

Barrages en terre, talus et tranchées ouvertes - Section 6

Autor(en): **Ott, J.C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **88 (1962)**

Heft 11

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-771842>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

filtrant au repos, c'est-à-dire dans lesquels on ne pompe pas, il y a presque toujours des courants ascendants ou descendants. Ces courants sont dus à la présence de couches plus ou moins perméables entre lesquelles les différences de régime d'écoulement de la nappe créent des gradients de pression.

En mesurant les vitesses d'écoulement à l'intérieur et au voisinage d'un forage filtrant soit au repos, soit avec une dépression créée par pompage, ou une surpression créée par injection d'eau, on peut déterminer un profil de perméabilité du terrain extrêmement utile tant pour des problèmes de captage, que de drainage ou d'étanchement par injection. Cette méthode a l'avantage de fournir une mesure continue, alors que les essais Lefranc ne donnent que des valeurs ponctuelles et que les essais de pompage ne donnent qu'une valeur moyenne sur une section de forage.

La figure 11 représente des mesures exécutées dans un forage de 40 m traversant les alluvions du Drac à l'emplacement de la digue de Notre-Dame de Comniers. La courbe n° 1 représente les vitesses naturelles donc sans pompage. On voit que les terrains peu perméables du bas du forage et ceux de perméabilité variable du haut du forage alimentent tous deux une couche perméable de faible épaisseur située vers 20 m de profondeur. La courbe n° 2 représente les vitesses avec un faible pompage dans le forage. On voit que l'eau pompée ne provient que des 10 premiers mètres du forage. En augmentant l'intensité de pompage, la courbe se déplacerait toujours plus vers la droite et on finirait par n'avoir plus que des vitesses ascendantes dans le forage.

De l'ensemble de ces communications quelles conclusions tirer ? Tout d'abord que les géotechniciens ont l'esprit inventif et sont pleins de fantaisie, ce qui se remarque tant par la diversité que par l'ingéniosité des appareils et des méthodes qu'ils conçoivent.

Ensuite que ces appareils et que ces méthodes ont tendance à se multiplier et à s'affiner et de ce fait à se compliquer. On est sorti définitivement de l'ère des

essais primitifs faits avec des appareils bricolés au chantier. Pour pouvoir utiliser à fond l'ensemble complexe des possibilités que nous offrent les techniques actuelles il faut disposer, en plus d'outillages compliqués et coûteux : échantillonneurs, sondes de tous types, sismographes, etc., de personnel très spécialisé : géotechniciens de laboratoire, ingénieurs de forage, sondeurs, mécaniciens, électriciens, physiciens, etc., ce qui amène par la force des choses à une séparation toujours plus marquée de leurs activités respectives. En contrepartie, il devient de plus en plus difficile de trouver des techniciens connaissant suffisamment tout ce domaine pour choisir judicieusement l'appareil ou la technique la mieux appropriée à chaque cas d'espèce et d'en connaître les limites. Dans la pratique il est souvent préférable de se contenter d'un essai primitif dont on connaît les défauts plutôt que de recourir à une méthode raffinée dont on connaît mal les sources d'erreur. Par contre il serait souhaitable que les maîtres de l'œuvre recourent plus souvent, parallèlement à une ou plusieurs méthodes éprouvées à des procédés nouveaux afin d'en vérifier l'efficacité et d'en faciliter le développement. Le risque de résultats négatifs est certainement compensé, au moins à longue échéance, par une amélioration des méthodes qui se traduit en fin de compte par une économie.

Des discussions du congrès il ressort que les méthodes les plus éprouvées, telles que les essais au pénétromètre, peuvent dans certains cas induire en erreur et qu'il y a toujours avantage à pouvoir comparer les résultats obtenus avec des méthodes basées sur des principes différents.

Enfin n'oublions pas que la géotechnique n'est pas une science exacte et qu'elle s'applique à un milieu d'une diversité infinie et d'une hétérogénéité souvent très marquée, spécialement dans notre pays. Il est facile d'obtenir des résultats de mesures ou d'essais, mais il est indispensable et beaucoup plus difficile de les interpréter de façon critique, de les comparer entre eux et au besoin de les éliminer. Que l'abondance des chiffres et des graphiques n'aveugle pas notre bon sens !

BARRAGES EN TERRE, TALUS ET TRANCHÉES OUVERTES - SECTION 6

par J. C. OTT, ingénieur

Les sujets traités intéressaient les questions suivantes :

- A) *Digues*, stabilité pendant et après la construction : 7 communications
- B) *Digues*, fondation, percolation, renard : 14 communications
- C) *Digues*, compactage, affaissement, pression interstitielle : 7 communications
- D) *Talus naturel, fouille, remblais*, stabilité : digue — 20 communications

Pour la commodité du classement, nous avons subdivisé les questions de la façon suivante :

- a) méthode d'exécution, description de l'ouvrage
- b) observations et essais
- c) calculs appliqués
- d) méthode de calcul théorique

8 rapports se rattachent au sujet a)
 22 » » » » » b)
 6 » » » » » c)
 29 » » » » » d).

Le résumé de chaque communication est indexé selon la subdivision ci-dessus.

MM. Agnes et Soeiro, France (1 - A/b - B/b - C/b) analysent le comportement de barrages en terre, construits à Madagascar, munis à l'amont de puits de décompression des sous-pressions. Les épaisseurs des perrés de protection amont, avec filtres inversés, sont examinées en fonction de l'inclinaison des talus, à la lumière des dégâts durant les cyclones de 1959. Une protection de 1 m d'épaisseur s'est révélée suffisante pour une

penne amont 1/3 et insuffisante pour une penne de 1/2. Les sous-pressions limites admissibles pendant la construction ont été déterminées en admettant un coefficient de sécurité au glissement de 1,5 pendant la construction et de 2 pour l'ouvrage en service.

MM. Aisenstein, Diamant et Saidoff, Israël (2 - B/b - C/b) examinent le comportement de tapis d'argile grasse, compactée dans le fond d'un réservoir formé de calcaire fissuré, et ont fait des essais de percolation au laboratoire sur des couches d'argile de 60 cm d'épaisseur. Ces essais mettent en évidence la sensibilité de ces tapis à la dessiccation, ainsi que la formation de gradients d'écoulement très raides dans la couche inférieure (essai de percolation de haut en bas) et, enfin, les risques de rupture.

M. Baluscheff, Bulgarie, (3 - D/d) examine l'apparition des conditions de plasticité dans le sol en place sous un remblai. Alors que sous un remblai élevé sur un sol horizontal les zones plastiques apparaissent au pied du talus et se propagent vers le cœur, dans les mêmes conditions, sous un sol incliné, les zones plastiques occupent déjà toute la zone située sous le remblai.

MM. Barbedette et Berra France, puis M. Chadeisson, France, (4 et 9 - D/a). Ces deux communications montrent les progrès d'exécution de tranchées et de puits sur ou en-dessous de la nappe phréatique et dont le soutènement est remplacé par de la boue à base de bentonite. Les différentes entreprises ont mis au point des outillages spéciaux pour le forage des tranchées continues qui les distinguent entre elles. Le procédé d'exécution permet également la mise en place d'armatures. On aurait aimé plus de détails sur les conditions d'adhérence des armatures placées d'abord dans la boue puis enrobées de béton coulé.

MM. Rocha, Folque, Esteves, Portugal (33 - B/a. b.) étudient soigneusement les caractéristiques des sols-ciment pour leur application éventuelle à la construction des corps de digues. Diverses conditions, notamment les possibilités de déformation plastique de ce matériau, doivent être respectées. Les teneurs en ciment auxquelles apparaissent des ruptures fragiles sont comprises entre 5 et 10 %, mais à des teneurs inférieures, les caractéristiques mécaniques sont déjà très améliorées.

M. Bazant, Tchécoslovaquie et M. Uang Wen-Xi, Chine (5 et 20 - D/b - D/d) : Le premier développe une interprétation mathématique avec des facteurs sans dimension des essais de stabilité dynamique de sable saturé.

Le second traite le problème de la liquéfaction de talus saturé d'eau, submergé et soumis à l'action dynamique, et montre que le phénomène est influencé par la perméabilité du sable. La présence d'un drainage augmente la sécurité vis-à-vis de la liquéfaction.

MM. de Beer et Lousberg, Belgique (6 et 14 - D/d) tentent de préciser la définition des coefficients de sécurité d'une digue ou d'un talus.

M. Fröhlich, Autriche, montre par exemple que les coefficients de sécurité différents sont obtenus par différentes méthodes de calculs ; ainsi, par exemple, pour

un même cas, selon les définitions le coefficient varie entre 1,606 à 1,417.

M. Fröhlich donne les relations entre les différents coefficients de sécurité définis de façon différente et démontre que le coefficient de sécurité minimum est obtenu dans des conditions bien déterminées.

MM. de Beer et Lousberg font une comparaison des diverses définitions des coefficients de sécurité, notamment :

- a) introduction d'une courbe intrinsèque réduite, liée à la courbe intrinsèque de rupture ;
- b) coefficient de majoration des forces, ou moments extérieurs, les égalant au moment de rupture.

De telles analyses sont très utiles et font ressortir la nécessité de préciser comment les coefficients de sécurité sont calculés pour établir des comparaisons valables entre divers cas.

M. Browzin, USA (7 - B/b - B/d) étudie et développe l'analyse mathématique du calcul de l'écoulement non permanent au sein d'un barrage homogène, sur base imperméable, après une baisse instantanée du réservoir. Les résultats des calculs théoriques sont mis en regard des observations du niveau des nappes phréatiques lors d'essai sur modèle.

MM. Casagrande, Loughney et Matich, USA (8 - D/a) décrivent la méthode de stabilisation par électro-osmose d'un grand coteau de 33 m de haut formé par du limon fluant dont 35 % de silt (0,1 à 0,001 mm). Avant la consolidation du talus des essais, à petite échelle, ont donné les caractéristiques géologiques et électriques du sol. Pour le calcul de la stabilité on n'a tenu compte, pour des raisons de sécurité, que de l'accroissement de résistance au cisaillement dû à la réduction de la teneur en eau. La consolidation a permis de battre sous les piles du pont franchissant la rivière Little Pick des groupes de pieux, sans remettre en mouvement les terrains menacés.

MM. Coen, Guiducci, Mercogliano, Sollazzo, Italie (10 - B/a - B/b) étudient les caractéristiques des mélanges secondaires ou ternaires de coulis, à base de ciment, de poudre inerte, d'argile ou de bentonite, notamment la résistance à la compression, la viscosité et le module élasto-plastique. Ces études ont trouvé leur application dans l'exécution du barrage en terre de Selva, sur le fleuve Rapido. La courbe intrinsèque du coulis ternaire se situe entre celle d'un matériau purement argileux et celle d'un mortier de ciment maigre.

M. Domjan, Hongrie, (11 - B/b - B/d) décrit certains phénomènes de renards observés à travers les digues de protection du Danube vers les terres durant les crues 1954-1956 et tente de mettre sur pied une théorie du renard avec écoulement mixte air-eau.

M. Escario, Espagne (12 - D/d) analyse théoriquement la stabilité d'un remblai reposant sur de l'argile molle par différentes méthodes de calculs. Il fait ressortir les divergences obtenues sur les coefficients de sécurité. Des valeurs négatives apparaissent, ce qui infirme l'exactitude des premières hypothèses à la base des calculs.

MM. *Finzi et Niccolai*, Italie (13 - D/a - D/b) décrivent la consolidation de talus de chemins de fer, dans une retenue à niveau variable (réservoir de Monguelfo, Italie du Nord), au moyen de filtres et de perrés, dimensionnés sur la base des critères de « Terzaghi » et donnent un exemple appliqué de calculs de stabilité pour lesquels un coefficient de sécurité de minimum 1,5 environ a été requis.

MM. *Fukuoka et Taniguchi*, Japon (15 - D/b) indiquent le moyen de repérer les zones en mouvement dans un important glissement, près de Hokuriku, au moyen de clinomètres enregistreurs placés soit en surface soit dans des sondages. Des courbes de glissement ont été décelées jusqu'à 60 m de profondeur. Des drains forés horizontalement et des barrages d'arrêt dans le Talweg se sont révélés efficaces.

MM. *Gilg et Gerber*, Suisse (16 - A/a - B/b - C/b) décrivent le futur barrage de Mattmark et indiquent les propriétés des matériaux naturels ainsi que les caractéristiques des matériaux de construction. Les coefficients de sécurité minimum prescrits sont indiqués, à savoir :

- bassin vide 1,5 ;
- premier remplissage 1,5 ;
- vidage rapide après premier remplissage 1,3
- tremblement de terre 1,1.

La coupure du remplissage alluvionnaire de la vallée comporte l'exécution d'un voile d'injection épais très important.

MM. *Grandi, Riva, Pronsato, Bolognesi, Moretto*, Argentine (17 - A.B.C/a) décrivent les prospections et les études des sols pour plusieurs digues à construire (Las Pirquitas, Rio Hondo, El Horcajo) dans les prochaines années et les matériaux à disposition. Le barrage El Cadillal englobera l'ancien barrage en béton à contreforts, du type « Ambursen », qui sera inclus à l'intérieur de la digue.

MM. *Macdonald, de Ruiter, Kenney*, Canada (25 - B/b - C/b) indiquent les caractéristiques géotechniques de vingt-cinq barrages canadiens et cherchent à établir une corrélation entre l'origine géologique des terrains et leurs propriétés techniques : étanchéité, angle de frottement, mode de compactage, etc.

M. *Henkel*, Angleterre (18 - D/b - D/c) étudie un glissement de couches de calcaire stratifiées sur une couche inclinée d'argile. Il tient compte des pressions interstitielles et de l'inclinaison naturelle des strates et suppose que la cohésion doit disparaître avec le temps et établit les coefficients de sécurité en conséquence. Les mesures prises consistent non seulement à drainer le plan de glissement mais aussi à construire des contreforts.

M. *Holm*, Norvège (19 - D/a. b. c.) ; cette communication est un bel exemple de calculs de stabilité, compte tenu des sous-pressions. Contrairement à d'autres auteurs, le coefficient de stabilité du talus chargé (1,4) n'a pas été jugé suffisant. Les mesures pour l'améliorer consistent en drains de sable verticaux et tranchées drainantes et contre-remblai.

MM. *Ishii, Kurata, Hasegawa*, Japon (21 - A/b - A/c) décrivent la rupture en août 1958, pendant la construction, des fondations de la digue de protection de la baie de Kinkai. Les caractéristiques du sol ont été déterminées ultérieurement, notamment par des essais de compression libre sans contrainte latérale. Les méthodes de consolidation préconisées sont contre-remblai, drains de sable et allègement de la digue.

Les causes de rupture sont examinées (mais n'apparaissent pas concluantes).

M. *Kashef*, Liban (22 - B/d) indique une méthode semi-graphique pour le calcul de la courbe de rabattement d'un puits filtrant en régime transitoire.

M. *Kopacsy*, Hongrie (23 - D/d) étudie théoriquement la forme de la surface de glissement et de distribution des contraintes lors de la rupture. L'auteur montre qu'une surface de glissement plane se produit seulement si les surfaces délimitant le talus sont planes et que la courbe de surcharge soit linéaire. Si la surface limite du talus, ou la courbe de surcharge, se compose de plusieurs courbes, il ne peut se produire qu'un glissement suivant une ligne composée de divers plans raccordés par des cercles.

M. *Lane*, USA (24 - D/b) : Sur la base de l'observation de talus naturels dans des sols stratifiés du Missouri, au voisinage des barrages de Fort Peck, de Garrison et de Tuttle Creek, l'auteur tente d'établir une corrélation entre les caractéristiques de forme des talus (pente, hauteur) et les caractéristiques géotechniques (résistance au cisaillement, cohésion) ; autrement dit, les talus en équilibre limite sont considérés comme des essais grandeur naturelle. Une des difficultés de cette tentative réside dans la connaissance approximative de la position et de la forme des surfaces de rupture. Cette méthode peut rendre de très grands services à condition d'analyser avec circonspection les facteurs intervenant dans les calculs de stabilité, notamment la présence et la position de nappes d'eau, la stratification.

M. *Marsland*, Angleterre (26 - A. B. C./B. c.) ; diverses ruptures de digues sur les bords de la Tamise se sont produites en 1953. L'auteur, par l'analyse fouillée des conditions d'écoulement souterrain dans le gravier et des relations entre le niveau de la marée et les niveaux piézométriques, recherche les causes de la rupture et démontre que les sous-pressions ont réduit considérablement le facteur de sécurité.

MM. *Mayer, Habib*, France (28 - D/b. c.) rendent compte des études au sujet de l'équilibre de crassiers d'usines métallurgiques qui ont donné lieu à de fréquents glissements. Les caractéristiques des sols ont été étudiées en laboratoire. Les cercles de glissements possibles ont été localisés sur la base des observations des forages en surface. Les coefficients de sécurité sont déterminés dans diverses hypothèses.

MM. *Nonveiller et Anagnosti*, Yougoslavie (28 - C/b. c. d.) apportent une substantielle contribution à l'étude théorique des contraintes entre le noyau et les corps d'appui des digues dans le cas où ces deux zones ont des coefficients de compressibilité différents. Ils déterminent la largeur du noyau pour éviter une fissuration horizontale. Les calculs faits à ce sujet au barrage

de Peruca, comportant un noyau d'argile très plastique et des recharges en enrochements, sont comparés avec les mesures enregistrées au barrage de Harspranget.

MM. *Chappuis, Berg et Ott* (29 - B/c) : Par des essais sur modèle, les auteurs démontrent l'intérêt des puits filtrants de décompression, en lieu et place de couches filtrantes horizontales, dans le cas particulier du barrage en rivière de Reichenau soumis au danger d'érosions souterraines.

MM. *Patel et Maheshwari*, Inde (30 - A/c. d. - B/b. c. d.) déterminent par des essais rhéo-électriques les réseaux d'écoulement au sein de digues avec un drain amont en talon et établissent des nomogrammes pour le calcul de stabilité, en fonction des dimensions du drain. (Pour les symboles, recourir aux sources bibliographiques.)

M. *Rao*, Inde (31 - A/b) indique les profils d'un grand nombre de barrages d'irrigation en Inde et des nouveaux barrages d'Hirakud et de Kotah. Il examine dans quelles conditions se sont produits les glissements partiels observés sur certains parements amont, notamment au réservoir de Villington après plusieurs réfections successives.

M. *Riva*, Argentine (32 - B/a) indique les dispositions et des conditions d'exécution d'un écran d'injection dans les alluvions pour la constitution du batardeau amont, durant la construction du barrage de Valle Grande.

M. *Rodriguez*, Mexique (34 - D/d) analyse théoriquement la stabilité des talus pour un sol cohérent et à frottement. L'auteur fait ressortir les écarts entre les coefficients de sécurité si l'on utilise les équations de « Kötter » ou la « méthode suédoise » ; cette dernière conduit à des facteurs de sécurité plus élevés.

MM. *Sowers et Gore*, USA (35 - C/b) décrivent divers essais in situ pour déterminer les caractéristiques des matériaux du barrage en enrochement de Lewis-Smith, notamment des grands essais de cisaillement avec des boîtes de 2 m sur 2 m.

M. *Stroganov*, URSS (36 - D/d) étudie mathématiquement l'écoulement visco-plastique dans trois cas particuliers : talus formant plan incliné — couches pinçées entre deux surfaces rugueuses — parois de forages circulaires.

MM. *Suklje et Vidmar*, Yougoslavie (37 - D/b - D/c) font part des nombreuses observations géologiques et topographiques au sujet d'un grand éboulement de 20 millions de m³ dans la région Gradot en Macédoine. Les essais de cisaillement avec mesure de fluage à longue

durée ont été faits, ainsi que l'analyse des conditions de stabilité. Les auteurs font ressortir une rupture successive des différentes couches qui infirme les hypothèses générales admises pour la rupture plastique.

MM. *Tsytoich et Khakimov*, URSS (38 - D/a. b. c. d.) décrivent l'exécution du soutènement d'un puits d'accès au métro, à 24 m de profondeur, au moyen de parois congelées dans des sables. Ils indiquent la durée de congélation, le critère pour obtenir la formation d'une paroi de glace en fonction du gradient et de la perméabilité du sable.

Des difficultés se présentent pour la fermeture de la paroi congelée dans une nappe en mouvement. Les caractéristiques mécaniques des sols congelés et l'analyse des contraintes sollicitant l'anneau congelé sont indiquées.

MM. *Walker et Harber*, USA, (39 - A. B. C./a) décrivent le site, les conditions géologiques et l'avancement des travaux pour la construction de la plus haute digue de Californie, 164 m. Pour les recharges, l'utilisation de couches zonées horizontalement, et alternativement perméables et semi-perméables, a permis de mettre en remblai utile des millions de m³ autrement inutilisables.

M. *Ward*, Angleterre (40 - D/b. c.) : L'exécution d'une grande excavation dans l'argile de Londres a été l'occasion pour l'auteur de mesurer les déformations du revêtement de métro à l'intérieur des galeries de métro sous-jacentes. Sous l'effet de la décharge le souterrain s'ovalise. On a pu en déduire le module de compressibilité de l'argile.

Résumé

L'intérêt des auteurs s'est essentiellement concentré sur les problèmes relatifs à la question de stabilité des fouilles, des talus et remblais (D).

La définition, souvent divergente, des coefficients de sécurité a été relevée.

Le rapporteur général s'est attaché à montrer que la sécurité ne dépend pas tellement de méthodes de calcul, dont le résultat théorique est souvent assez proche, mais d'une appréciation correcte des caractéristiques des sols, des zones passibles de rupture et des conditions de pression et d'écoulement internes.

L'évolution des caractéristiques mécaniques des sols dans le temps mérite d'être étudiée attentivement.

Genève, le 8 mars 1962. ¹

¹ D'autres comptes rendus du Congrès de Paris ont paru ou paraîtront prochainement dans la *Schweizerische Bauzeitung* :

H. *Zeindler* : « Vom Bau von Strassen, Flugpisten und Eisenbahnen ». Section 4. *Schweizerische Bauzeitung* n° 14, 1962.

A paraître en juin-juillet 1962 :

N. *Schnitter* : « Pfahlgründungen ». Section 3b.

J. *Huder* : « Bodeneigenschaften und deren Bestimmung ». Section 1.

Dr A. von *Moos* et M. *Gautschi* : « Verschiedene Probleme ». Section 7. (Réd.)

LES CONGRÈS

Association suisse pour le plan d'aménagement national (ASPAN)

Journée romande de l'ASPAN, Yverdon, 16 juin 1962

Le Groupe de la Suisse occidentale de l'ASPAN organise le 16 juin prochain à Yverdon, Salle du Conseil communal, une Journée romande, dont voici le programme :

- 9 h. Ouverture de la journée. Allocution de M. J.-P. Vouga, architecte, président du Groupe de Suisse occidentale de l'ASPAN.
- 9 h. 30 « Le maintien de la propriété foncière rurale : un problème de solidarité », par M. Paul Joye, chef du Service du génie agricole, Fribourg. Discussion.
- 10 h. 30 « Problèmes de l'industrialisation et de l'équipement du pays : coopération ou concurrence ? », par M. Sydney de Coulon, conseiller aux Etats, industriel, Neuchâtel. Discussion.
- 12 h. Apéritif offert par la Municipalité d'Yverdon.
- 13 h. Déjeuner au Casino d'Yverdon.