

<b>Zeitschrift:</b>	Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
<b>Band:</b>	77 (1985)
<b>Heft:</b>	10
<b>Artikel:</b>	Le traitement des fondations de grands barrages en relation avec les infiltrations = Die Behandlung der Fundationen grosser Talsperren zur Verhinderung von Drucksicherungen
<b>Autor:</b>	Balissat, Marc
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-940962">https://doi.org/10.5169/seals-940962</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# *Le traitement des fondations de grands barrages en relation avec les infiltrations*

Résultats de la question 58 traitée au 15<sup>e</sup> Congrès international des Grands Barrages 1985 à Lausanne

Marc Balissat

## *Introduction*

La question 58 a fait l'objet de 86 rapports provenant de 38 pays, sans compter les contributions qui s'y rapportent dans les rapports de synthèse. Ceci a fait dire au rapporteur général, M. A. Bozovic de Yougoslavie, que «la réponse à la Q 58 est une des plus élevées parmi les différents congrès de la CIGB, ce qui montre son intérêt permanent pour les ingénieurs des grands barrages».

La question était subdivisée en 4 sujets, qui se sont répartis de manière inégale sur l'ensemble des rapports:

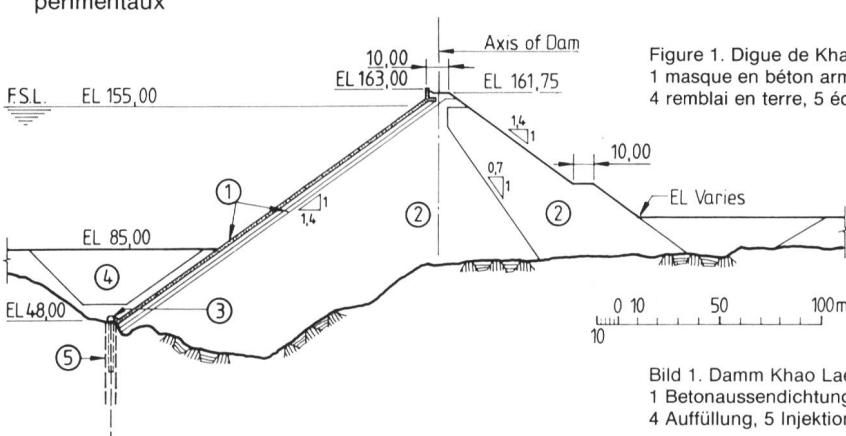
- a) méthodes de détermination des caractéristiques de perméabilité du terrain de fondation (16 rapports)
- b) conception et exécution de l'écran d'étanchéité et du dispositif de drainage (59 rapports)
- c) moyens d'apprécier l'efficacité et la pérénité de l'étanchement et du drainage (27 rapports)
- d) interventions pour réduire les fuites et les sous-pressions (18 rapports)

Il y a ici lieu de relever que le Comité suisse des grands barrages avait soumis quatre rapports dont l'un (R 12, par MM. le prof. R. Sinniger, T. Schneider et H. Stump) constitue une rétrospective sur le traitement des fondations de barrage en Suisse. Les autres rapports avaient pour auteurs M. G. Lombardi (R 13, Rôle de la cohésion dans l'injection des roches avec un coulis de ciment), M. B. Gilg (R 51, Evolution des infiltrations des sous-pressions dans les barrages en béton et leurs fondations) et MM. H. Kreuzer et T. Schneider (R 58, Voile d'étanchéité inhabituel dans un calcaire karstifié pour le barrage-voûte d'El Cajón en Honduras).

Il est intéressant de noter que ce rapport a également pour co-auteurs MM. R. Flores et J. Rodriguez, respectivement directeur et chef de département à l'ENEE, la compagnie nationale d'électricité du Honduras, qui vient d'être admis comme 76<sup>e</sup> pays membre à la CIGB.

Durant les deux sessions techniques consacrées à la question 58, pas moins de 25 contributions préparées ont été présentées par divers auteurs. Celles-ci répondent aux trois premiers thèmes de discussion proposés par le rapporteur général, à savoir:

1. injectabilité et sa relation avec différents paramètres expérimentaux



# *Die Behandlung der Fundationen grosser Talsperren zur Verhinderung von Durchsickerungen*

Ergebnisse der am 15. Internationalen Talsperrenkongress 1985 in Lausanne behandelten Frage 58

Marc Balissat

## *Einleitung*

Die Frage 58 wurde in nicht weniger als 86 Berichten (aus 38 Ländern stammend) behandelt, ohne die entsprechenden Beiträge aus den sog. «General Papers» hinzuzuzählen. Aufgrund dessen schrieb der General Reporter A. Bozovic aus Jugoslawien: «Die Antworten zur Frage 58 gehören zu den umfangreichsten im Rahmen der bisherigen ICOLD-Kongresse, was auf ein dauerhaftes Interesse seitens der Talsperreningenieure schliessen lässt.»

Die Frage 58 ist unterteilt in vier Themen, welche sich ungleichmäßig auf die Berichte verteilen:

- a) Methoden zur Bestimmung der Durchlässigkeitsskennwerte im Untergrund (16 Berichte)
- b) Gestaltung und Ausführung des Dichtungsschirmes und des Drainagesystems (59 Berichte)
- c) Mittel zur Abschätzung der Wirksamkeit und der Dauerhaftigkeit von Abdichtung und Drainage (27 Berichte)
- d) Massnahmen zur Verringerung der Sickerverluste und des Auftriebs (18 Berichte)

Das Schweizerische Nationalkomitee für Grosses Talsperren hat vier Berichte unterbreitet, von welchen einer (Bericht R. 12 von Prof. R. Sinniger, Dr. T. Schneider und H. Stump) einen Überblick über die Behandlung von Talsperrenfundationen gibt. Die anderen Berichte wurden von Dr. G. Lombardi (Bericht R. 13 Rolle der Kohäsion bei Felsinjektionen mit Zement), Dr. B. Gilg (Bericht R. 51 Entwicklung der Sickerwassermengen und des Auftriebs in Betontalsperren und ihren Fundationen) sowie Dr. H. Kreuzer und T. Schneider (Bericht R. 58 Ungewöhnlicher Dichtungsschleier im verkarsteten Kalk für die Bogenmauer El Cajón in Honduras) unterbreitet. An diesem letzten genannten Beitrag waren ebenfalls R. Flores und J. Rodriguez (Direktor bzw. Abteilungsleiter bei ENEE, der nationalen Elektrizitätsgesellschaft von Honduras) beteiligt. Hier sei zu erwähnen, dass Honduras noch kurz vor dem 15. Kongress als 76. Mitgliedstaat vom ICOLD aufgenommen wurde.

Während der zwei der Frage 58 gewidmeten technischen Sitzungen wurden nicht weniger als 25 vorbereitete Beiträge verschiedener Autoren vorgestellt. Sie verteilten sich

Figure 1. Digue de Khao Laem, section.  
1 masque en béton armé et filtres, 2 enrochemen, 3 galerie d'injection,  
4 remblai en terre, 5 écran d'injection et paroi moulée.

Bild 1. Damm Khao Laem, Querschnitt.  
1 Betonaussendichtung und Filter, 2 Felsschüttung, 3 Injektionsgalerie,  
4 Auffüllung, 5 Injektionsschleier und Schlitzwand.

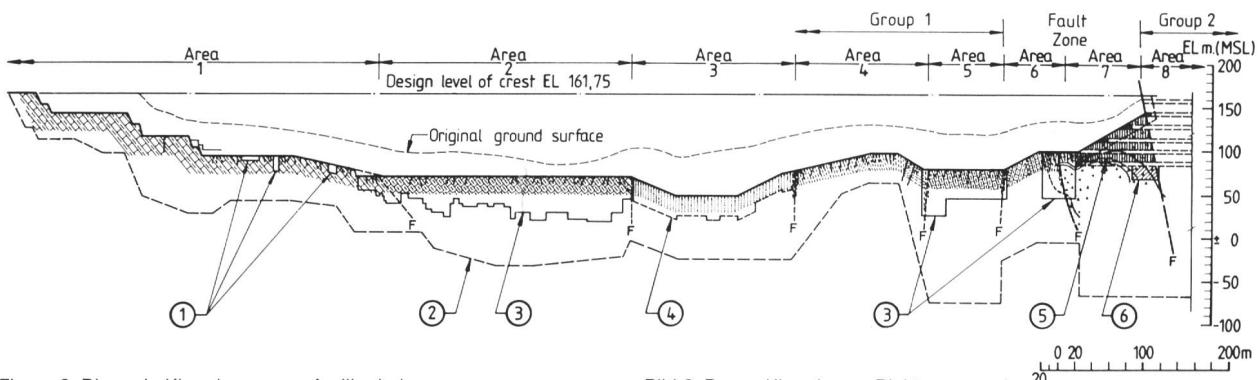


Figure 2. Digue de Khao Laem, parafouille du barrage.  
1 tranchée parafouille, 2 limite d'injection, 3 paroi moulée, 4 cellules de chasse, 5 mur parafouille, 6 mini paroi moulée.

2. critères de dimensionnement des voiles d'injection et de drainage
3. placement des galeries d'injection et de drainage le long des fondations et dans les appuis

Quant au quatrième thème, intitulé «instrumentation optimum pour l'observation des débits de fuite et des prévisions piézométriques» il n'a suscité curieusement aucune contribution de la part de l'assistance, ceci peut-être parce qu'il se rattachait également à la question 56, traitée en début de congrès.

Quelles sont les différentes tendances et les faits saillants (nouveautés, applications originales) qui se dégagent d'un volume aussi important d'information technique? C'est ce que nous allons tenter de faire dans les lignes qui suivent.

#### *Perméabilité et injectabilité du terrain de fondation*

On constate tout d'abord que l'*essai Lugeon* reste l'outil principal pour l'évaluation ponctuelle de la perméabilité et de l'efficacité atteinte par les travaux d'injection en rocher. Quelques nouveautés intéressantes sont toutefois apparues ces dernières années telles:

- L'*essai d'air sous pression*, technique mise au point en URSS (R 84) pour déterminer la perméabilité de tronçons situés au-dessus de la nappe phréatique, en particulier dans des régions désertiques ou dans le permafrost.
- L'*essai aux oscillations libres* consistant à créer une petite dépression dans la nappe phréatique et à observer les oscillations de la nappe autour de sa position moyenne. En observant la fréquence naturelle et le coefficient d'amortissement des oscillations, il est possible de déduire la transmissibilité de l'aquifère et sa perméabilité. Cette technique, en usage depuis quelques années en Allemagne, a été récemment appliquée à la fondation du barrage de Bigge (R 21). Son principal avantage, selon ses auteurs, réside dans son économie et sa rapidité.
- Enfin, d'autres techniques plus sophistiquées, tel l'*essai de dilution de traceurs radioactifs* dans un forage, décrit dans le R 85.

On peut aussi remarquer un certain scepticisme à l'égard de la pression de 10 bars pour exprimer la perméabilité des roches, surtout dans le cas de roches compressibles. Le champ de contraintes hydrostatiques induit par un essai Lugeon est différent du champ des contraintes causées par la filtration et tend à ouvrir les fissures, augmentant ainsi les absorptions.

Ces préoccupations sont apparues également, lors de la discussion du 2<sup>e</sup> thème proposé. Une majorité d'auteurs pensent cependant que la définition de l'*essai Lugeon* ne devrait pas être changée et le rapporteur général de proposer que «la valeur représentative de la perméabilité des

Bild 2. Damm Khao Laem, Dichtungswand.  
1 Graben, 2 untere Grenze der Injektionsbohrungen, 3 Schlitzwand,  
4 Spülkammern, 5 Herdmauer, 6 Mini-Schlitzwand.

auf die ersten drei, vom General Reporter vorgeschlagenen Diskussionsthemen, nämlich:

1. Injizierbarkeit und ihre Beziehung zu verschiedenen Versuchsparametern.
2. Kriterien zur Dimensionierung von Dichtungs- und Drainageschleieren.
3. Anordnung von Injektions- und Drainagegalerien entlang der Fundationen und der Widerlager.

Zum vierten Thema, «Optimale Instrumentierung zur Beobachtung von Sickerwassermengen und piezometrischen Drücken», hat erstaunlicherweise kein Teilnehmer einen Beitrag eingereicht. Dies lässt sich vielleicht dadurch erklären, dass das Thema innerhalb der am Anfang des Kongresses behandelten Frage 56 behandelt wurde.

Welche sind nun die verschiedenen Tendenzen sowie die markantesten Punkte (Neuigkeiten, originelle Anwendungen), die sich aus einem derart grossen Volumen an technischen Informationen ableiten lassen? Dazu möchten wir uns in den folgenden Zeilen kurz äussern.

#### *Durchlässigkeit und Injizierbarkeit der Fundation*

Als erstes kann festgestellt werden, dass der *Lugeon*-Versuch das Hauptmittel zur punktförmigen Abschätzung der Durchlässigkeit und der Wirksamkeit von Felsinjektionen bleibt. Einige erwähnenswerte Neuheiten sind in den letzten Jahren erschienen, so z.B.:

- Der *Luftdruckversuch*, eine von den Russen entwickelte Technik (Bericht R. 84), um die Durchlässigkeit von Bohrlochstrecken oberhalb des Grundwassers zu bestimmen, z.B. in ariden Gebieten oder im Permafrost.
- Das *Einschwingverfahren*, welches darin besteht, mittels Druckluft eine kleine Senke des Grundwasserspiegels zu erzeugen, um die daraus resultierenden Schwingungen des Wasserspiegels um seinen mittleren Stand zu beobachten. Von der Eigenfrequenz und dem Dämpfungskoeffizienten der Schwingungen können die Transmissivität des Grundwasserträgers und seine Durchlässigkeit abgeleitet werden. Diese Versuchstechnik ist vor einigen Jahren in Deutschland entwickelt worden und wurde vor kurzem bei der Fundation der Bigge-Talsperre (Bericht R. 21) angewendet. Diese Methode sei, laut der Verfasser, besonders kostengünstig und zeitsparend.
- Weitere hochentwickelte Techniken, wie z.B. die Konzentrationsbestimmung von Nukleiden entlang eines Bohrloches, wie im Bericht R. 85 beschrieben.

Eine gewisse Kritik gegenüber dem Standarddruck von 10 bar zur Bestimmung der Felsdurchlässigkeit wurde mehrfach geäussert, dies vor allem im Falle von druckempfindlichem Gestein. Das durch einen Wasserabpressversuch erzeugte Spannungsfeld im Fels entspricht nicht dem

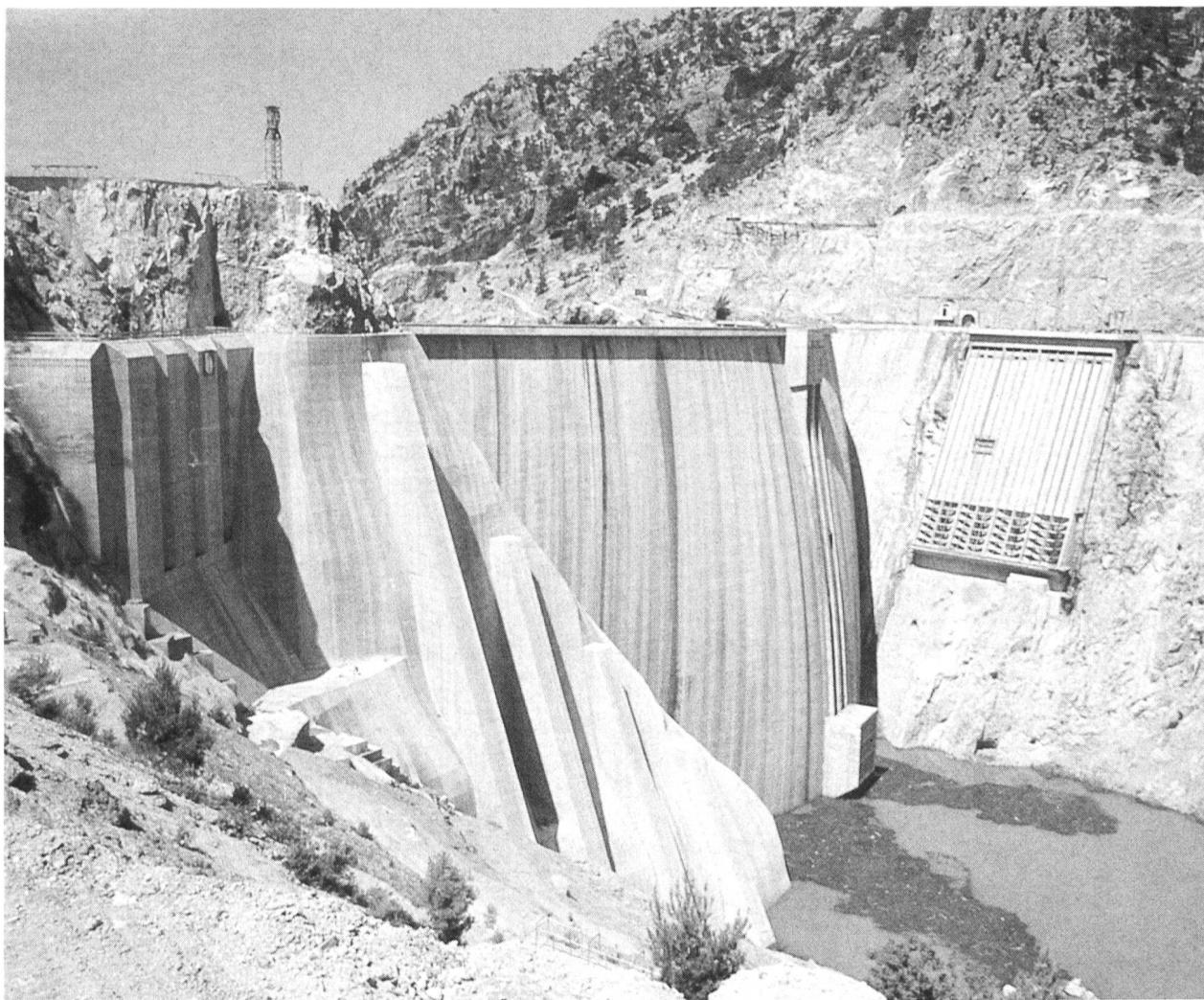


Figure 3. Barrage de Oymapinar, vue de l'amont avant le remplissage.

roches soit déterminée à partir du premier palier de pression qui donne une absorption significante». Pratiquement tout le monde est d'accord pour dire que la corrélation entre l'absorption d'eau pendant l'essai Lugeon et de coulis pendant, l'injection est très faible. M. G. Lombardi (R 13) s'est attaché à démontrer que cette corrélation ne peut pas exister, vu les caractéristiques rhéologiques différentes des fluides utilisés. Le prof. F.-K. Ewert, dans son intervention sur les pressions d'injection, pense que les essais d'eau peuvent être extrêmement utiles pour trouver la pression critique, c'est-à-dire celle correspondant au début de la fracturation hydraulique de la roche. Il ne faut cependant pas hésiter à aller, si nécessaire, à des pressions d'essai de plusieurs dizaines de bar et l'interprétation des résultats doit être faite de manière compétente et soigneuse.

En ce qui concerne l'*injectabilité* du rocher, qui constituait le 1<sup>er</sup> thème de discussion, relevons la présentation de nouveaux coulis comportant des grains extrêmement fins, ce qui en augmente sensiblement la pénétrabilité. Le Comité national japonais, dans son rapport de synthèse, signale l'application de la méthode CMH (= ciment à mouture par voie humide). Un broyeur spécial est inclus dans la chaîne de production du coulis et le ciment est rebroyé sur le site, ce qui garantit une finesse de mouture beaucoup plus élevée. Le coulis obtenu présente des propriétés de stabilité et de pénétrabilité accrues. M. M. Gandais de France évoque la mise au point et l'application d'un coulis constitué uniquement de minéraux siliceux et calciques dont le diamètre moyen est seulement de 0,3 micron. Il ne fait toutefois pas

Bild 3. Bogenmauer Oymapinar, OW-seitige Ansicht vor dem ersten Einstau.

Spannungsfeld bei der Durchsickerung, sondern verursacht ein Öffnen der Diskontinuitäten und erhöht dadurch die Wasseraufnahme.

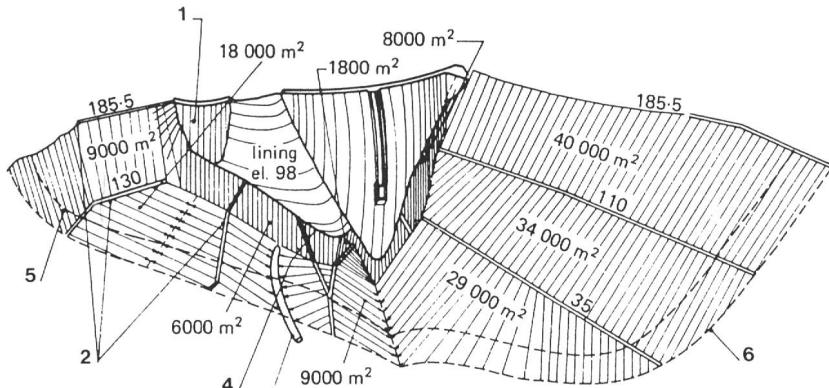
Solche Betrachtungen wurden ebenfalls während der Diskussion des zweiten Themas geäussert. Die Mehrheit der Gesprächsteilnehmer war jedoch der Ansicht, dass die Definition des *Lugeon*-Versuches nicht geändert werden sollte, und der General Reporter schlug vor, «den repräsentativen Durchlässigkeitswert des Felses von den ersten niedrigen Druckstufen abzuleiten, welche eindeutige Wasseraufnahmen zeigen». Fast alle unterstützen die Erklärung, dass es praktisch keine Korrelation zwischen Wasseraufnahme während des *Lugeon*-Versuchs und der Injektionsaufnahme gäbe. Dr. G. Lombardi hat in seinem Bericht (R. 13) dargestellt, dass eine solche Korrelation angesichts der verschiedenen rheologischen Eigenschaften der Flüssigkeiten kaum existieren kann. Professor F.-K. Ewert in seinem Beitrag zu den Injektionsdrücken meint, dass Wasserabpressversuche sehr nützlich sein können, um den kritischen Druck des Felses zu bestimmen, das heisst den Druck, bei dem das hydraulische Aufbrechen des Gesteins beginnt. Versuchsdrücke von mehreren zehn bars könnten je nach Fall erforderlich sein, wobei es jedoch für die Interpretation der Versuchsdigramme einer kompetenten und sorgfältigen Hand bedürfe.

Die *Injizierbarkeit* des Felses wurde ebenfalls im Rahmen des ersten Diskussionsthemas erörtert. Hier soll vor allem die Präsentation neuer Injektionsmischungen erwähnt werden, welche extrem feine Körner aufweisen, was die Tiefe

Figure 4. Barrage de Oymapinar, schéma du voile d'injection.

1 barrage auxiliaire, 2 galeries d'injection, 3 galerie de dérivation, 4 forages d'injection, 5 intersection du voile d'injection avec les schistes, 6 limite du voile d'injection.

Bild 4. Bogenmauer Oymapinar, schematische Darstellung des Dichtungsschleiers.  
1 Nebenmauer, 2 Injektionsgalerien, 3 Umleitstollen, 4 Injektionsbohrungen, 5 Schnittlinie des Schleiers und der Schiefer, 6 Grenze des Schleiers.



mention du mode de production et du coût d'un tel produit. Contrairement à ce que l'on pouvait attendre, il ne s'est pas instauré pendant la séance technique de véritable débat entre partisans des coulis stables et ceux des coulis instables, pas moins qu'à propos des pressions d'injection. En se basant sur les rapports présentés on peut toutefois remarquer, comme le fait le rapporteur général, une tendance générale à limiter la dilution des coulis de ciment, tant il est vrai que l'eau en excès n'en augmente par la pénétrabilité et que certains inconvénients majeurs peuvent être associés à des coulis très dilués, tels essorage important, prise incomplète et risque ultérieur d'érosion.

Quant à la valeur de la pression d'injection, deux attitudes sont discernables: la première est de s'approcher de la pression critique, la deuxième est d'utiliser les plus basses pressions compatibles avec la réussite des travaux d'injection. Il faut se garder toutefois d'une prise de position catégorique quant à l'une ou l'autre de ces attitudes, parce qu'une perméation à basse pression de même qu'une fracturation hydraulique peuvent se justifier de cas en cas, selon les conditions rencontrées et les objectifs visés. Dans le cas de certaines roches très fracturées et à faible résistance mécanique, une approche complètement différente peut s'imposer, comme, par exemple, l'application du «jet grouting» à un voile d'injection dans les grès du Keuper, présentée par M. Th. Strobl (Allemagne fédérale).

#### *Dimensionnement des écrans d'étanchéité et du dispositif de drainage*

Ce sujet a été traité par un nombre record de rapports (59!) et repris en partie dans les thèmes de discussion nos 2 et 3. Le rapport général distingue trois formes de base des écrans d'étanchéité:

- tapis étanche
- murs et diaphragmes verticaux
- voiles d'injection, y compris le traitement de peau des fondations

Aucune contribution marquante n'est à relever dans le domaine des *tapis étanches*. On mentionnera toutefois l'utilisation toujours plus fréquente de membranes synthétiques (PVC = chlorure de polyvinyl, HDPE = polyéthylène à haute densité, etc.) pour l'étanchement de petites retenues ou, occasionnellement, de flancs de réservoirs.

En ce qui concerne les *diaphragmes verticaux*, il faut noter les progrès remarquables réalisés ces dernières années dans les parois de *pieux sécants*, généralement réalisées là où le terrain de fondation est trop dur pour l'excavation d'une paroi moulée. L'introduction d'équipement lourd et de marteaux fond-de-trou a permis de réduire la déviation à 2 ou 3% de la profondeur. A titre d'exemple, celui du barrage de Khao Laem (Thaïlande) avec une paroi destinée à couper des cavités karstiques remplies de limon argileux

ihrer Eindringens besonders erhöht. Das japanische Nationalkomitee stellt die Anwendung der WMC (= Wet Milled Cement)-Methode in seinem General Paper vor. Ein spezieller Feinbrecher wird in den Herstellungsvorgang des Injektionsgutes eingebaut, so dass der Zement auf der Baustelle neu gemahlen wird, was ihm einen viel feineren Mahlgrad verleiht. Das erzeugte Injektionsgut zeichnet sich durch eine gute Stabilität und eine erhöhte Eindringfähigkeit aus. M. Gandais aus Frankreich erwähnte die Entwicklung und die Anwendung eines Injektionsgutes, welches ausschliesslich aus Silizium- und Kalkmineralien besteht und deren mittlere Korndurchmesser nur 0,3 Mikron betragen. Leider wurden keine Angaben über Herstellungsvorgang und -kosten gemacht.

Während der ersten technischen Sitzung fand etwas unerwartet keine ernsthafte Diskussion zwischen Anhängern der stabilen und der unstabilen Injektionsmischungen statt. Ebensowenig wurde über Injektionsdrücke argumentiert. Aufgrund der eingereichten Berichte lässt sich jedoch eine allgemeine Tendenz zur Einschränkung der Verdünnung von Zementmischungen feststellen. Es wird anerkannt, dass das Zusatzwasser das Eindringen des Injektionsgutes nicht erhöht, sondern dass gewisse massgebende Nachteile bei verdünnten Mischungen (wie z.B. starkes Auswaschen, unvollständiges Abbinden und spätere Erosion) auftreten können.

Was den Injektionsdruck betrifft, so können hier zwei Tendenzen unterschieden werden: Die erste besteht darin, sich dem kritischen Druck zu nähern, die zweite ist für eine Anwendung der niedrigsten Drücke, welche noch zu einem messbaren Erfolg der Injektionsarbeiten führen. Eine einseitige Festlegung auf die eine oder andere Tendenz sollte jedoch vermieden werden, denn eine Durchdringung unter niedrigem Druck oder ein hydraulisches Aufbrechen des Gesteins können sich von Fall zu Fall rechtfertigen, je nach den Umständen oder angestrebten Zielen. Bei gewissen zerklüfteten Gesteinen, die eine niedrige mechanische Festigkeit aufweisen, kann sich eine ganz andere Behandlungsmethode aufdrängen, so z.B. die Anwendung des Jet-Grouting-Verfahrens zur Herstellung eines Injektionschleiers im Keuper-Sandstein, wie von Th. Strobel (BRD) vorgestellt.

#### *Dimensionierung der Dichtungsschleier und der Drainagesysteme*

Dieses Thema wurde in einer Rekordzahl von 59 Berichten behandelt und teilweise in die Diskussionsthemen Nummer 2 und 3 übernommen.

Im General Report wird zwischen drei Grundformen von Dichtungsschleieren unterschieden:

- Dichtungssteppiche
- vertikale Dichtungswände

Lückenlose Erfassung der Dehnungsverteilung entlang gerader Linien mit einer portablen Präzisionssonde

# Gleit-Mikrometer

Messeinsätze bei Talsperren

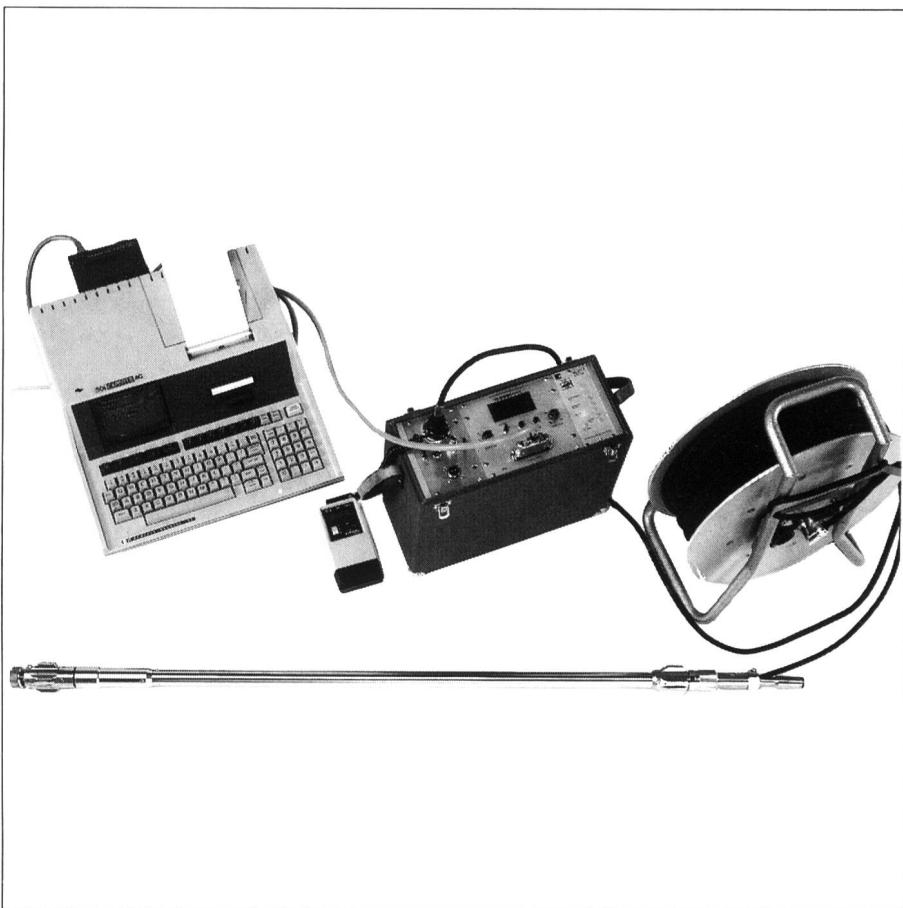
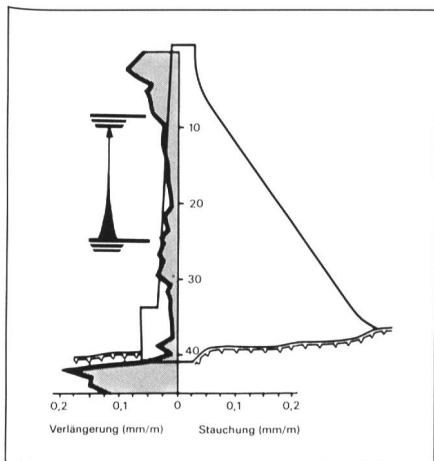
Schweiz  
Garichte, Albigna

Österreich  
Bockhartsee, Kölnbrein, Zillergründl

Deutschland  
Ruhtalsperrenverein

Italien  
Corbara

Südafrika  
Vaal River



Eine Entwicklung der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich,  
Sektion Fels- und Untertagebau

# SOLEXPERTS LTD.

Studien- und Beratungsbüro für  
Anwendungen der Boden- und Felsmechanik

Ifangstrasse 12, Postfach 230, 8603 Schwerzenbach ZH  
Telefon 01/825 29 29, Telex 58273 sols ch

# Rohrleitungssysteme sind Leistungssysteme.



Bruppacher & Partner

Steckmuffen-Druckrohrleitung  
mit Schubsicherung.



Erdgas als Teil der Energieversorgung  
erfordert ein absolut zuverlässiges Rohrleitungssystem.  
Dafür bürgen die Leistungen von ducpur.

Das Rohr-im-Rohr-Konzept garantiert:  
Bruchsicherheit (Rohrpanzer aus Duktiguss), Korrosions-  
resistenz (IGGG plus PUR-Innenauskleidung), Dichtheit  
des Systems (Rohrverbindungen mit Schraub-  
oder Steckmuffen, mit oder ohne Schubsicherung).

ducpur: Für ein sicheres Erdgas-Verteilnetz.



VonRoll AG, Département Druckrohre, 2763 Choindez, Telefon 066 35 56 61, Telex 934 354, Telefax 35 59 54

**ducpur**®

# wasser energie eau énergie air luft

Die Fachzeitschrift «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes ist das offizielle Organ des Schweizerischen Nationalkomitees für grosse Talsperren.

La revue «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux est l'organe officiel du Comité national suisse des grands barrages.

Redaktion/Rédaction:

G. Weber, dipl. Ing. ETHZ

Herausgeber/Editeur:

Schweizerischer  
Wasserwirtschaftsverband  
Association suisse pour  
l'aménagement des eaux  
Rütistrasse 3a, CH-5401 Baden

Telefon/Téléphone:

056 225069

Inserate/Publicité:

IVA AG  
für internationale Werbung  
Postfach  
CH-8032 Zürich  
Telefon/Téléphone 01 2512450

IVA SA  
de publicité internationale  
rue du Prés-du-Marché  
1004 Lausanne 23  
Telefon/Téléphone 021 377272

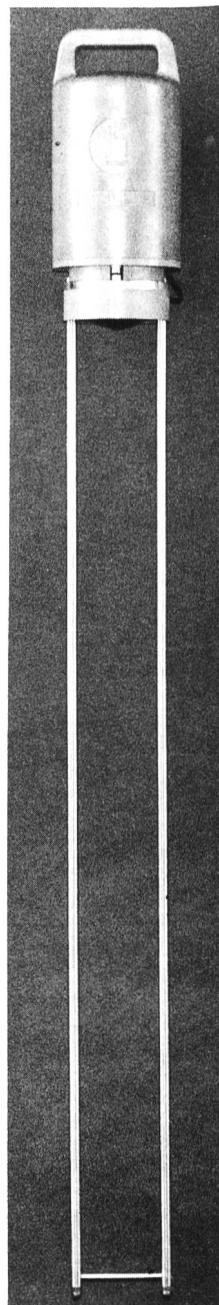
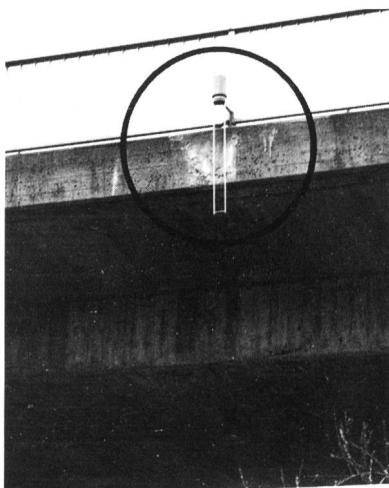
## Eine neue Ära in der Hydrometrie?

Abflusshöhen von Oberflächenwässern berührungslos überwachen mit präzisem

### ZÜLLIG-Referenz-ECHOLOT

(Messbereich bis 10 m)

ersetzt: Schwimmer, Pneumatik, Druckdosen



**ZÜLLIG AG, APPARATEBAU  
9424 RHEINECK, 071/44 25 51**

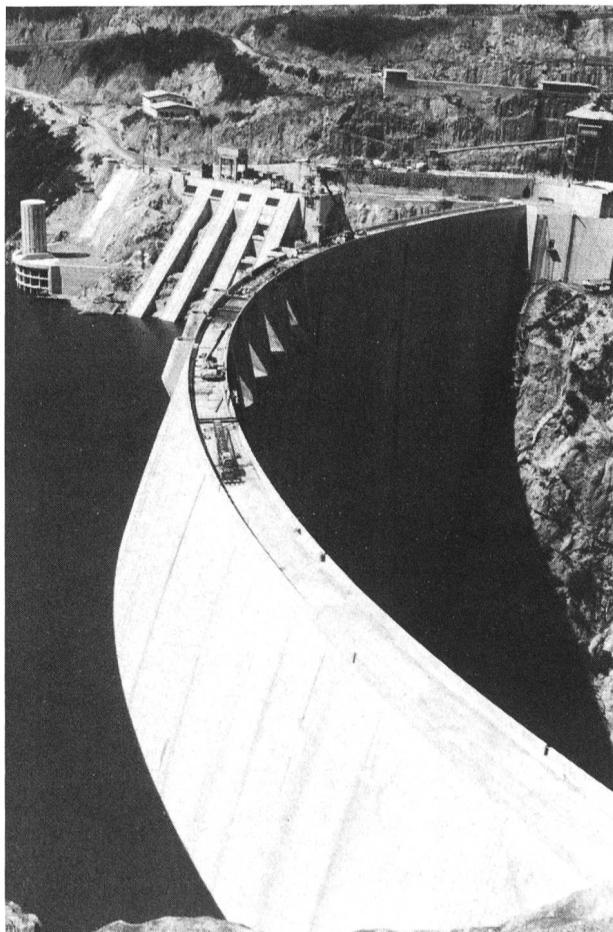
susceptible d'être délavé sous la charge hydraulique. La paroi d'une profondeur de 55m est constituée de pieux de 76cm de diamètre. Elle est prolongée par un voile d'injection de 180m de hauteur (!). Autre exemple, celui du barrage d'Etang (France) où l'assainissement de fuites a nécessité une paroi semblable quoique moins profonde et d'épaisseur plus faible (pieux de 35 cm de diamètre).

Dans le domaine des *parois moulées* relevons le diaphragme mis en place à Colbun (Chili) pour intersecter des alluvions perméables. La paroi d'une profondeur maximale de 68m a été remplie de béton plastique (mélange d'argile, bentonite et ciment), afin de mieux s'adapter aux éventuelles déformations de la fondation, pouvant être causées par un séisme. Enfin le cas de la digue de Hatillo (République Dominicaine) présenté par M. L. Canizo (Espagne) où l'on a réalisé une double paroi moulée à travers des alluvions graveleuses extrêmement denses, une des parois s'arrêtant à env. 25m sous la fondation du noyau, l'autre étant descendue jusque dans le rocher sous-jacent. La surface de la paroi ( $57\ 000\text{m}^2$ ) fait penser à l'auteur qu'il s'agit là d'un record mondial. Ce qui est plus intéressant, c'est de noter que des parois transversales ont été réalisées tous les 50 m créant ainsi des compartiments indépendants dont on a pu apprécier l'étanchéité au moyen d'essais de pompage. Des essais de laboratoire ont également indiqué l'excellente tenue du mélange bentonite – ciment constituant la paroi, puisque celui-ci a été soumis à des gradients de l'ordre de 700 sans érosion interne appréciable.

Mais ce sont les problèmes relatifs aux *voiles d'injection* qui ont recueilli le plus grand nombre de rapports et d'interventions lors des séances techniques. Relevons tout d'abord

Figure 5. Barrage d'El Cajón, vue d'ensemble des ouvrages.

Bild 5. Bogenmauer El Cajón, Gesamtansicht der Anlage.



c) Injektionsschleier inkl. Oberflächenbehandlung der Fundation

Kein nennenswerter Beitrag war bei den *Dichtungsteppichen* zu verzeichnen. Interessant ist jedoch die vermehrte Anwendung von synthetischen Membranen (PVC = Polyvinylchlorid, HDPE = Polyäthylen von hoher Dichte usw.) zur Abdichtung von kleinen Becken oder gelegentlich von Flanken gröserer Staubecken.

Bei den *vertikalen Dichtungswänden* waren vor allem die bemerkenswerten Fortschritte zu erwähnen, die in den letzten Jahren bei der Ausführung von *überschnittenen Pfahlwänden* stattgefunden haben. Solche Wände kommen immer wieder dort in Frage, wo der Untergrund zu hart ist, um den Aushub für eine Schlitzwand zu ermöglichen. Die Einführung von schweren Geräten und von «down-the-hole»-Hämmern haben die Abweichung von der Pfahlrichtung auf max. 2 bis 3% der Tiefe reduziert. Ein gutes Beispiel bietet die für den Staudamm Khao Laem (Thailand) ausgeführte Dichtungswand, welche Karstkarvitäten durchschneidet und das Auswaschen der erosionsempfindlichen Lehmfüllung verhindert. Die 55 m tiefe Wand wird durch Bohrpfähle mit einem Durchmesser von 76 cm gebildet. Sie wird durch einen zum Teil 180 m tiefen (!) Injektionsschleier nach unten verlängert. Ein anderes interessantes Beispiel bietet die Talsperre L'Etang (Frankreich), wo zunehmende Wasserverluste die nachträgliche Abdichtung durch eine ähnliche Pfahlwand, jedoch kürzer und weniger stark (35-cm-Bohrpfähle), erforderte.

Bei den *Schlitzwänden* ist der Fall des Staudamms Colbun (Chile) zu erwähnen, wo der Dichtungskern durch ein in grobkörnige und durchlässige Alluvionen eindringendes Diaphragma verlängert wurde. Die Wand, welche bis zu der darunterliegenden Andesitbrekzie reicht, hat eine grösste Tiefe von 68 m und wurde mit plastischem Beton (einer Mischung aus Ton, Bentonit und Zement) gefüllt, um sich besser allfälligen Verformungen des Untergrundes bei einem starken Erdbeben anzupassen. Beim Staudamm Hatillo (Dominikanische Republik) wurde eine doppelte Schlitzwand durch sehr dichte Kiesablagerungen ausgeführt. Die eine Wand reicht bis zirka 25 m unter die Fundationskote des Dichtungskernes, die andere wird in den darunterliegenden Fels eingebunden. Die Gesamtfläche der Schlitzwand beträgt  $57\ 000\text{m}^2$ , was laut des Verfassers, L. Canizo, Spanien, einen Weltrekord bedeutet! Was vielleicht interessanter ist, ist die Anwendung von Querwänden, die im Abstand von 50 m einzelne, geschlossene Abteile bilden, deren Durchlässigkeit durch Pumpversuche geprüft werden konnte. Laborversuche haben ebenfalls das ausgezeichnete Verhalten der gewählten Zement-Bentonit-Mischung gezeigt, da diese hydraulischen Gradienten bis 700 ausgesetzt wurden, ohne dass nennenswerte Erosionserscheinungen festgestellt wurden.

Es sind aber die mit *Injektionsschleieren* verbundenen Probleme, welche die meisten Beiträge bei den technischen Sitzungen erhielten. Einige Tendenzen gehen aus diesen zahlreichen Beiträgen hervor:

- Bei der Auslegung des Schleiers selber werden immer häufiger *Injektionsgalerien* eingeplant, sei es entlang der Fundation oder in den Widerlagern der Talsperre und dies auch bei mittleren oder kleinen Anlagen. Die Vorteile einer solchen Politik, das heisst Unabhängigkeit bei der Ausführung der verschiedenen Arbeiten, Möglichkeit von nachträglichen Injektions- oder Drainagearbeiten, liegen auf der Hand. Bei Fundationen im Karst, die eine gewisse seitliche Ausdehnung der Abdichtungsarbeiten und eine detaillierte Erkundung des Untergrundes erfordern, können die Gale-

quelques tendances qui se dégagent, de ces nombreuses contributions.

Au niveau de la conception du voile, on a de plus en plus recours à des *galeries d'injection* soit périphériques, soit latérales, même pour des ouvrages de taille moyenne ou faible. Les avantages d'une telle politique, c'est-à-dire l'indépendance dans la conduite des travaux, la reprise ultérieure de travaux d'injection ou de drainage, sont évidents, comme se plaît à le relever le rapporteur général. Dans le cas de fondations karstiques nécessitant une extension latérale des travaux d'injection et une reconnaissance plus détaillée du sous-sol, ces galeries peuvent être très rapprochées (digue de Khao Laem: 14 m, barrage d'El Cajón: 30 m).

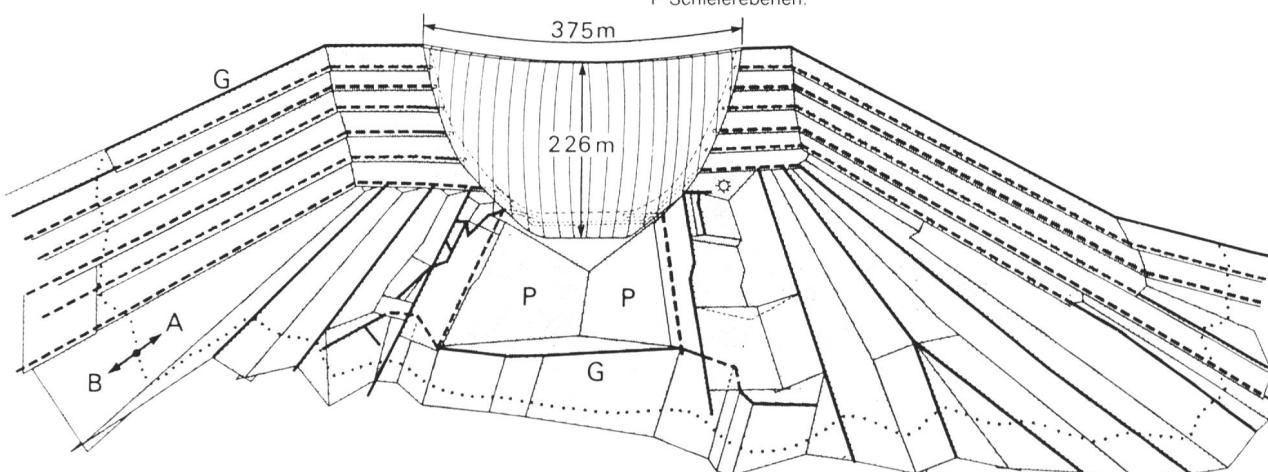
Les *critères de perméabilité*, c'est-à-dire la perméabilité résiduelle admise après injection, ont été pendant longtemps fixés à 1 à 3 UL (= unités Lugeon). Certains auteurs préconisent qu'ils soient relaxés à 5 à 10 UL voire même 15 UL. Il s'agit en fait d'une vieille dispute et, comme le relève le rapporteur général, il n'est pas recommandable d'établir des critères rigides et chaque cas doit être traité de façon particulière. Il apparaît toutefois que, dans bon nombre de cas, le critère assez sévère de 1 à 3 UL puisse être relaxé et ceci plus spécialement dans la partie inférieure d'un voile où les gradients hydrauliques sont faibles.

Concernant les *techniques de forage*, la rotation et la rotopercussion sont généralement considérées comme les mieux adaptées et conduisant à des résultats pratiquement équivalents pour la réalisation des voiles d'injection. A signaler les récents développements dans l'enregistrement numérique des paramètres de forage (procédés Geolog, Enpasol, etc.) permettant une évaluation systématique des propriétés du massif rocheux en vue de son injection. Un certain nombre de réalisations ont retenu l'attention des participants, en particulier le traitement apporté aux *fondations karstiques* de trois grands barrages:

- la digue de Khao Laem en Thaïlande (MM. A. J. Coles et B. Cooke)
- le barrage d'Oymapinar en Turquie (M. A. Pautre)
- le barrage d'El Cajón en Honduras (M. H. Kreuzer)

La première réalisation (R 2) consiste en un voile suspendu exécuté sur une des rives sur environ 4 km de profondeur. Il s'agit d'un voile suspendu car il n'est pas raccordé à une couche étanche. Trois types de coupures ont été construites: 1° des parois moulées jusqu'à une profondeur de 55 m, des murs parafoiliés et des tranchées excavées, 2° le traitement et le remplissage de cavités karstiques et 3° un voile

Figure 6. Barrage d'El Cajón, schéma du voile d'injection.  
A Partie en calcaires, B partie dans les volcanites, G galeries d'injection, P plans du voile.



rien sehr eng übereinander liegen (Staudamm Khao Laem: 14 m, Staumauer El Cajón: 30 m).

- Die *Durchlässigkeitsskriterien*, das heisst die nach Injektion zugelassene Restdurchlässigkeit, wurden sehr lange auf 1 bis 3 UL (= Unités Lugeon) festgelegt. Gewisse Autoren empfehlen nun ein Erhöhen derselben auf 5 bis 10 UL oder sogar auf 15 UL. Es handelt sich hier um einen alten Streit, und es wäre sicher nicht angebracht, auf allzu strenge Kriterien zu beharren, da meistens jeder Fall eine besondere Behandlung erfordert. Der General Reporter ist jedoch der Meinung, dass die restriktiven Restdurchlässigkeitswerte von 1 bis 3 UL in vielen Fällen etwas erhöht werden können, insbesondere im untern Teil von Dichtungsschleieren, wo die hydraulischen Gradienten klein sind.

- Was das Bohrverfahren anbelangt, sind Dreh- und Drehschlagbohrungen als die geeigneten Methoden zu betrachten: Sie führen zu praktisch gleichen Ergebnissen bei der Ausführung von Dichtungsschleieren. Hier sollten die jüngsten Entwicklungen in der automatischen Registrierung von Bohrparametern (Verfahren Geolog, Enpasol usw.) erwähnt werden, die eine systematische Beurteilung des Gesteins in bezug auf seine Injizierbarkeit ermöglichen.

Einige Beiträge über Ausführungen von Schleieren haben das Interesse der Teilnehmer besonders geweckt, u.a. die bei *Karstfundationen* angewendeten Abdichtungsmethoden für drei grosse Talsperren:

- Staudamm Khao Laem in Thailand (A. J. Coles und B. Cooke)
- Staumauer Oymapinar in der Türkei (A. Pautre)
- Staumauer El Cajón in Honduras (H. Kreuzer)

Die erste Ausführung (Bericht R. 2) besteht aus einem hängenden Schleier, der auf einer Flanke bis zirka 4 km bergwärts reicht. Der Schleier hängt, das heisst er wird unten an keine dichte Schicht angeschlossen. Drei verschiedene Arten von Diaphragmen wurden ausgeführt:

1. Schlitzwände bis in eine Tiefe von 55 m, Herdmauern und ausgegrabene Schlitze
2. Behandlung und Hinterfüllung der Karstkavitäten
3. Ein bis 160 m unter die tiefste Galerie gebohrter Injektionsschleier (70 m unter dem Meeresspiegel!!)

Die Abdichtungsarbeiten am Staudamm Khao Laem bilden 40% der Baukosten. Das Staubecken ist jetzt zu 90% gefüllt und die messbaren Sickerverluste erreichen 250 l/s. B. Cooke fügte noch hinzu, dass die Lösung eines Rockfill-damms mit Betonaussendichtung sich als die wirtschaft-

Bild 6. Bogenmauer El Cajón, schematische Darstellung des Dichtungsschleiers.

A Teil im verkarsteten Kalk, B Teil in den Vulkaniten, G Injektionsgalerien, P Schleierebenen.

d'injection foré jusqu'à 160m sous le niveau de la dernière galerie (70m sous le niveau de la mer!). Ces travaux de fondation représentent 40% des coûts du génie civil. Le réservoir est actuellement rempli à 90% et les pertes totales s'élèvent à 250l/s. M. B. Cooke ajoute que la solution digue avec masque amont en béton a été retenue comme étant la plus économique. Grâce à la galerie de pied et aux galeries latérales, les travaux de traitement de fondation n'ont pas retardé la construction de la digue. Pendant la construction on a constaté un tassement de 1,5m. Actuellement, avec un remplissage de 90%, le tassement ne s'est accru que de 4%. M. A. Pautre rapporte sur les fondations du barrage d'Oymapinar, complétant un article intéressant d'un groupe de spécialistes français (R 76) sur les problèmes d'étanchéité en fondations karstiques. Pour ce barrage on a utilisé pour la première fois le principe du voile en gouttière ou en baignoire, raccordé à une fondation imperméable à l'amont. L'auteur insiste sur le fait que le succès du traitement est dû, en grande part, à ce que toutes les galeries de reconnaissances demandées, à tous les stades du projet, ont été accordées par le maître de l'ouvrage. Le dispositif comprend 180 000m<sup>2</sup> de voile d'injection et 4 clavettes d'étanchement en béton.

Un principe semblable a été appliqué aux fondations du barrage-voûte d'El Cajón. La surface totale du voile d'injection est de 530 000m<sup>2</sup>, exécuté à partir d'un réseau de 11,5km de galeries. Le voile est entièrement raccordé à l'amont dans des formations de vulcanite, réputées étanches. Faisant suite au rapport (R 58) présenté par le Comité suisse, M. H. Kreuzer a tenu à présenter les résultats enregistrés à la première mise en eau de la retenue. L'importante piézométrie mise en place de part et d'autre du voile (324 tubes piézométriques simples, 80 cellules électriques) a mis en évidence le lent processus de saturation des flancs du réservoir, sans qu'il soit encore possible de porter un jugement sur l'efficacité du voile d'injection même. Il faudra attendre encore plusieurs années avant qu'un état de filtration permanent s'installe dans la fondation. Les pertes récoltées dans les drainages ne dépassent pas 18l/s au total, alors que la retenue a atteint 85% de la charge maximale. La présentation du voile d'injection d'Oymapinar et d'El Cajón a conduit certains participants à se demander si le coût de tels travaux est vraiment justifié ou si en d'autres termes, il existe des critères d'ordre technique permettant d'opter pour une solution géométriquement close (voile en gouttière) plutôt que pour un voile suspendu de surface plus restreinte. Il s'agit là pour un maître d'œuvre d'une décision délicate relevant d'une appréciation différenciée des risques à court et à long terme (débits de fuite, sous-préssions).

Quant au *dispositif de drainage* tout le monde s'accorde pour dire qu'il reste le moyen de contrôle par excellence entre les mains de l'ingénieur, une sorte de «police d'assurance» comme le relève l'auteur d'un des rapports. Il serait donc vain de vouloir faire des économies sur un tel dispositif, d'autant plus que, comme le mentionne le rapporteur général, «le coût de galeries de drainage, de drains, de stations de pompage et d'autres composantes du système est d'habitude secondaire en comparaison avec le coût total et que la sécurité de l'ouvrage dépend dans une large mesure, du fonctionnement correct des dispositifs de drainage». M. F. M. De Mello (Brésil), dans son introduction d'expert au 3<sup>e</sup> thème de discussion, insiste sur la nécessité d'un système de drainage bien compris englobant l'ensemble de la fondation et non pas seulement le contact structure-rocher. Une statistique effectuée sur plusieurs barrages brésiliens construits sur des basalts indique que l'on est en droit d'at-

lichste erwies. Dank der Galerie am wasserseitigen Fuss und den zahlreichen Stollen an den Flanken haben die Injektionsarbeiten den Baufortschritt beim Damm nicht verzögert. Während des Baus wurde eine max. Setzung des Damms von 1,5 m festgestellt. Mit einer Beckenfüllung von 90% hat sich die max. Setzung um nur 4% erhöht.

A. Pautre bringt einen Beitrag über die Fundation der Staumauer Oymapinar, der einen interessanten Bericht (R. 76) von einer Gruppe französischer Spezialisten über Abdichtungsprobleme im Karst ergänzt. Bei der Bogenmauer Oymapinar wurde zum ersten Mal das Konzept eines traufenförmigen Schleiers angewendet, der sich flussabwärts einer undurchlässigen Fundationsschicht anschliesst. Der Verfasser betont, dass die Behandlung vor allem erfolgreich wurde, weil alle vom Ingenieur verlangten Untersuchungsstollen durch den Bauherrn bewilligt wurden. Das ganze System besteht aus einem 180 000 m<sup>2</sup> grossen Schleier und 4 Dichtungskeilen (clavettes) aus Beton.

Ein ähnliches Prinzip wurde bei der Bogenmauer El Cajón angewendet. Die Gesamtfläche des Injektionsschleiers beträgt hier 530 000 m<sup>2</sup> und wurde von einem Netz von 11,5 km Stollen aus ausgeführt. Der Schleier ist vollständig an flussaufwärts liegenden Vulkanitschichten, welche als undurchlässig gelten, angeschlossen. Als Anhang zum Bericht R. 58, der vom Schweizerischen Nationalkomitee vorgestellt wurde, wünschte Dr. H. Kreuzer die Ergebnisse des ersten Einstaus vorzustellen. Die beidseits des Schleiers installierten Piezometer (es sind nicht weniger als 324 einfache Standrohre und 80 elektrische Piezometerzellen) haben den langsam Vorgang der Sättigung der Beckenflanken angezeigt, ohne dass eine Beurteilung der Wirksamkeit des Schleiers selber formuliert werden konnte. Eine grössere Zeitspanne (mehrere Jahre?) soll noch abgewartet werden, bevor ein permanenter Strömungszustand in der Fundation herrscht. Sickerverluste, die im Drainagesystem abgefangen werden, erreichen bei einer 85%igen Beckenfüllung nur 18 l/s.

Die Vorstellung der in Oymapinar und El Cajón ausgeführten Schleier haben gewisse Teilnehmer veranlasst, sich zu fragen, ob die Kosten solcher Arbeiten wirklich gerechtfertigt seien oder ob nicht technische Kriterien vorhanden seien, um zwischen einer geometrisch geschlossenen Lösung (traufenförmiger Schleier) und einem hängenden Schleier kleineren Umfangs zu wählen. Hier gilt es zweifellos für den Bauherrn, eine heikle Entscheidung zu treffen, welche sich auf eine differenzierte Abschätzung kurz- und langfristiger Risiken (Sickerverluste, Auftrieb usw.) abzustützen hat.

Bei den *Drainagesystemen* ist man sich einig, dass sie das beste Mittel der Kontrolle in den Händen des Ingénieurs sind, eine Art «Versicherungspolice», wie der Verfasser eines Berichtes dies umschreibt. Es wäre also nutzlos, mit Drainageeinrichtungen zu sparen, so die Bemerkungen des General Reporters, um so mehr als «die Kosten von Drainagegalerien, Drainagebohrungen, Pumpstationen und anderer Bestandteile solcher Systeme im Gefüge der Gesamtkosten meistens stark untergeordnet sind, die Sicherheit des Bauwerkes dagegen vom einwandfreien Funktionieren der Drainagesysteme direkt abhängig ist».

F. M. de Mello, Experte aus Brasilien, betonte in seiner Einleitung zum 3. Diskussionsthema die Notwendigkeit eines gut konzipierten Drainagesystems, das die gesamte Fundation umfasse und nicht nur die Kontaktfläche zwischen Bauwerk und Fels. Eine Statistik von mehreren auf Basalt gegründeten Talsperren in Brasilien habe gezeigt, dass ein Wirkungsgrad des Drainagesystems von 67% erwartet werden könne, oder mit andern Worten, dass ein Mehrauftrieb

tendre une efficacité de 67 % du système de drainage ou, en d'autres termes, un excès de sous-pression au droit des drains ne dépassant pas un tiers de la différence de charge hydrostatique entre l'amont et l'aval. Si les galeries sont dénoyées par un système de pompage, ce qui a pour effet de réduire les sous-pressions, il ne faut pas oublier de s'assurer qu'en cas de non-fonctionnement des pompes la stabilité du barrage est toujours garantie. On pourra cependant considérer ce cas de charge comme exceptionnel et lui affecter des coefficients de sécurité plus faibles que pour le régime normal d'opération. M. N. Matsumoto (Japon), dans son intervention, rappelle l'importance des galeries de pied dans les digues: elles offrent de larges possibilités de drainage et facilitent les mesures de sous-pressions. Elles permettent aussi d'effectuer des mesures pendant la construction. C'est ainsi que l'on a pu constater une diminution progressive de la perméabilité de la fondation d'un barrage en remblai (digue de Ohuchi) au fur et à mesure de la construction de celui-ci.

### *Conclusions*

Quelles conclusions tirer d'un volume aussi considérable d'information technique? Comme le relève le rapporteur général «on a sans doute beaucoup avancé dans l'art du traitement des fondations des grands barrages». Cela est certainement réconfortant, mais n'a rien de surprenant si l'on considère que le constructeur de barrages est confronté à des sites géotechniquement toujours plus difficiles et qui, souvent, étaient réputés inacceptables il y a encore une ou deux décennies. L'exemple de sites en terrain karstique est, à cet égard, significatif.

«Il ne faut pas oublier», comme conclut le rapporteur général, «que chaque cas de traitement des fondations est un cas spécial qu'il faut résoudre sous une combinaison de circonstances spécifiques pour laquelle on ne peut pas appliquer de solution rigide et préconçue. Une fois le traitement réalisé, la réponse de l'ouvrage doit être observée en vue de la confirmation finale. Tous les efforts faits pendant les études ne peuvent, en effet, que donner une prévision du comportement de l'ouvrage qui doit être vérifiée par l'épreuve finale de la mise en eau et de l'opération prolongée.»

Relevons, à cet égard, que souvent des travaux d'assainissement doivent être entrepris soit après la première mise en eau, soit après un certain temps d'exploitation. Un des exemples les plus frappants est certainement celui présenté par M. J. J. Paré (Canada) et qui concerne les Diges du Sud LG 3, appartenant au complexe de la rivière La Grande. Ces digues sont des ouvrages longs et fondés sur des dépôts fluvio-glaciaires, profonds et perméables. Le parti adopté d'un étanchement par tapis amont imperméable et d'un drainage par tapis aval s'est avéré insuffisant dès la première mise en eau, qui a dû être interrompue, des éboulements considérables s'étant produits à plusieurs endroits. Entre autres mesures, il a fallu construire après coup pas moins de 48 000 m<sup>2</sup> de diaphragmes en béton sur une distance de plus de 4 km, afin de réduire les fuites et les sous-pressions inacceptables. On ne peut être qu'impressionné, comme tient à le remarquer le rapporteur général, par l'ampleur des travaux d'assainissement et les responsabilités pas moins importantes prises pour réaliser ceux-ci. Heureusement ce genre de cas constitue l'exception plutôt que la règle.

Adresse de l'auteur: *Marc Balissat*, ing. dipl. EPFL, Chef adjoint du département barrages, Motor Columbus Ingénieurs-Conseils SA, Parkstrasse 27, CH-5401 Baden.

von nicht mehr als 1/3 des hydrostatischen Druckunterschiedes zwischen Wasser- und Luftseite bei den Drains gemessen werden könne. Falls Galerien durch ein Pumpensystem entwässert werden, was den Auftrieb reduziere, sollte nachgewiesen werden, dass bei Nichtfunktionieren der Pumpen die Stabilität der Staumauer nach wie vor gewährleistet sei. Dieser Lastfall kann jedoch als ausserordentlich betrachtet werden, und kleinere Sicherheitskoeffizienten als im normalen Betriebsfall dürfen angewendet werden. Im Beitrag von *M. Matsumoto* (Japan) wird die Wichtigkeit von Fussgalerien bei Dämmen betont: Sie bieten gute Drainagemöglichkeiten an und vereinfachen Auftriebsmessungen. Sie erlauben auch die Durchführung von Messungen während des Baus. Damit ist es möglich gewesen, eine progressive Verminderung der Durchlässigkeit im Untergrund während der Schüttung eines Staudamms (Damm Ohuchi) festzustellen.

### *Schlussfolgerungen*

Welche Schlussfolgerungen darf man aus einer so umfangreichen technischen Information ziehen? Wie der General Reporter könnte man mit Optimismus feststellen, dass «markante Fortschritte in der Kunst der Fundationsbehandlung von grossen Talsperren gemacht worden sind». Dies ist sicherlich sehr ermutigend, ist jedoch nicht so erstaunlich, wenn man bedenkt, dass die Ingenieure mit geotechnisch immer schwierigeren Sperrstellen zu tun haben, welche vor 10 oder 20 Jahren oft noch als unbrauchbar galten. Beispiele von Sperrstellen in verkarsteten Gebieten sind bezeichnend für diese Entwicklung.

«Es soll nicht vergessen werden», so der General Reporter, «dass jeder Fall von Fundationsbehandlung einen Sonderfall darstellt, der unter einer Kombination von spezifischen Bedingungen gelöst werden muss, die weder eine starre noch vorgefasste Lösung dulden. Nach Abschluss der Behandlung soll das Bauwerk im Hinblick auf seine langfristige Beständigkeit beobachtet werden. Alle während der Studien unternommenen Anstrengungen können nur eine Voraussage über das Verhalten des Bauwerkes geben, die während des Einstaus und eines längeren Betriebs zu überprüfen ist.»

Nicht selten sind Sanierungsmassnahmen nach dem ersten Einstau oder nach einer gewissen Betriebszeit erforderlich. Ein bemerkenswertes Beispiel wurde von *J. J. Paré* (Kanada) vorgestellt. Es handelt sich dabei um die Süd-Dämme LG3, die dem Komplex des La-Grande-Flusses im Norden Québecs angehören. Diese Dämme sind lange, auf tiefen und durchlässigen fluvioglazialen Ablagerungen gegründete Bauwerke. Die angewandte Lösung mit einer wasserseitigen Abdichtung mittels eines undurchlässigen Tepichs und eines luftseitigen Drainagetepichs hat sich schon beim ersten Einstau als ungenügend erwiesen. Der Einstau musste sogar wegen zahlreicher Rutschungen unterbrochen werden. Neben anderen Massnahmen wurde die Errichtung von nicht weniger als 48 000 m<sup>2</sup> Beton-Schlitzwänden auf einer Länge von mehr als 4 km angeordnet, um unannehbare Wasserverluste und Auftriebe zu unterbinden. Die Grösse dieser Sanierungsarbeiten wie auch die dahinterstehenden, schwerwiegender Entscheidungen sind beeindruckend. Glücklicherweise bildet ein solcher Fall eher die Ausnahme als die Regel!

Adresse des Verfassers: *Marc Balissat*, dipl. Ing. ETHL, stellvertretender Chef Abteilung Dämme, Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG, Parkstrasse 27, CH-5401 Baden.