Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 92 (1966)

Heft: 15

Artikel: Sixième Congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondations: barrages en terre et de roche; talus et tranchées ouvertes (division 6)

Autor: Schaerer, Ch.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-68380

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: 08.12.2025

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

92e année Lausanne, 30 juillet 1966 N° 15

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL
de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (SVIA)
de la Section genevoise de la SIA
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE
Président: E. Martin, arch. à Genève
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève
Membres:
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgurin, arch.; J.-C. Ott, ing.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; M. Chevalier, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.; M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION
de la Société anonyme du « Bulletin technique »
Président: D. Bonnard, ing.
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; J. Favre, arch.; A. Robert, ing.; J.-P. Stucky, ing.
Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

RÉDACTION
D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua, architecte
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse Fr. 40.—	Etranger Fr. 44.—
Sociétaires	» » 33.—	
Prix du numéro . . .	» » 2.—	» » 2.50

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande », N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29, 1000 Lausanne

ANNONCES
Tarif des annonces:

1/1 page	Fr. 385.—
1/2 »	» 200.—
1/4 »	» 102.—
1/8 »	» 52.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26, 1000 Lausanne et succursales

SOMMAIRE

Sixième congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondations :
Barrages en terre et de roche; talus et tranchées ouvertes, par Ch. Schaerer, ingénieur, Zurich.
Poussée des terres et des roches, par H. B. de Cérenville, ingénieur, Lausanne.
Fondations peu profondes et chaussées, par Ed. Recordon, Lausanne.
Nécrologie. — Divers. — Documentation générale. — Informations diverses.

SIXIÈME CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DES TRAVAUX DE FONDATIONS [1]

BARRAGES EN TERRE ET DE ROCHE; TALUS ET TRANCHÉES OUVERTES

(DIVISION 6)

par Ch. SCHAERER, ingénieur, Zurich

Les communications groupées dans la *Division 6* traitent les thèmes suivants :

— Comportement des barrages en terre et de roches en cours de construction et après.
— Barrages et digues de terre et de roches et leurs problèmes de fondation.
— Talus naturels.
— Tranchées et excavations ouvertes non entretoisées.
— Etudes théoriques sur modèle et sur chantier de la stabilité des talus.
— Compactage, pression interstitielle et matériau de construction dans les barrages de terre et de roches, et dans les talus.

Trente-quatre contributions ont été publiées qui, selon les continents représentés, se répartissent comme suit : Europe 22 ; Amérique du Nord 1 ; Amérique du Sud 5 ; Asie 4 ; Afrique 0 ; Australie 2.

Le professeur *D. Mohan*, directeur du Central Research Institute (Institut central de recherche), Roorkee (U.P.), Inde, a assumé la fonction de rapporteur général.

Il relève que le développement de nos connaissances en la matière permet à l'ingénieur d'entreprendre la construction de barrages en terre de plus en plus élevés (par exemple Oroville, USA, $H = 249$ m ; $H = 316$ m URSS !) ; l'usage de calculateurs électroniques et de radio-isotopes pour le projet et la construction ainsi que le contrôle de l'ouvrage sont des exemples typiques de cette tendance.

[1] Les exposés donnés sous ce titre au présent numéro ont été présentés aux membres de la *Société suisse de Mécanique des sols et des Travaux de fondation* le 11 novembre 1965 à Berne, lors d'une session consacrée aux matières ayant fait l'objet du sixième congrès international à Montréal, septembre 1965. (Réd.).

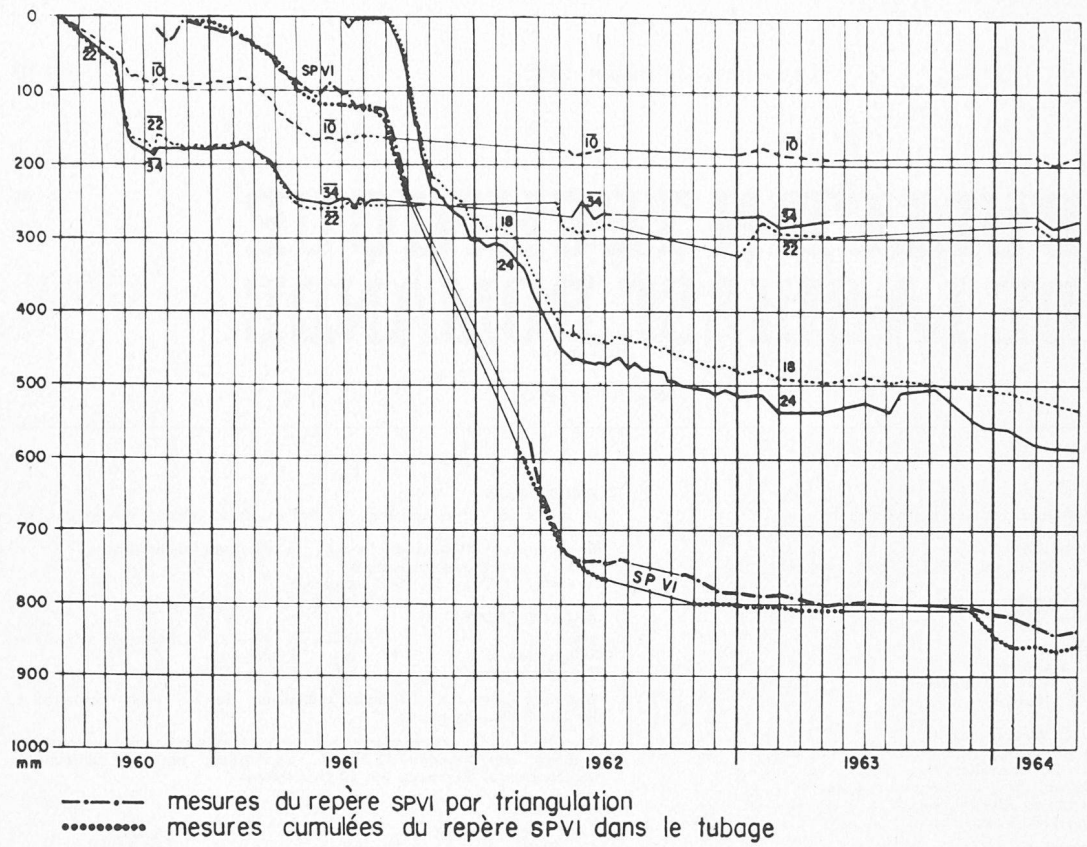

Fig. 1. — Déplacements verticaux du couronnement (18, 24) et du talus amont ($\overline{10}$, $\overline{22}$, $\overline{34}$, SP $\overline{\text{VI}}$). Les traits fins correspondent aux périodes d'immersion.

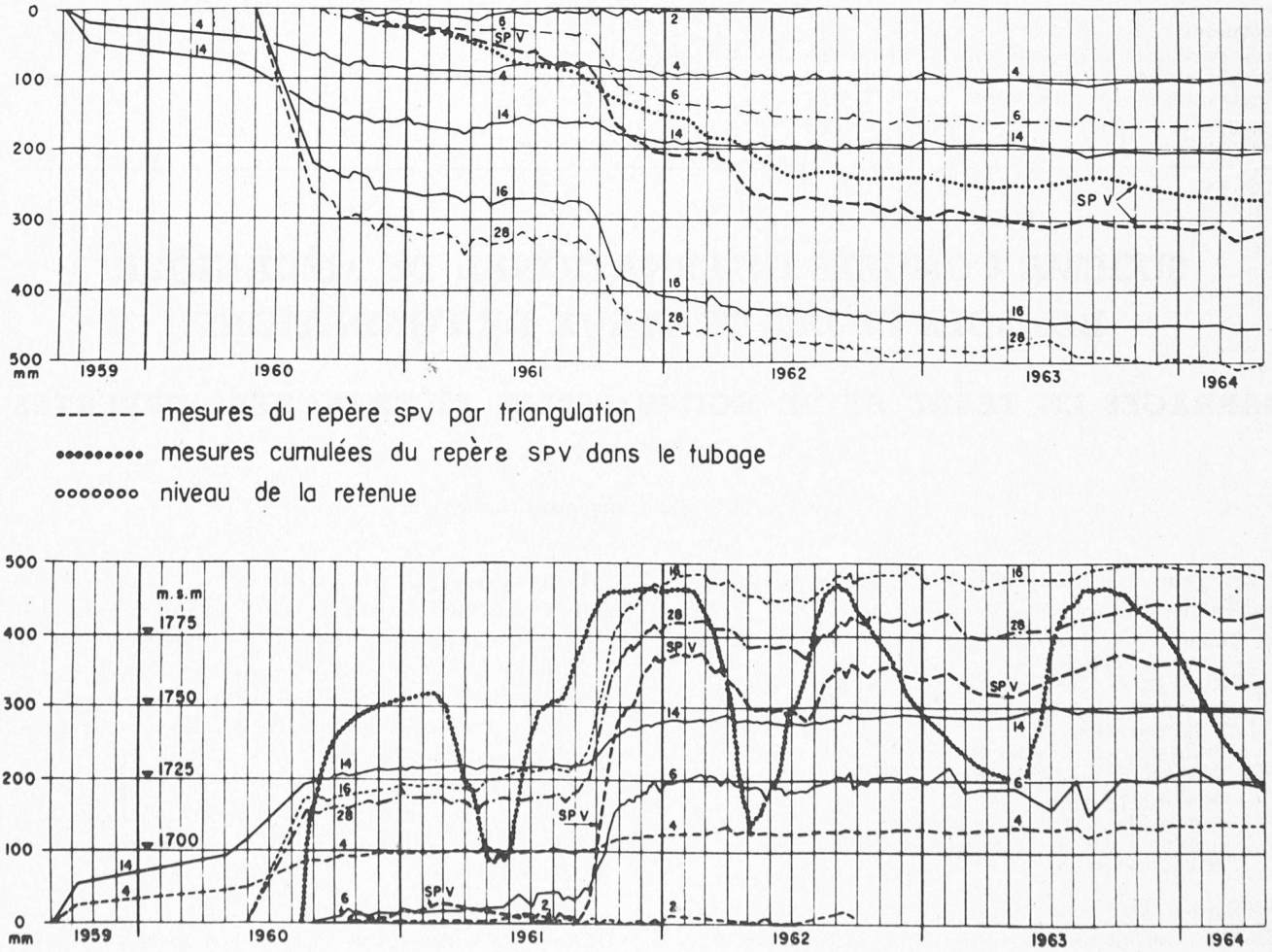

Fig. 2. — Déplacement de sept repères du talus aval : en haut dans le sens vertical, en bas dans le sens horizontal. Les déplacements sont positifs lorsqu'ils sont dirigés vers le bas ou vers l'aval.

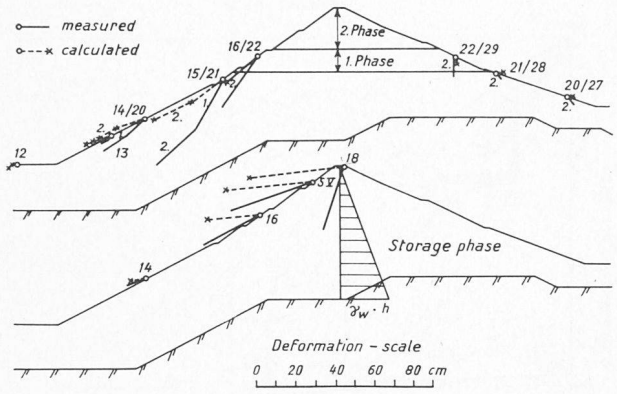

Fig. 3. — Déplacements de repères du talus aval ; comparaison des valeurs calculées (Dr H. Bendel) et mesurées.

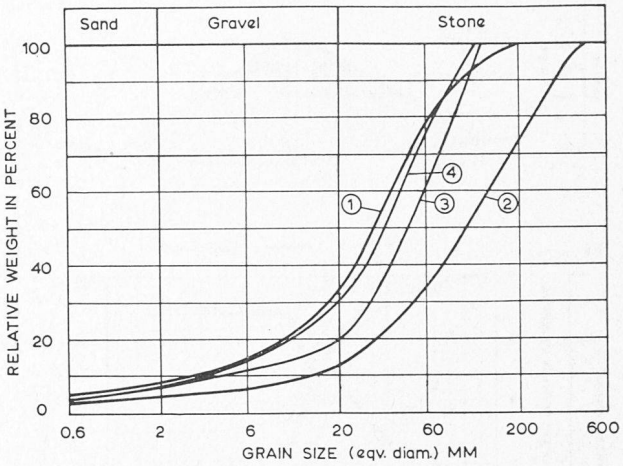

Fig. 4. — Courbe granulométrique des décombres de tunnels :

(1) surface de la couche compactée ;
(2) tunnel de Totak, section de 27 m² ;
(3) placés dans l'œdomètre ;
(4) après les essais œdométriques.

Dans l'exposé qui suit, quelques contributions qui nous paraissent offrir un intérêt général évident, ainsi que celles qui sont en rapport avec les problèmes que posent nos conditions géotechniques particulières en Suisse, sont commentées.

1. Projet et construction de digues et de barrages en terre

Parmi les cinq articles parus sous ce titre, mentionnons celui de notre compatriote *M. B. Gilg* relatif à la digue de Göschenenalp, essais, mise en place, compactage et comportement, en nous attachant sur ce dernier point. Les figures 1 et 2 montrent les mouvements observés lors de la première mise en eau. La figure 3, tirée de la thèse de *M. H. Bendel*, permet de comparer les résultats d'un examen théorique avec les mesures sur l'ouvrage.

A. L. Little (Grande-Bretagne) a présenté une intéressante analyse du comportement de divers barrages pendant leur construction, en particulier la dissipation des pressions interstitielles, « ces forces malignes », comme il les nomme. Il insiste sur le fait qu'un progrès dans les méthodes de calcul n'est possible que si les ouvrages sont méthodiquement auscultés déjà pendant la construction et si les résultats obtenus sont mis en valeur pour les études futures.

2. Projet et construction de barrages en enrochements et remblais hydrauliques

Trois des cinq contributions présentées ont retenu notre attention. Il s'agit de :

a) *P. Anagnosti* (Energoprojekt, Consult Ing., Belgrade, Yougoslavie) : « Analyse des pressions et des déformations dans l'épais noyau argileux (schistes) d'un barrage en enrochements calcaires ».
Globocicz (H = 90 m), construit dans les années 1960-64.

Les appareils de mesure placés dans le noyau ont révélé certains phénomènes relatifs aux concentrations des pressions du sol (effet de voûte) et de fluage visqueux.

Il a examiné la distribution des pressions et des déformations pour ce type

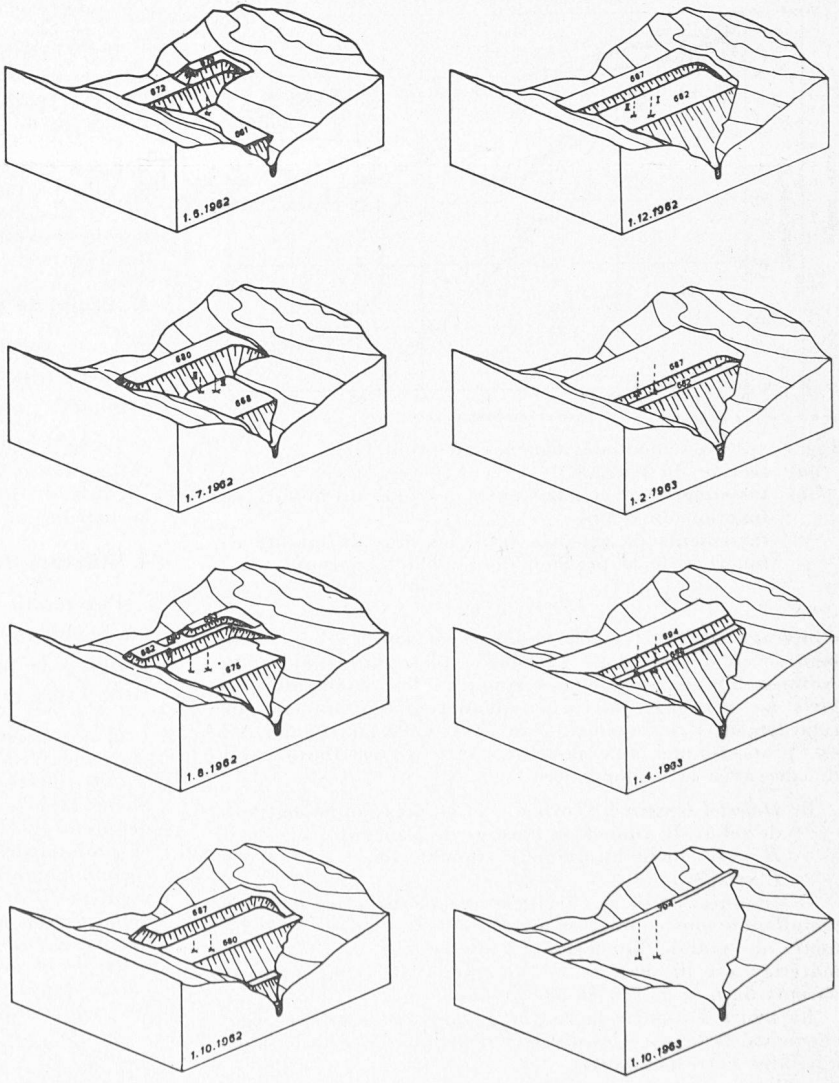

Fig. 5. — Diverses phases de la construction du barrage de Venemo.

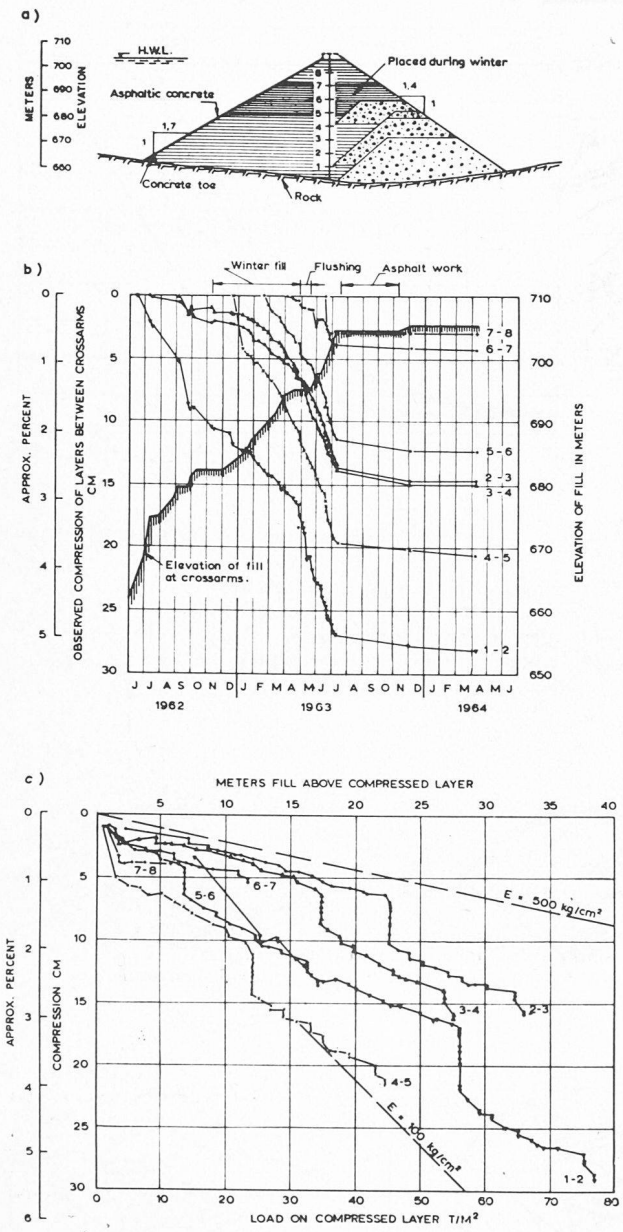

Fig. 6. — Tassement des couches au profil II.
(*a*) section du barrage ;
(*b*) tassement des couches entre les bras de mesure en fonction du temps ;
(*c*) tassements de couches entre les bras de mesure en fonction de la pression du remblai susjacent.

d'ouvrage situé en *vallée profonde et étroite* ; ce travail peut servir de base pour l'étude de plus grands barrages. Notons, comme phénomènes typiques, les tassements plus forts au voisinage du rocher qu'au centre et un effet de retardement des tassements au centre. Le facteur $\Delta S/\Delta H$ est proportionnel aux pressions si leur distribution est linéaire avec la profondeur.

b) *Holestol Kjaernsli* (Torbaa) : « Compression de matières de rebut du tunnel du barrage de Venemo, Norvège. » $H = 64$, couche bitumineuse étanche, vol. = 357 000 m³. $L = 238$.

Les mesures en place effectuées avec le dispositif des bras métalliques sont comparées à celles effectuées dans un œdomètre de grande dimension (⌀ 50 cm, $H = 25$ cm) ; le matériau est un granite ou un gneiss avec une porosité variant de $n = 23$, 25 et 33 %.

La figure 4 montre la courbe granulométrique des enrochements, la figure 5 les diverses phases de l'exécution avec les dates correspondantes.

La figure 6 renseigne sur les tassements observés : *a*) profil du barrage ; *b*) tassement des couches entre les bras de mesure en fonction du temps ; *c*) tassement des couches entre les bras de mesure, en fonction de la pression du remblai. Le module de déformation E varie entre 100 et 400 kg/cm² ! La figure 7 illustre les résultats des essais œdométriques et ceux des mesures sur place. En conclusion : le massif en enrochement est plus compressible qu'on ne le pensait !

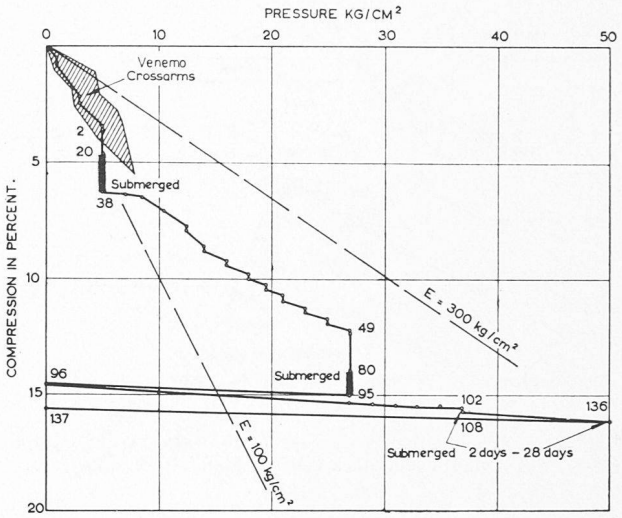

Fig. 7. — Résultats des essais œdométriques sur les enrochements du barrage de Venemo.

c) *G. F. Sawers* (Williams, Wallace) : « Compressibilité des roches fragmentées et tassement des remblais rocheux » (fig. 8).

Il s'agit d'une étude systématique sur le tassement de quatorze barrages en enrochement. Ces résultats sont comparés à ceux d'essais de consolidation sur des débris de roches en laboratoire.

Il semblerait que la courbe de tassement en fonction du temps serait assimilable à celle des tassements secondaires de sols. Le tassement est accéléré soit par l'effet de chocs soit en mouillant l'enrochement. Il est parfaitement prouvé que le tassement est une conséquence de la pulvérisation des points de contact entre les éléments.

3. Projet de noyau et de filtres

Trois contributions, la plus intéressante de *Kassif* (Israël), traitent des dimensions de filtres pour terrains argileux.

Il s'agit d'essais au laboratoire complétés par une analyse théorique.

Silveira (Brésil) donne une nouvelle formule, basée sur la distribution des vides et la pollution des filtres.

4. Analyse de la stabilité

Pas moins de neuf contributions ont été consacrées au problème de la stabilité et aux calculs correspondants, y compris le choix (calcul !) du facteur de sécurité. Trois publications ont retenu notre intérêt :

a) *Pietkowski* (Pologne) : « Calcul dynamique des éboulements des terres. »

Cette intéressante étude concerne le déroulement de glissements rapides de terres. L'observation montre que ceux-ci débutent à la crête et se développent de proche en proche en profondeur. L'auteur subdivise le segment affecté en un certain nombre de secteurs et calcule le temps nécessaire pour que le centre de gravité de chacun de ses éléments se déplace d'un certain montant. On part de l'hypothèse que la cohésion est entièrement mobilisée lorsque le déplacement atteint 4 mm. Les calculs (fig. 9) sont en bon accord avec l'observation. Déplacement du centre de gravité calculé : 1,75 cm, temps 1.67 // 1.9 sec !

b) *Saito* (Japon) : « Prédiction du moment où se produira la rupture d'un talus. »

L'auteur expose les mesures faites sur plusieurs glissements lorsque les premiers indices (fissures) ont été repérés.

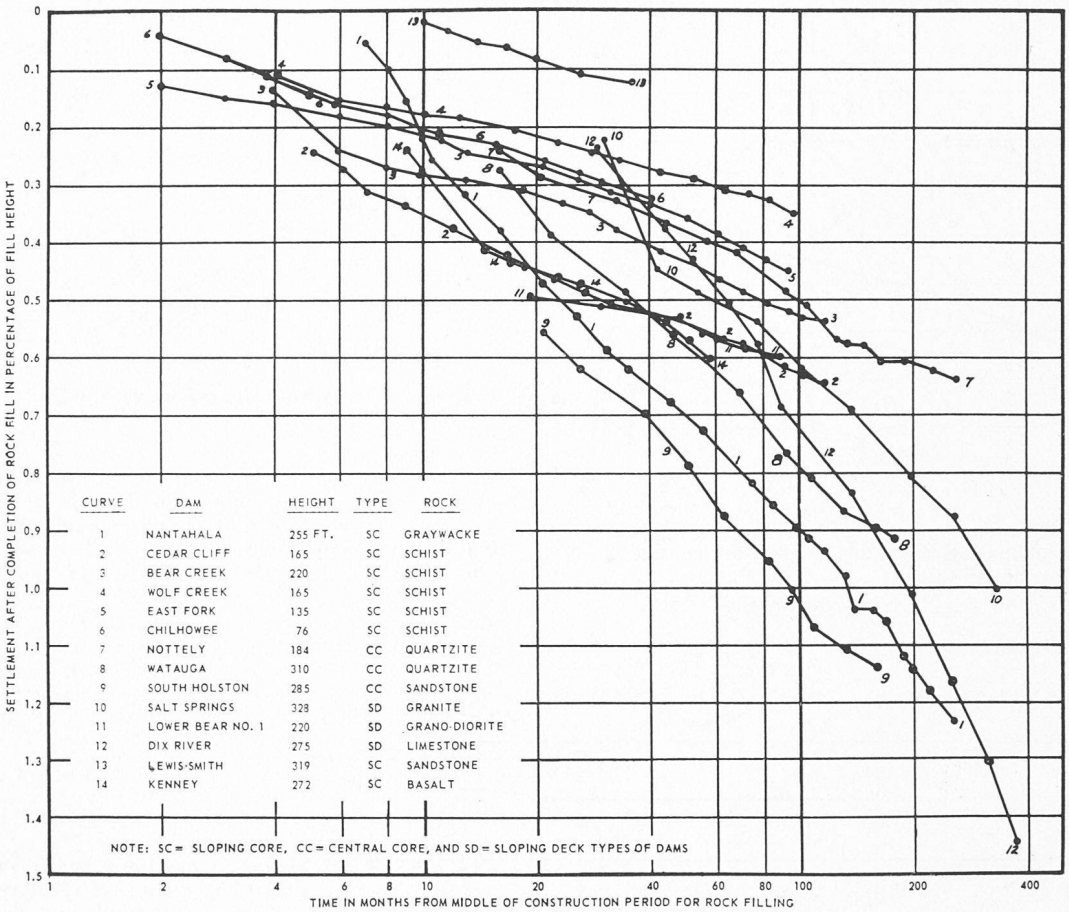

Fig. 8. — Tassements observés de barrages en enrochements après achèvement de la construction [d'après Growdon (1960), Hayes (1964), Leonard et Raine (1960), Schmidt (1960), Steele et Cooke (1960)].
En ordonnée : tassements en pour-cent de la hauteur du remblai ; en abscisse : temps écoulé, en mois, à partir de la moitié de la période de construction de l'enrochement.

Une expression qui met en rapport le quotient de déformation et la durée de rupture suite au fluage est développée.

L'auteur est d'avis que cette expression peut être utilisée pour tous les glissements pour prédire le moment de rupture en mesurant les déformations de la surface du talus.

$$\log_{10} t_r = 2{,}33 - 0{,}916 \log_{10} \overset{\circ}{\varepsilon} \pm 0{,}59$$

t_r = durée de rupture suite au fluage (minute) ;
$\overset{\circ}{\varepsilon}$ = quotient de déformation constante en 10^{-4}/min.

c) *G. Stefanof + C. Christow* (Sofia, Bulgarie) ont publié une « Méthode graphique et nomographique rapide pour fixer les dimensions de talus ». Champ d'application : talus de mines à ciel ouvert.

Partant de la méthode « F_p » de Maslov (URSS 1949), les auteurs dressent un monogramme (fig. 11) et établissent une méthode graphique rapide (fig. 10) pour déterminer la forme d'un talus stable. La première hypothèse est la validité de la loi de Coulomb $\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \Phi$ qui définit $F_p = \frac{c}{\sigma} + \operatorname{tg} \Phi$; la seconde hypothèse concerne la valeur de la contrainte verticale $\sigma = \gamma \cdot H$. La méthode graphique est établie pour un sol homogène. S'il ne l'est pas, le diagramme *a*) de la figure 10 comprend plusieurs courbes intrinsèques. Le secteur est subdivisé en lamelles horizontales de hauteur ΔH.

H_1 = hauteur de base.

$\sigma_1 = \gamma \cdot H_1$ est reporté sur l'axe « σ », ce qui définit le point P_1 sur la courbe intrinsèque du matériau ; l'angle auxiliaire ψ_1 est ainsi déterminé, ce qui permet de tracer la « pente stable *A-B* » jusqu'à H_2. Ainsi, de proche en proche

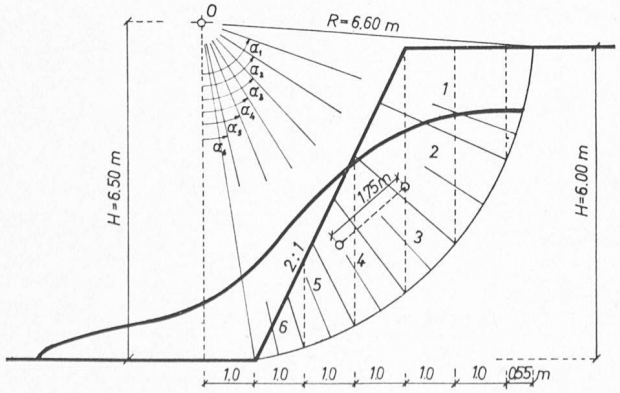

Fig. 9. — Exemple de glissement (rupture de talus).

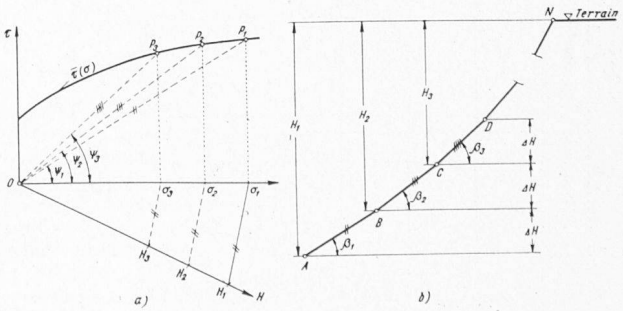

Fig. 10. — Méthode graphique pour l'établissement du talus :
(*a*) détermination de ψ_p ; (*b*) talus.
$\tau(\sigma)$ est la courbe intrinsèque du matériau constituant le talus.

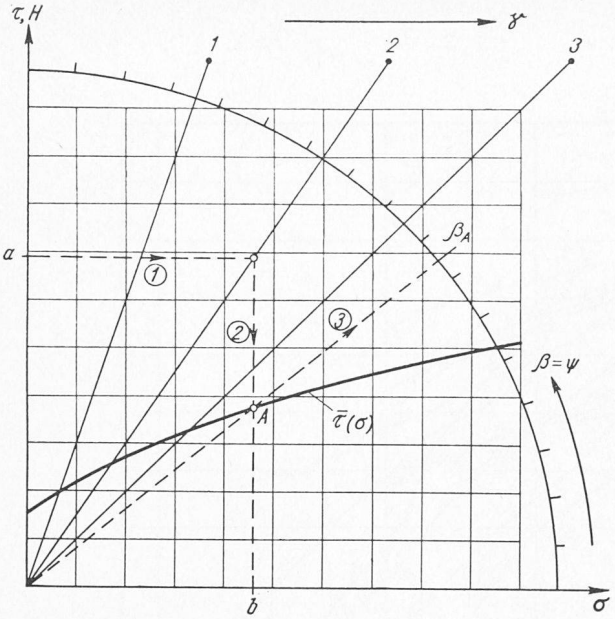

Fig. 11. — Schéma du diagramme pour la détermination de l'angle d'inclinaison β du talus avec l'horizontale.
Manipulation nomographique :
— donné : $H = a$, $\gamma = 2$; courbe intrinsèque $\overline{\tau}(\sigma)$;
— déterminé : $\beta = \beta_A$;
— résultat secondaire : $\sigma = b$.

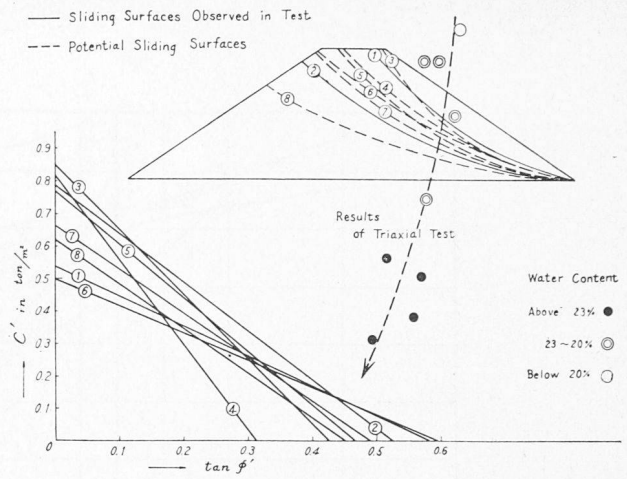

Fig. 12. — Résultats du calcul de stabilité et des essais triaxiaux.

on dessine la courbe A-N (fig. 10). La méthode nomographique permet de déterminer l'angle β directement lorsque les autres paramètres sont connus, l'angle de talus β est fonction de six variables

$$F_p[\beta, c, 0, F, \gamma, H] = 0 \qquad F = \text{facteur de sécurité.}$$

Cette méthode nomographique peut aussi être modifiée pour calculer le coefficient de sécurité F d'un talus donné.

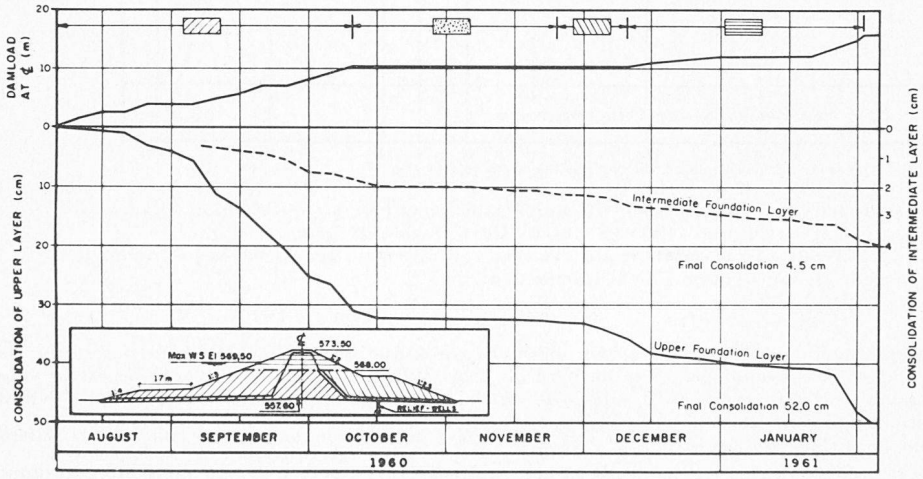

Fig. 14. — Contraintes provoquées par le barrage et courbes de tassement par suite de la consolidation, barrage en terre de Jurumirim.

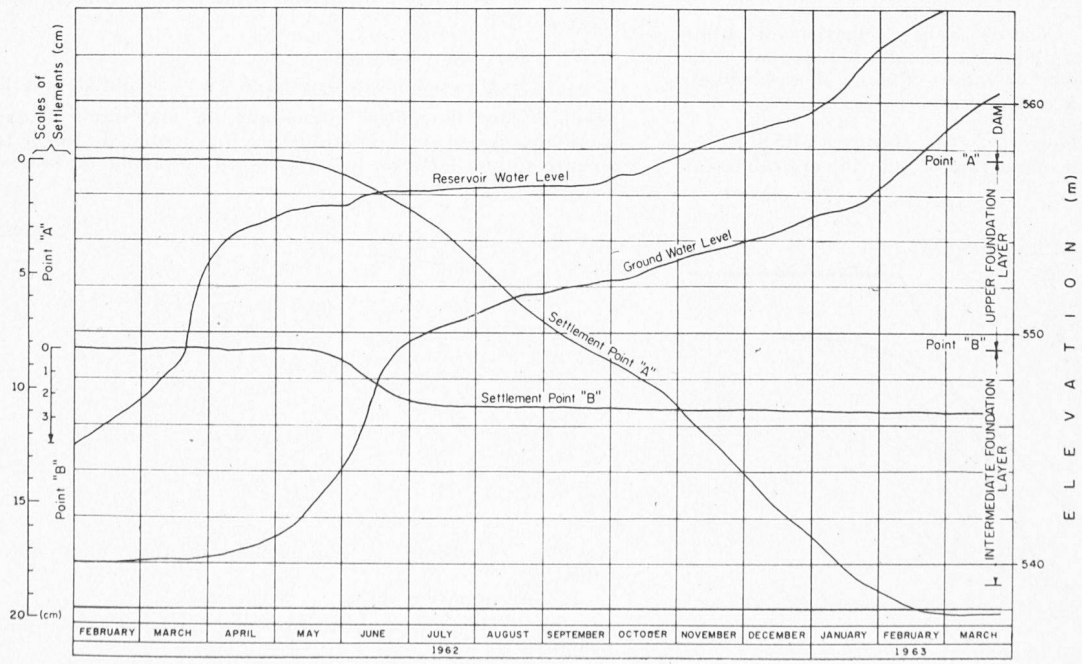

Fig. 15. — Courbes de tassement par suite de la saturation, barrage de Jurumirim.

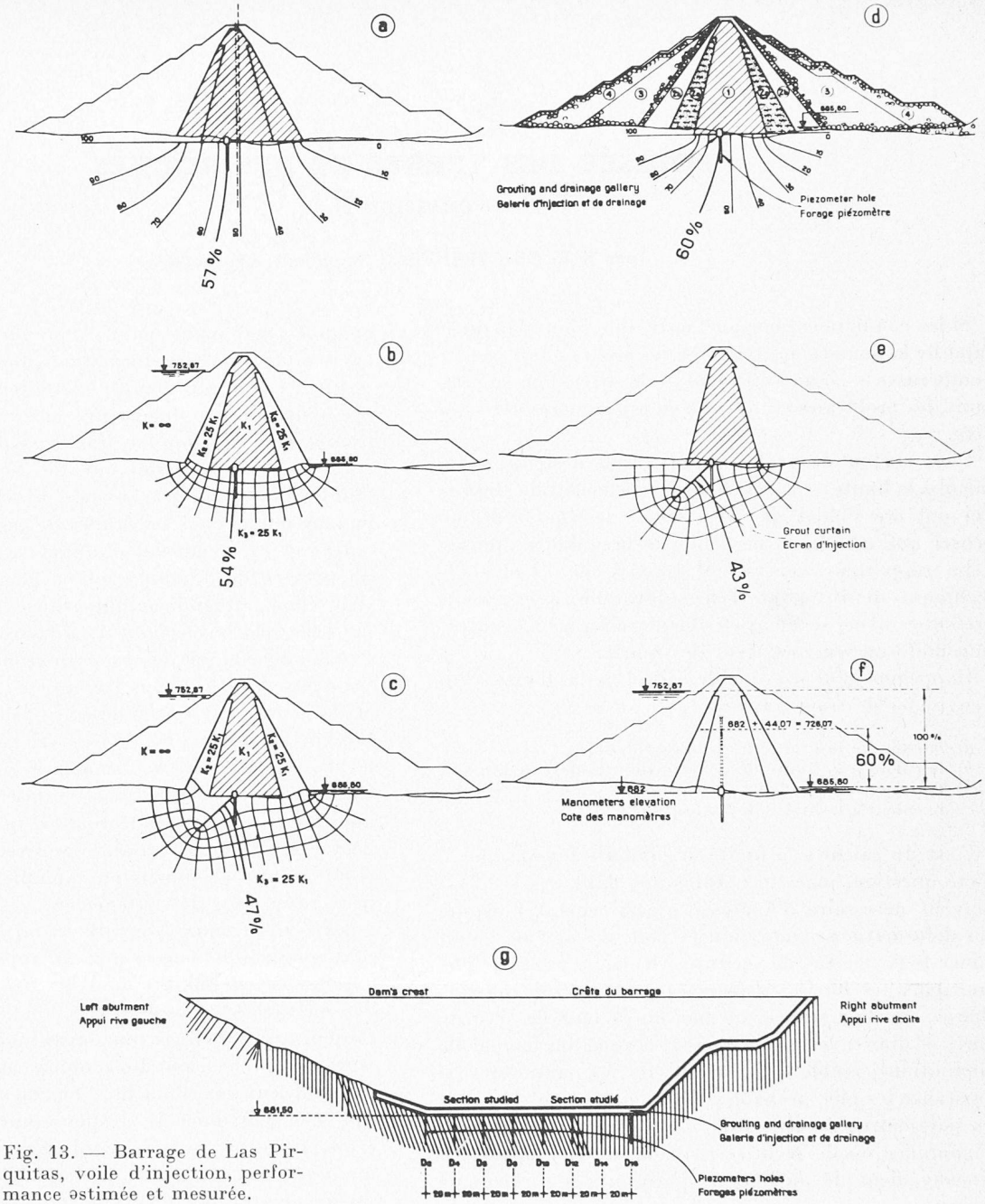

Fig. 13. — Barrage de Las Pirquitas, voile d'injection, performance estimée et mesurée.

5. Glissements et ruptures de talus

Deux des quatre communications sont relevées ici, à savoir celles de

a) *Fukuoka :* « Essais sur modèles grandeur nature de la rupture du talus des digues de rivières », qui se rapporte à l'examen d'ouvrages de protection de crues.

Pour la digue d'essai à Yodo, on a constaté deux surfaces de glissement (1) + (2) (fig. 12). Le diagramme c/Φ et les résultats d'essais triaxiaux montrent que le calcul ne révèle d'instabilité que pour des valeurs de la teneur en eau au-dessus de 23 %.

b) *Bolognesi* (Moretto) : « Comportement d'un écran d'injection en une seule ligne. »

Digue de Las Pirquitas, fondée sur des gneiss. Une seule ligne d'injection de 35 m de profondeur. Au total, 183 t de ciment Portland ont été injectées dans 46 trous ; l'absorption moyenne est donc de 110 kg par m¹, pression : 25 atü. Les mesures des niveaux de la nappe ont été faites dans des piézomètres ⌀ 100 mm équidistants de 20 m, profondeur 22 m ; les filtrations atteignaient 35 l/s, après le traitement.

Cinq hypothèses (fig. 13) sont examinées, considérant un semi-espace dans lequel la loi de Darcy est valable.

1 *a* / 1 *d* : sous-sol homogène perméable (les lignes de filtration sont des hyperboles).

1 *b* / *c* / *e* : réseau d'équipotentielles dessiné. « Fraction de la charge. »

Hypothèses :

1) Zone 1 (Barrage) imperméable, fondation perméable :
   voile inefficace : 1 *d*
   voile parfait : 1 *e*
2) Zones 1 + 2 *a* imperméables par rapport aux fondations :
   voile sans effet : 1 *a*
3) Zones 2 *a* et sous-sol sont de même perméabilité, et ceci :
   25 fois plus grande que la zone 1
   voile inefficace : 1 *b*
   voile parfait : 1 *c*

Considérant la plus haute ligne équipotentielle donnée par les piézomètres avec la perte de charge effective (fig. 13/1 *f*), les auteurs concluent que le voile est inefficace !

6. Divers

Sept contributions.

H. U. Scherrer (CH !), Brésil : « Tassement d'un barrage dû à la saturation des fondations. »

Le barrage de Jurumirim (rivière Paranapanema, $H = 15{,}90$ m, $L = 470$ m, $V = 280\,000$ m³) est fondé sur des grès poreux et un sol latéritique. La saturation postérieure de ces couches d'une épaisseur considérable, due au remplissage du réservoir, produisit un tassement additionnel à ceux dus à la consolidation.