \**

- 0-4 surface of hillside;
- 1-4 open joint;
- 0-3 water level in joints;
- 0-1 stratification joint.

#### IV. Stabilité des versants rocheux et des appuis de barrage

PETZNY (Vienne) aborde le problème difficile de la stabilité des versants rocheux. Les méthodes de la Mécanique des Sols ne sont pas applicables dès qu'interviennent des plans de discontinuité naturels : stratification, fissuration, schistosité... Les surfaces de glissement, en particulier, peuvent s'écarter notablement des formes circulaires.

La répartition des efforts présente elle aussi très souvent de notables singularités, elle dépend essentiellement des directions de plus haute résistance (de plus faible compressibilité). Le remplissage des fissures joue également un rôle important; en effet, le long des fissures remplies de matériaux fins, la transmission des efforts, normaux et de cisaillement est particulièrement diminuée. A côté de cela l'eau joue un rôle tout à fait néfaste dans les massifs rocheux. Les forces de pressions, d'une part, peuvent prendre des valeurs élevées, d'autre part, la présence d'eau entraîne une altération physique du milieu par diminution de la résistance (la cohésion et le coefficient de frottement du remplissage se trouvent défavorablement affectés et il peut se produire des phénomènes de gonflement).

En s'aidant d'exemples précis, Petzny donne des explications sur ces phénomènes et insiste sur la nécessité de les prendre en considération (fig. 5).

\* Cet exemple a déjà été présenté par Petzny au 8<sup>e</sup> Congrès des Grands Barrages. (An example presented by Petzny at the Eight Large Dams Congress) : H. PETZNY, « On the practice of foundation rock investigation in Austria; - Hydrostatic effects in jointed rock »; Part C, 8<sup>e</sup> Congrès des Grands Barrages, VI, Q 28 (954-964), Edinburgh 1964.

Dans de nombreux cas, les ruptures et les glissements dans les massifs rocheux se produisent le long des plans de discontinuité sous l'action de la pression hydrostatique de l'eau. Dans les exemples envisagés, l'auteur expose la manière de tenir compte de l'action statique de l'eau, dans les calculs de stabilité de versants rocheux. Petzny mentionne également que, selon les circonstances, l'influence néfaste de l'eau peut être accrue et avoir une action supérieure à celle correspondant à la différence de niveau le long d'une surface de glissement (cas où les fissures à la surface du massif sont obstruées par des matériaux fins).

Dans la discussion, WITTKE (Karlsruhe) demande si ces analyses de stabilité prennent en considération la rotation possible des éléments rocheux et également si l'influence des forces d'écoulement de l'eau à travers les massifs a été envisagée. Dans les deux cas, Petzny répond négativement.

KETTNER (Linz, Autriche) aborde le problème des projets de barrages-voûtes. Ses constatations et remarques ont été faites à l'occasion du projet du barrage de Kölnbrein, arc symétrique parabolique (rapport longueur de crête, hauteur : 3,1). Les calculs ont été programmés sur machine électronique. On a constaté que, dans la détermination des efforts transmis aux appuis, il s'introduisait des différences importantes (en grandeur et direction) suivant que le calcul prenait en compte uniquement l'ajustement des déformations radiales ou bien l'ajustement des déformations radiales, des déformations tangentielles et des déformations de torsion (triple égalité) (4).

HILTSCHER (Stockholm) étudie la répartition des contraintes dans les appuis de barrages pour différentes directions de la résultante des efforts transmis. Il a réalisé des essais de photo-élasticité (fig. 6 a et b).

Il commente les résultats de ses travaux sans manquer de remarquer que le rocher des appuis de barrages présente, en comparaison avec les modèles trop idéalisés, des caractères essentiellement hétérogènes et anisotropes et, en général, une faible résistance à la traction; cependant ces études photo-élastiques permettent d'observer l'endroit et l'importance des concentrations de contraintes (par approximation, on peut conclure sur le comportement des appuis rocheux).

Les cas  $\alpha = 45^\circ$  et  $\alpha = 60^\circ$  sont intéressants à étudier plus en détail, car ils se rencontrent la plupart du temps dans la pratique. Les essais ont montré que l'importance des efforts de traction augmentait avec la valeur de l'angle  $\alpha$ . Hiltcher a délimité trois domaines de contraintes de traction suivant la nature des ruptures qu'elles peuvent entraîner (fig. 6 c). Ses résultats sont donnés en fonction des directions et des valeurs des contraintes principales.

PACHER (Salzbourg) aborde le problème du contrôle des fondations des barrages-voûtes. Les dimensions toujours croissantes des ouvrages et la nature des fondations résultantes imposent des techniques de contrôle de plus en plus précises.

(4) Ce triple ajustement est désormais considéré comme un minimum, que les moyens de calcul actuels permettent de dépasser dans bien des cas.

Les appuis de barrage doivent être l'objet d'une auscultation constante. Pour cela, on dispose actuellement d'un grand nombre d'appareils de mesure tels que extensomètres (déformations longitudinales et transversales), pendules, inclinomètres, etc.

Il est nécessaire cependant, pour utiliser ces appareils rationnellement, de connaître la position des domaines critiques et les directions possibles de déformation. Cela permet de répartir convenablement les appareils de contrôle et de leur donner des orientations favorables. Une étude statique d'un appui de barrage a apporté de nombreuses indications à ce sujet. Les zones critiques (dans lesquelles les risques de rupture et de glissement sont les plus grands) se situent dans le domaine aval du contact béton-rocher (fig. 7). Pacher termine en donnant un exemple de contrôle d'appuis de barrage.

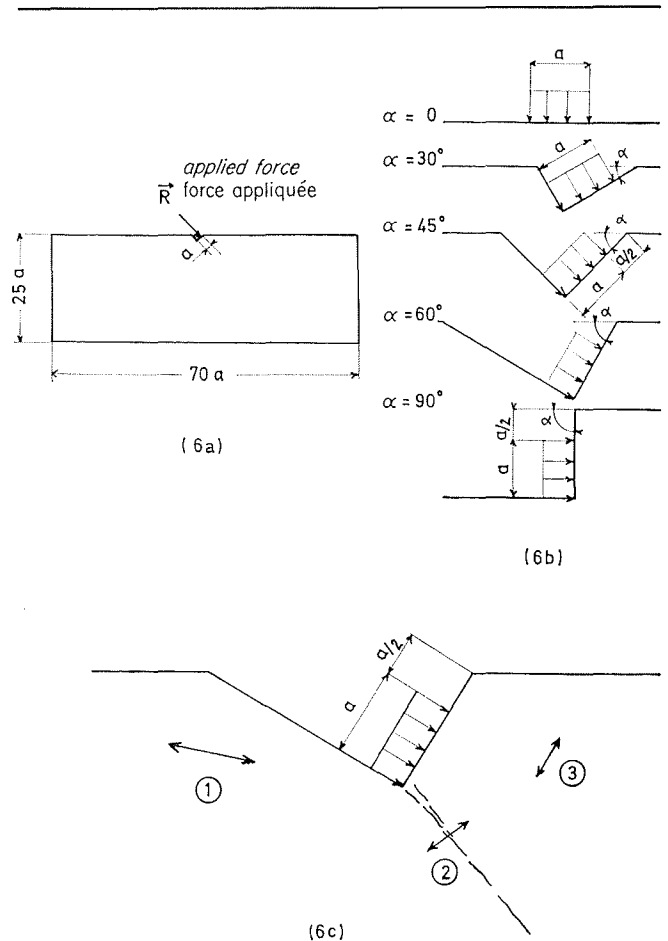
HORVATH (Budapest) a présenté un exposé hors programme sur la compression interne des massifs rocheux et son rôle important pour les projets de tunnels, galeries et puits. Des essais sur modèle ont été effectués à Budapest pour étudier les propriétés des massifs traversés, par exemple, par un tunnel et plus précisément pour connaître la nature des déformations dans de tels milieux.

**Conclusion**

De cette confrontation, on retiendra surtout le progrès des idées et des essais sur les discontinuités du massif rocheux. Sans doute les calculs théoriques et les appareils de mesure se développent parallèlement dans de nombreux pays. Au contraire, « l'école de Salzbourg » garde une avance indiscutable dans le domaine du massif fissuré. On rappelle que c'est à son animateur, le Professeur Müller qu'est due l'organisation de la Société Internationale de Mécanique des Roches dont le premier congrès aura lieu en 1966 à Lisbonne.

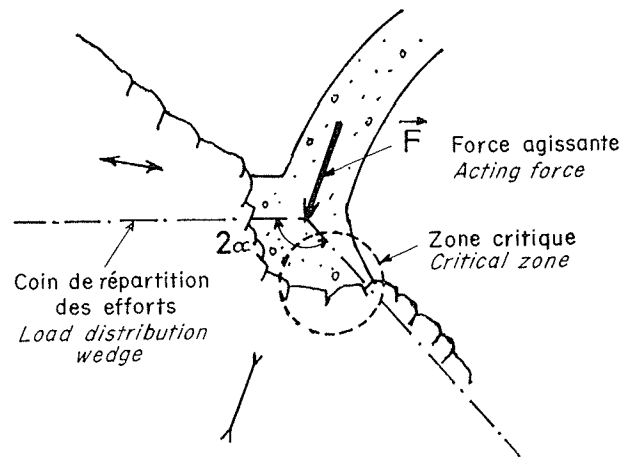
**Liste des communications présentées**

1. Professeur Dr. ADRIAN (E.), SCHEIDEGGER et PAUL (H. Lu), University of Illinois : « Influence des inhomogénéités de surface sur les contraintes dans les roches. »
2. Dr. DÖRING (Tilo), Arbeitsstelle für Geomechanik der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin : « Sur l'influence de la fissuration sur la répartition des contraintes dans les massifs rocheux. »
3. Dipl.-Ing. KASPAR (Milan), Prague : « Projet d'une nouvelle méthode radiotechnique de mesure des variations de la compression interne des massifs rocheux. »
4. MÉNARD (L.), Ingénieur-Conseil, Paris : « Application des procédés pressiométriques aux massifs rocheux. »
5. Dr.-Ing. DVORAK (A.), Ustredni Geologicky Urad, Prague : « Projet d'un dilatomètre; résultats des essais de mesure. »
6. Prof. Dr. FETTWEISS (G.B.) et Dr. RESKA (P.), Montanistische Hochschule, Leoben : « Etude des relations entre les conditions de forage et la résistance des roches. »



6/ Etude de photo-élasticité réalisée par Hiltsher.  
 6 a : schéma du modèle utilisé;  
 6 b : différents cas envisagés;  
 6 c : définition des domaines de traction (1) traction pure (Aufhängzugspannungen), (2) traction de déchirure (Abreisszugspannungen), (3) traction induite par la compression (Spaltzugspannungen).

Photo-elasticity study by Hiltsher.  
 6 a : Diagram of the model;  
 6 b : Cases considered;  
 6 c : Tensile stress definitions : (1) Pure tensile stress, (2) Tearing tensile stress, (3) Tensile stress induced by compression.



7/ Représentation schématique des conclusions de Pacher.  
 Diagrammatic illustration of Pacher's conclusions.

**CI. LOUIS**

7. BERGRAT (h. c.) et Dr. LOCKER (Friedrich), Salzach-Kohlenbergbau G.m.b.H., Trimmelkam :  
 « Une classification des roches d'après le métal utilisé pour les machines de forage dans les mines. »
8. Dr. PETZNY (H.), Niederösterreich. Elektrizitätswerke A.G., Wien :  
 « Sur la stabilité des versants rocheux. »
9. Dipl.-Ing. Dr. KETTNER (R.), Linz :  
 « Efforts transmis aux fondations des barrages-voûtes. »

10. Dozent Dr. HILTSCHER (R.), Statens Vattenfallsverk, Stockholm :  
 « La répartition des contraintes dans les appuis rocheux de barrage pour différentes directions de la résultante des forces agissantes. »
11. Dipl.-Ing. PACHER (F.), Ingenieurkonsulent für Bauwesen, Salzburg :  
 « Réflexions sur l'auscultation du rocher de fondation des barrages-voûtes. »
12. Prof. HORVATH (J.), Budapest, Ungarn :  
 « Dimensionnement des puits et galeries de section circulaire dans les mines. »

