

Zeitschrift:	Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber:	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band:	74 (1982)
Heft:	10
Artikel:	XIVe Congrès de la Commission Internationale des Grands Barrages
Autor:	Balissat, Marc / Bossoney, Claude
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-941158

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: 27.12.2025

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

Bei längeren Reaktionszeiten, z. B. 15 bis 24 h, werden Steigerungsraten des Versäuerungsgrades um etwa 65% erreicht.

Dabei wurde festgestellt, dass insbesondere bei hohen Substratkonzentrationen auch ein Abbau organischer Stoffe, gemessen an dem Gehalt org. TS, erfolgt, und zwar in einer Größenordnung, die erheblich über den üblichen Abbauleistungen von Faulturmanlagen liegt. Die sich im Versäuerungsprozess entwickelnden Gase sind wegen des hohen Anteils an CO₂ an sich für eine wirtschaftliche Nutzung nicht geeignet. Ihre Verwendung in der Methanisierungsstufe dürfte aber im Hinblick auf die Methangasbildung unbedingt nützlich sein.

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen erkennen, dass ein Festbettreaktor mit geringem Bauvolumen wahlfweise als Versäuerungsreaktor betrieben werden kann, oder zusätzlich hierzu zum Abbau org. TS als Entlastungsstufe vorhandenen Faultürmen vorschaltbar ist.

Für die Modellrechnung der Schlammbehandlung einer Kläranlage mit täglich etwa 200 m³ Rohschlamm ergab sich unter Anwendung der ermittelten Versuchsdaten die Wahl eines Reaktors mit rund 90 m³ Inhalt und einer Festbettfläche von 3600 m².

Die org. TS-Belastung der vorhandenen Faultürme wird dabei um etwa 500 kg org. TS/Tag reduziert. Dabei wurde der Anteil organischer Säuren, die bei der TS-Bestimmung quantitativ nicht erfasst werden, die Methanisierungsstufe aber auch mit leicht abbaubaren Substanzen belasten, in einer geschätzten Grösse berücksichtigt.

Der Abbau von 500 kg org. TS/Tag entspricht einer Faulraumkapazität von rund 750 m³. Bei Faulraumkosten von 500 DM/m³ ergibt sich dann ein Investitionskostenvorteil des Reaktors von etwa 200 000 DM.

Adresse des Verfassers: Dipl. Ing. Lothar Görlich, Osnabrücker Strasse 37, D-4503 Dissen a. T.W.

Literatur

- [1] S. Gosh, D. L. Klass: Tow-phase Anaerobic Digestion. Process Biochemistry, April 1978
- [2] H. Sixt: Reinigung organisch hochverschmutzter Abwasser mit dem anaeroben Belebungsverfahren am Beispiel von Abwässern der Nahrungsmittelherstellung. Veröffentl. d. Instituts f. Siedl.-Wasserwirtschaft d. Uni Hannover, Heft 50, 1979
- [3] S. Wernecke, K. Mudrack: Untersuchungen zum anaeroben Abbau von Stärke und Pektin in Abhängigkeit von der Fermenter-Belastung. «GWF» 1981, Heft 1, Verlag Oldenbourg
- [4] C. F. Seyfried, M. Saake: Entwicklung in der Prozesstechnik zur anaeroben Abwasser- und Schlammbehandlung. Vortrag 15. Essener Tagung, 10. bis 12. 3. 1982, Aachen
- [5] K. Pöppinghaus, Siebmann: Zweistufige Schlammbehandlung nach dem System der Sauerstoffbegasung mit anschliessender Faulung. Oswald-Schulze-Stiftung, Dokumentation 1971-1981, Gladbeck/Westf.
- [6] L. Görlich: Die mittelthermische Behandlung von Rohklärschlamm als wirtschaftlich ausgewogenes Verfahren zur Verbesserung der anaeroben Faulung und seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Faulschlamm. «Gas-Wasser-Abwasser», 1978, Nr. 12, Verlag SVGW-Zürich

XIVe Congrès de la Commission Internationale des Grands Barrages

Rio de Janeiro, 3-7 mai 1982



Compte rendu
de Marc Balissat et Claude Bossoney

1. Introduction

La Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB) organise tous les 3 ans un congrès traitant des problèmes liés à la conception, l'exécution et l'entretien des grands barrages. Cette année le congrès s'est tenu à Rio de Janeiro dans le cadre magnifique de la Baie de Guanabara. 1800 spécialistes, venus du monde entier, se sont réunis pour entendre des exposés sur les quatre questions préalablement posées dans le cadre du congrès; mais aussi pour échanger expériences, opinions et informations.

A l'ordre du jour de ce 14e congrès les quatre questions suivantes:

Question 52: Sécurité des barrages en service

Question 53: Influence de la géologie et de la géotechnique sur la conception des barrages

Question 54: Alluvionnement des retenues et stabilité de leurs versants. Conséquences techniques et effet sur l'environnement

Question 55: Matériaux et méthodes de construction des barrages et batardeaux en remblais

Ces questions reflètent les préoccupations des ingénieurs chargés de la construction et de l'exploitation des barrages, le problème de la sécurité des ouvrages, celui d'une meilleure connaissance des caractéristiques du site à étudier et la mise en œuvre de nouveaux matériaux, de nouvelles techniques de construction.

2. Question 52: Sécurité des barrages en service

Ce sujet a soulevé un grand intérêt, soit par le nombre de rapports présentés, soit par les discussions, parfois vives, faisant suite aux communications. Bien que les barrages soient des constructions sûres (130 ruptures sur les 14 000 barrages actuellement en service dans le monde), les efforts constants des constructeurs ont permis de réduire le taux de rupture des ouvrages récents. Les plus nombreuses communications traitaient de la révision des bases d'établissement des projets et de la surveillance et évaluation de la sécurité des ouvrages. Les mesures à prendre pour assurer la sécurité des ouvrages n'ont fait l'objet que de 2 communications; les problèmes de sécurité et plans d'alertes n'ont malheureusement retenu l'attention d'aucun orateur.

L'évaluation de la sécurité des barrages a fait ressortir deux tendances parmi les spécialistes de ces questions.

Pour les premiers le concept de sécurité est une notion quasi absolue; elle seule importe; tout ce qui augmente la sécurité d'un ouvrage doit être entrepris. Ce concept doit naturellement être relativisé, car la sécurité absolue n'existe pas. C'est pourquoi une seconde école essaie d'obtenir un équilibre entre la sécurité et le coût économique. On introduit alors la notion de risque – produit de la probabilité de l'évènement indésirable par l'importance



1. La ville de Rio de Janeiro sur la baie de Guanabara (en premier plan à droite le quartier de Botafogo et l'étonnant Pão de Açucar, à gauche Flamengo et le centre de Rio, au fond, la ville de Niteroi).

des conséquences – et l'on cherche à quantifier ce risque. Il faut encore définir le niveau acceptable du risque, chose difficile, car ce facteur évolue avec le temps; les risques acceptés par la population sont fonction du niveau de vie de celle-ci.

Parmi les exposés présentés concernant la révision des bases d'établissement des projets, il faut remarquer l'expérience brésilienne, s'appuyant sur la construction de plus de 300 ouvrages. Les leçons tirées de la rupture de quatre barrages et d'autres incidents peuvent se résumer comme suit:

- Accorder plus d'attention aux problèmes de contrôle, auscultation et entretien des ouvrages au niveau du projet déjà.
- Les ingénieurs-conseils auteurs d'un projet devraient être ceux qui en contrôlent l'exécution.
- Nécessité d'un règlement officiel pour le contrôle des ouvrages.
- Accorder plus d'importance aux règlement d'exploitation, établir des plans d'alertes.
- Vérifications périodiques des paramètres et hypothèses des projets, qui peuvent se modifier dans le temps.
- Nécessité des échanges d'informations, de données d'expériences.

Le problème des techniques de calculs para-sismiques des barrages a fait l'objet d'un exposé de l'expert japonais, le Professeur *Okamoto*. Selon lui, les barrages dimensionnés au Japon selon la méthode «pseudo-statique» sont suffisants sur le plan de la sécurité (244 ouvrages auraient été soumis à des accélérations supérieures à 0,15 g, deux seulement ont subi des dommages). Cependant comme ces méthodes n'ont pas de fondements théoriques nécessaires on a introduit des calculs dynamiques pour l'étude des projets récents.

L'auscultation des ouvrages a donné lieu à un débat entre les partisans des mesures et lectures manuelles et ceux du traitement automatique des mesures.

En bref l'avantage de lectures manuelles est d'imposer une visite fréquente de l'ouvrage et d'éviter la démobilisation du personnel de surveillance, l'avantage de l'automatisation étant d'augmenter la qualité et le nombre des mesures et de diminuer le temps de réponse du dépouillement.

3. Question 53: Influence de la géologie et de la géotechnique sur la conception des barrages

Cette question extrêmement vaste était subdivisée en quatre thèmes principaux:

- a) planification des reconnaissances
- b) nouvelles techniques de reconnaissance
- c) cas de fondations exceptionnelles (karst, fondations décomposées, sur terrain mou, failles importantes)
- d) difficultés résultant d'une reconnaissance inadéquate.

L'ensemble des thèmes a fait l'objet de pas moins de 62 rapports.

Au chapitre des reconnaissances on a à nouveau relevé qu'il n'est pas judicieux de vouloir à tout prix faire des économies, celles-ci pouvant se payer fort cher lors de la construction du barrage. Un minimum de confiance doit régner entre l'ingénieur-conseil et le maître-d'œuvre. Le programme des reconnaissances doit être établi par l'ingénieur-conseil, surveillé et adapté par lui en cas de besoin. Enfin il ne devrait pas y avoir de contraintes budgétaires à un tel programme... un voeu-pie qui, espérons-le, aura été entendu par les représentants de maîtres-d'œuvre présents dans la salle!

L'effet d'échelle enregistré sur différents essais de déformabilité in-situ (dilatomètre, essais de plaque, flat-jack, chambre à pression) a été relevé et commenté par plusieurs auteurs. Dans certains cas (voir *Anagnostis*, YU) il est possible d'établir une corrélation de qualité entre ces techniques coûteuses et des mesures géophysiques (sismique réfraction, p. ex.) bien meilleur marché, permettant ainsi de renoncer après un certain temps au premier type d'essais.

De nouvelles techniques de prospection à grande échelle (résistivité au-sol, géoélectrique par hélicoptère, cross-hole entre forages à grande distance) ont été mises au point ces dernières années en France (voir *Lakshmanan*, F) et pourraient bien trouver un terrain d'application idéal dans des régions d'accès peu aisés, où une somme d'informations doit être collectée rapidement (voir en particulier la géoélectrique d'hélicoptère).

Des études théoriques (modèle d'éléments finis) ou de modèles de laboratoire (essais photo élastiques) permettent

de mettre en évidence les déplacements non négligeables causés dans la fondation par les forces de percolation (voir Wittke, D) ou le mode de rupture de la fondation en fonction de la structure de la roche (voir Rescher, A).

Plusieurs exemples de fondation karstique ont été aussi présentés. Il y a lieu de relever que dans de tels cas même les programmes de reconnaissance les mieux dotés ne permettent pas de se mettre à l'abri de surprises pendant la construction ou au début de l'exploitation.

Le traitement de plans de discontinuité dans certaines fondations de barrage peut nécessiter un volume de travail considérable, telles les clavettes de cisaillement (shear keys) mises en place sous le barrage d'Itaipu (Brésil/Paraguay). Comment aussi accomoder la déformation continue (allant jusqu'à environ 20 mm en 10 ans), que l'on a relevée en plusieurs points du massif alpin? Cette question de M. Gruner (CH) pose le problème de mouvements tectoniques à grands échelles ramenés aux dimensions «modestes» d'un site de barrage...

Parmi les plusieurs exemples de barrages fondés en terrain meuble, retenons celui du Chélif (Algérie) présenté par M. Londe (F), président de la CIGB. Le problème est celui d'importants dépôt fluviaux (épaisseur: 65 m) a priori liquéfiables. La séismicité du site (situé non loin de Al Asnam) a requis l'examen de différents types de traitement. La solution retenue a été celle d'une excavation de la zone supérieure de faible densité relative et l'installation de colonnes ballastées, destinées à augmenter la résistance au cisaillement en cas de liquéfaction des dépôts ambients. On a renoncé à considérer l'effet drainant de telles colonnes (dynamic drainage effect), tant il est vrai qu'il peut être considérablement réduit par l'entraînement de fins au cours de l'exploitation du barrage.

Finalement, la question des unités Lugeon comme critère d'injection a été débattue (voir De Mello, BR, Kuzner, D). Il ne fait pas de doute que le critère de l'UL comme limite à partir de laquelle on injecte est conservatif. Cette limite peut être considérablement élevée si

a) on est d'accord de prendre en considération certaines pertes d'eau

b) le rocher de fondation est tel que ces pertes ne peuvent pas avoir de conséquences fâcheuses à long terme (érosion interne, etc.)

4. Question 54: Alluvionnement des retenues et stabilité de leurs versants. Conséquences techniques et effet sur l'environnement

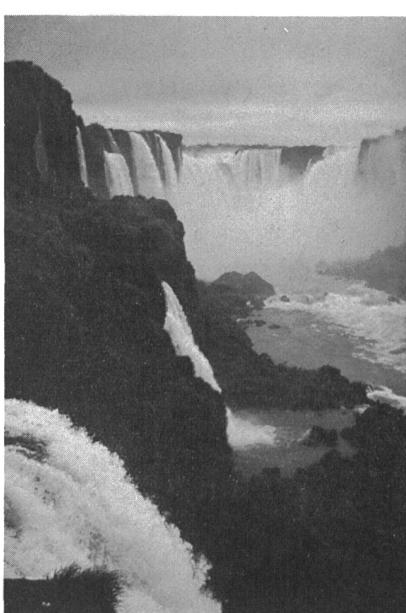
Le problème le plus traité à été celui de l'alluvionnement des retenues: estimation de la sédimentation (quantité et répartition), mesures préventives de protection, nettoyage de réservoir, tels sont les principaux thèmes traités.

L'estimation des apports solides peut se faire à l'aide de formules empiriques reposant sur l'érosion spécifique des bassin versants ou à partir de mesures directes des débits transportés (station de jaugeage, prélevement d'échantillons). L'utilisation de ces méthodes est cependant délicate et la prévision difficile.

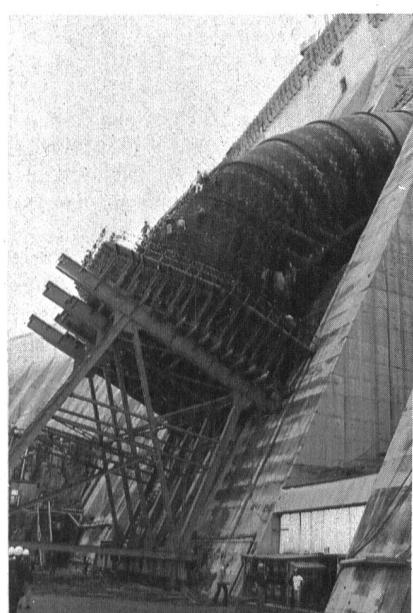
De l'avis général la seule méthode préventive efficace pour éviter les sédiments est le reboisement des terrains dans le bassin versant; la construction de réservoirs à l'amont de la retenue ne fait, bien souvent, que repousser le problème. La méthode la plus classique de nettoyage du réservoir est celle de la chasse par la vidange de fond. Cette méthode n'est cependant efficace que pour de petites retenues, lorsque la hauteur du réservoir n'est pas trop grande. Plusieurs auteurs ont fait état de vidanges de fond mal conçues qui ont nécessité leur transformation et le dragage de la retenue pour récupérer la capacité utile. Une méthode nouvelle et apparemment efficace a été présentée par Hidroliadro, une entreprise italienne (il semble que les Chinois l'utilisent également). Il s'agit d'un dragage par aspiration, opéré depuis une barge. Devant la tête du tuyau suceur se trouve un élément destiné à broyer les sédiments grossiers. Le tuyau passe à travers le barrage par un orifice pour rejeter les boues à l'aval de l'ouvrage. L'aspiration se fait par simple différence de pression entre le fond du lac et l'air libre.

Les problèmes d'instabilité des berges a surtout retenu l'attention des projeteurs depuis le glissement catastrophique dans la retenue de Vajont, en Italie. L'instabilité peut être due au remplissage du réservoir, aux variations de niveau dues à l'exploitation, à la pluie, à un séisme ou à des travaux sur les pentes de la retenue.

Pour définir l'effet d'un glissement au niveau du barrage il faut localiser celui-ci, connaître sa masse et la vitesse de déplacement de la masse en mouvement.



2, à gauche. Visite aux chutes de l'Iguassu (Tour No 9) ... par débit d'étage.



3, à droite. Barrage d'Itaipú (Tour No 9): montage de l'une des dix-huit conduites forcées (longueur développée: 105 m, diamètre: 10,50 m).

Malheureusement ces valeurs, au vu des exposés présentés, paraissent difficiles à fixer et l'on en est réduit à prendre des mesures qualitatives sans pouvoir les justifier quantitativement. On peut distinguer schématiquement entre deux types de mesures:

1. Les mesures actives: excavation du sommet du glissement supposé, remblai stabilisateur au pied du même glissement, drainage de la masse concernée, végétation au-dessus de la cote de retenue max.
2. Les mesures passives: renforcement de la structure, augmentation de la revanche, diminution du marnage et auscultation (clinomètres, repères topographiques, piézomètres, etc.) de la zone de glissement potentiel.

5. Question 55: Matériaux et méthodes de construction des barrages et batardeaux en remblai

Cette question, malgré le temps restreint à disposition, a permis de faire un tour d'horizon très intéressant sur les matériaux et méthodes de construction de remblais.

Comme l'a relevé le rapporteur général (*Penman*, GB), la mise en place de tout-venant commence à poser des problèmes à partir du moment où la perméabilité du massif est inférieure à 10^{-3} cm/s et des pressions intersticielles se développent pendant la construction. Si quelques communications ont été consacrées aux enrochements, il faut reconnaître que l'intérêt général s'est plutôt porté sur les terres à noyau (mise en œuvre, compactage) et sur les filtres (dimensionnement, essais de laboratoire).

Le problème de la fracturation hydraulique des noyaux est une question complexe. *Kjaernsli* (N) a relevé qu'un remplissage trop rapide de la retenue pouvait conduire à un tel phénomène à condition qu'il y ait une pression intersticielle initiale et une fissure préexistante (open wedge) sur le parement amont du noyau. Dans plusieurs cas (digues de Dartmouth/Australie, Chicoasen/Mexique et aussi Pueblo Viejo/Guatémala) on a cherché à réduire l'effet d'arc, qui peut conduire à la fracturation hydraulique, en augmentant la teneur en eau du noyau le long des flancs et, ce faisant, à obtenir une «plasticité» plus grande du matériau. Une telle augmentation est toutefois limitée à 2-3% afin de ne pas avoir de pression des pores trop élevée.

Le traitement et la mise en œuvre de terres à noyau ont été évoqués par plusieurs orateurs. Mentionnons à ce propos l'intéressante contribution de *Knight* (GB) qui fait état d'une digue construite aux îles Fiji avec un noyau central d'argile résiduelle. Bien que la densité sèche du matériau était nettement inférieure à 1 et qu'on a enregistré sur le site plus de 4000 mm de pluie par an (!), il a été possible de mettre en place le noyau par des moyens conventionnels. Le comportement du barrage après construction n'a pas présenté de problème malgré les très hautes pressions des pores enregistrées dans le noyau. Il y a cependant certains cas dans lesquels une mauvaise évaluation de la pression des pores pendant la construction et une surestimation de la résistance au cisaillement effectue peuvent avoir des conséquences catastrophiques, tel le glissement de quelques 500 000 m³ enregistré sur le chantier de la digue Armando Goncalo au NE du Brésil (voir *Carvalho*, BR). L'importance d'un bon dimensionnement des filtres a été, une fois de plus, soulignée. L'utilisation de géotextile à la place de filtre fin peut être intéressante pour des digues de faible à moyenne dimension, en particulier en cas de conflit avec le programme de construction (voir *Kuzner*, D).

Là où la terre à noyau fait défaut ou dans des conditions climatiques difficiles, on choisit de plus en plus une étanchéité mince extérieure ou intérieure. Pour les étanchéités

extérieures, la tendance actuelle semble se déplacer des masques de béton vers les tapis bitumineux, même pour des ouvrages de grande hauteur (100-150 m). Plusieurs auteurs indiquent que les déflexions des membranes sous la charge hydrostatique sont généralement beaucoup plus faibles que celles calculées sur la base de modules d'élasticité du remblai. Ceci tend à indiquer qu'un remblai compact présente une rigidité horizontale qui peut être 3 à 4 fois supérieure à sa déformabilité verticale.

Parmi les digues à étanchéité intérieure, relevons les intéressantes observations sur le barrage de Finstertal, présentées par M. *Pircher* (A), rapporteur général de la Question 53. Un système d'auscultation original a permis de mesurer un élargissement du noyau bitumineux sous la pression d'eau. Ce comportement pourrait s'expliquer par une dilatation du matériau sous l'effet du cisaillement.

On a expérimenté ces dernières années en URSS (et, à plus petite échelle, aussi en Yougoslavie) une technique de mise en place directe d'enrochements par «sautage orienté» (directional blasting). Cette technique peut être intéressante dans le cas de sites étroits (gorges, etc.), mais requiert des quantités non négligeables d'explosifs. Selon *Anagnosti* (YU) on a utilisé ainsi de 2 à 2,5 kg/m³ pour le sautage au barrage de Lazici (300 000 m³ d'enrochements mis en place).

Finalement relevons que de nouveaux matériaux sont de plus en plus utilisés pour des ouvrages de petite et moyenne grandeur:

- membranes vinyls
- géotextiles
- béton de brai-vinyl, etc.

Le problème reste de savoir quel sera leur comportement sur la durée de vie des barrages auxquels ils sont incorporés.

6. Conclusions

Excellent congrès qui nous a permis de faire le point sur certains des problèmes les plus importants des constructeurs de barrages et comparer les différentes approches proposées.

Un regret cependant: une bonne moitié des communications n'étaient pas issues d'un rapport et la qualité des exposés en souffrait parfois. Le temps de parole, en général une dizaine de minutes était trop court pour les comptes rendus de qualité! Ne pourrait-on pas opérer une sélection, sur la base des rapports écrits, ou introduire des «key lectures» qui lancerait la discussion?

Est-il téméraire d'innover au prochain congrès, 15e du nom, qui se tiendra en juin 1985 à Lausanne?

Adresse des auteurs: *Marc Balissat*, ing. dipl. EPFL, Chef de département adjoint, et Dr. sc. techn. *Claude Bossoney*, Ingénieur principal, Motor-Columbus, Ingénieurs Conseils SA, CH-5401 Baden.