

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 50 (1924)  
**Heft:** 6

**Artikel:** L'élasticité du béton  
**Autor:** Dumas, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-39053>

### **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:** 14.07.2025

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

moins horizontales et non pas le laisser parfaitement lisse avec son inclinaison naturelle vers l'aval comme ce fut le cas. Ce rocher est tellement lisse que le mortier n'a en général pas adhéré, comme on s'en rend compte par la figure 10. On y voit quelques petits lambeaux de mortier collés au rocher, tandis que la plus grande partie de la surface de fondation est parfaitement propre et lisse, non point parce que le béton aurait été lavé au moment de l'accident, (ce qui eût été impossible pendant les quelques minutes qu'a duré l'écoulement), mais parce que l'adhérence était nulle déjà avant la rupture. On remarque même sur la photographie, entre la maçonnerie et le rocher, un espace de quelques millimètres. Ce décollement n'est pas local. On peut donc dire que tout l'ouvrage était particulièrement mal assis sur sa fondation, malgré les quelques crampons qu'on a voulu placer et qui ont été évidemment, vu leur petit nombre, sans effet.

Toute la partie supérieure des piliers et des voûtes a été faite en béton, mais ici aussi il y a des réserves à faire. La figure 12 montre une voûte cisailée à son encastrement dans le pilier et donne une image assez suggestive de la qualité du béton. On trouve ici facilement l'explication de la petite source qui a donné lieu au glaçon de droite. L'eau a naturellement trouvé un chemin très facile à travers ce béton si poreux. On n'a d'ailleurs pas craint dans ces voûtes de béton armé, qui auraient dû être parfaitement étanches, de jeter pêle-mêle de gros

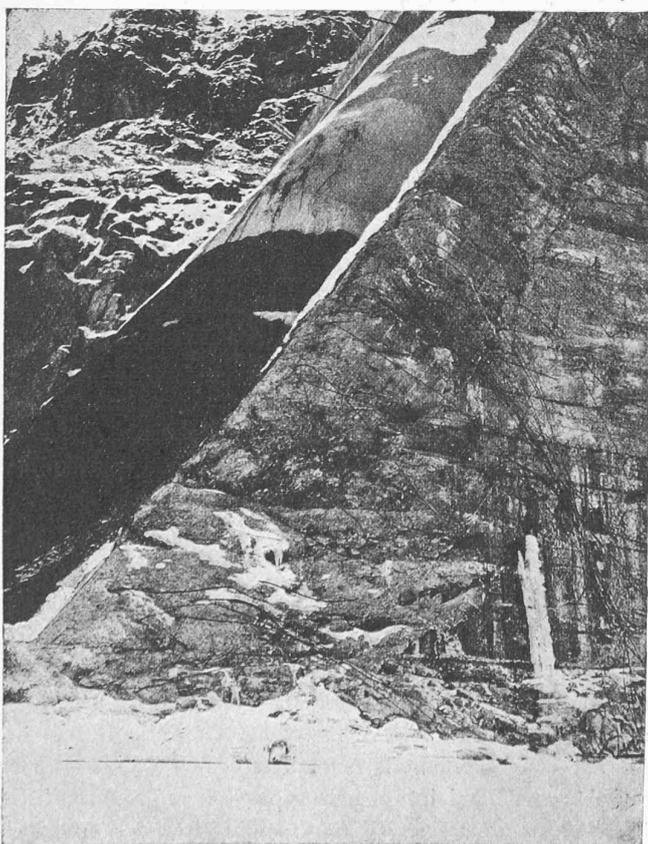


Fig. 12. — Vue du premier pilier, qui subsiste encore, sur la rive gauche. La voûte a été cisailée à son encastrement dans le pilier. Voir les divers joints de bétonnage.

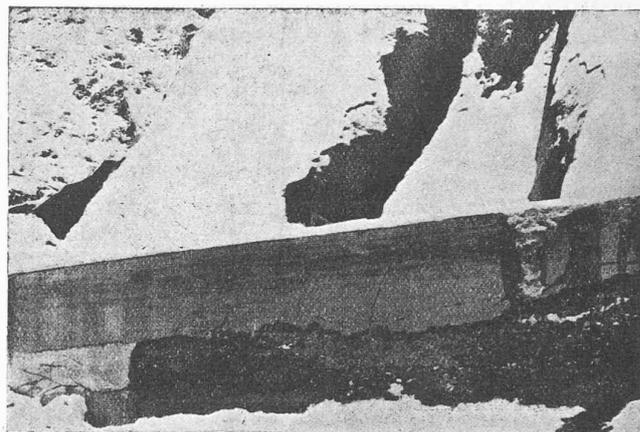


Fig. 13. — Fissure horizontale au pied des voûtes du secteur de droite.

blocs au milieu des fers. Aussi le résultat d'une telle méthode de bétonnage ne s'est pas fait attendre. Les fuites ont été nombreuses et d'après les dires de personnes qui ont vu l'ouvrage avant l'accident l'on aurait à maints endroits lancé un peu de mortier pour aveugler les pertes les plus grosses. Tous les fers ont été débarrassés par l'accident de leur béton, ce qui démontre que l'adhérence n'était pas bien forte. Malgré cela, l'effondrement n'est pas dû aux voûtes, tout le mal est venu des piliers. Ceci prouve une fois de plus quelle grande sécurité une voûte peut offrir.

Les voûtes qui subsistent encore à droite de la brèche présentent à leur base une grosse fissure horizontale indiquant qu'il y a eu un renversement des piliers vers l'aval dû à un écrasement de la fondation. La figure 13 montre cette fissure; les deux voûtes ne sont pas très faciles à reconnaître parce qu'elles sont recouvertes de neige, la couleur noire provient d'un vernis de goudron.

(A suivre).

## L'élasticité du béton

par A. DUMAS, chef du Laboratoire d'essais de matériaux de l'Université de Lausanne.

(Suite et fin.)<sup>1</sup>

Représentation analytique de la fonction  $\varepsilon = f(\sigma)$ .

La représentation par une équation de la fonction  $f(\sigma)$  est d'un intérêt considérable. Cette représentation analytique est un problème d'ordre mathématique.

Si l'on considère une loi de déformation telle que celle qui est représentée par la fig. 4, on conçoit que l'on puisse sans peine en trouver une expression analytique.

D'habitude, cette représentation est mise sous la forme :

$$\varepsilon = a \cdot \sigma^b \quad (11)$$

où  $a$  et  $b$  sont des constantes.

Cette forme est adoptée par suite de la grande facilité que présente la détermination des coefficients  $a$  et  $b$  : Il

<sup>1</sup> Voir Bulletin technique du 1<sup>er</sup> mars 1924, page 49.

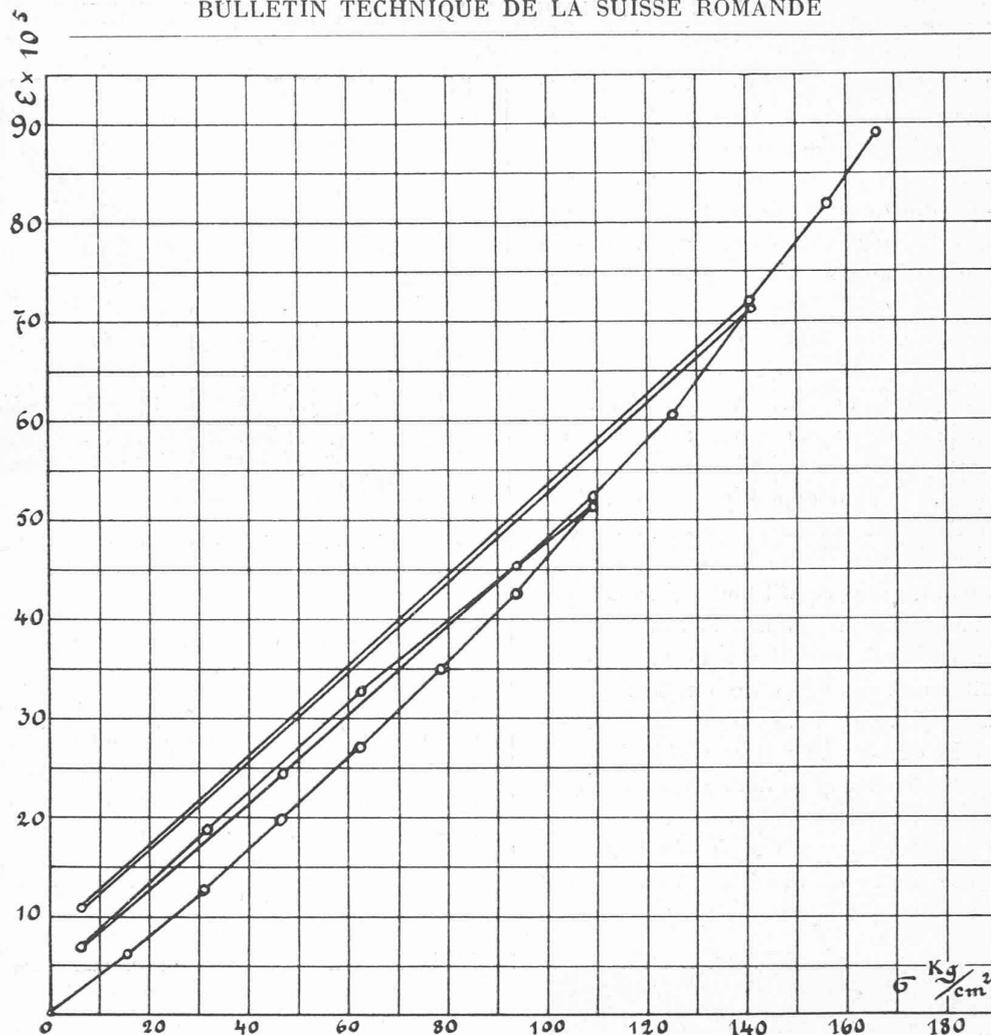


Fig. 6. — Détermination des déformations d'un prisme, en béton de ciment « électrique », sollicité à la compression.

Dimensions :  $12 \times 12 \times 36$  cm. — Poids spécifique : env.  $2,40 \text{ kg/dm}^3$ . — Résistance à la compression :  $210 \text{ kg/cm}^2$ . — Module d'élasticité initial :  $267\,000 \text{ kg/cm}^2$ .

Equation de la première partie de la courbe :  $\times 10^5 = 0,375 \cdot \sigma + 8,5 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma^2$ .

suffit de faire une représentation de la fonction  $f(\sigma)$  en coordonnées logarithmiques pour voir apparaître les coefficients numériques.

Cette représentation, quoique généralement adoptée, ne nous satisfait pas car elle n'est sans doute pas l'expression de la réalité pour de très petites charges, dans le voisinage de l'origine. En effet, elle donne pour  $\sigma = 0$  un module d'élasticité initial  $E_i$  infini, ou nul, suivant la valeur de  $b$ , ce qui est sans doute incorrect.

Nous préférons donc, pour éviter cette incorrection, avoir recours à une représentation par un polynôme, de la forme :

$$\varepsilon = a \cdot \sigma + b \cdot \sigma^2 + c \cdot \sigma^3 + \dots \quad (12)$$

où  $a, b, c \dots$  sont des constantes.

D'habitude, cela suffit amplement de calculer avec les deux premiers termes de la série, et dans ce cas, la détermination des coefficients  $a$  et  $b$  se fait sans peine.

Cette représentation (12) a l'avantage de mettre nettement en évidence le terme linéaire de la fonction.

Quant à représenter analytiquement une fonction ayant l'allure de celle de la figure 5, nous y renonçons car cela conduit à des difficultés analytiques rebutantes.

On trouve dans les différents ouvrages, notamment dans ceux de M. C. Bach, une série d'équations telles que (11) se rapportant à des bétons de différentes nuances. La difficulté pour le constructeur est maintenant de faire un choix d'une fonction concordant aussi exactement que possible avec le béton qui composera l'ouvrage que l'on se propose de calculer. Nous allons voir que cette question n'est pas aisée à résoudre.

#### Choix d'un module d'élasticité initial.

Bon gré, mal gré, le constructeur appelé à faire le calcul d'un édifice en béton devra choisir un module d'élasticité qu'il mettra à la base de ses calculs. Qu'il s'agisse du module initial, ou du module tangentiel ou d'un autre module, la question reste la même. La difficulté est de prévoir convenablement le caractère de la loi  $\varepsilon = f(\sigma)$  définissant l'élasticité du béton que l'on se propose d'utiliser. Faute de mieux, il faudra s'inspirer des ouvrages précités et choisir le module d'un béton se rapprochant le plus de celui que l'on a en vue, mais étant donné les aléas que présente cette méthode, le mieux se

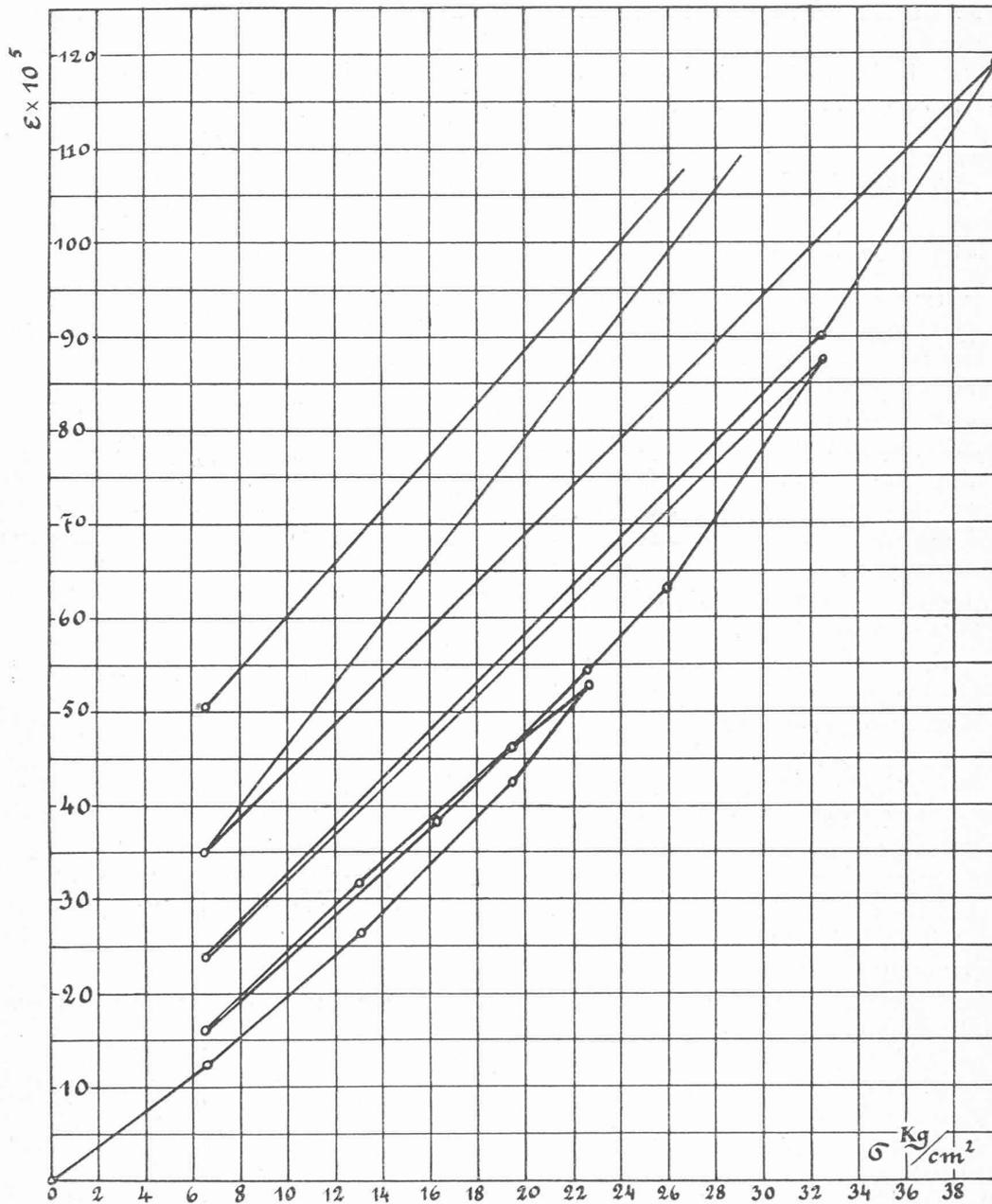


Fig. 7. — Détermination des déformations d'un prisme en béton spécial léger, sollicité à la compression.  
Dimensions :  $12 \times 12 \times 36$  cm. — Poids spécifique (à l'état humide) :  $1,49 \text{ kg/dm}^3$ . —  
Résistance à la compression :  $71 \text{ kg/cm}^2$ . — Module d'élasticité initial :  $54\,000 \text{ kg/cm}^2$ .

rait incontestablement de procéder à des déterminations directes sur des échantillons du béton que l'on utilisera.

*Travaux de MM. Schule, Stanton Walker et Graf.*

(Voir l'index bibliographique à la fin de cette note.) L'élasticité d'un béton est assez bien caractérisée par le module d'élasticité initial. On a donc cherché s'il n'existait pas une relation entre ce module et la résistance à la compression. Les travaux de M. Schule dans ce sens sont classiques. M. Schule, en opérant sur des prismes de  $12 \times 12 \times 36$  cm. a trouvé que le dit module initial  $E_i$ ,

en  $\text{kg/cm}^2$ , était lié à la résistance à la compression du béton  $K$ , en  $\text{kg/cm}^2$ , par la formule :

$$E_i = 1000 \frac{K^2 - 25,16K + 50,38}{0,001646K^2 + 0,224K + 7,65} \quad (13)$$

$$\text{ou bien } E_i = 1000 \frac{(K - 25)}{0,0016 \cdot K + 0,25} \quad (14)$$

M. O. Graf, de son côté, trouve comme relation entre  $E_i$  et  $K$

$$E_i = \frac{1.000.000}{1,7 + \frac{1}{K} \cdot 300} \quad (15)$$

La formule de M. Graf confirme parfaitement la seconde formule de M. Schule.

Enfin, M. *Stanton Walker*, après avoir opéré sur des cylindres de  $15,2 \times 30,5$  cm. a donné, entre autres, les relations suivantes :

$$E_i = 33\,000K^{\frac{2}{3}} \quad (E_i \text{ et } K \text{ en livres anglaises} \quad (16) \\ \text{par pouce carré})$$

$$\text{soit } E_i = 12\,200K^{\frac{2}{3}} \quad (E_i \text{ et } K \text{ en kg/cm}^2) \quad (17)$$

M. Graf, dans la revue *Beton und Eisen*, N° 1 du 5 janvier 1923 donne une représentation de ces différentes formules et en montre la concordance entre elles. (Disons en passant que nous n'arrivons pas à retrouver les constantes données par M. Graf en transformant en mesures métriques les équations de M. Walker établies en mesures anglaises. Pour l'équation  $E_i = 33\,000K^{\frac{2}{3}}$  en mesures anglaises nous trouvons  $E_i = 12\,200K^{\frac{2}{3}}$  en mesures métriques et non pas  $E_i = 11\,286 K^{\frac{2}{3}}$ ; pour l'équation  $E_{25\%} = 66\,000K^{\frac{1}{2}}$  en mesures anglaises, nous trouvons  $E_{25\%} = 17\,500K^{\frac{1}{2}}$  en mesures métriques et non pas  $E_{25\%} = 22\,572K^{\frac{1}{2}}$ . Nous n'avons pas encore pu trouver jusqu'à maintenant la raison de cette divergence. Dans tous les cas, nous trouvons tout à fait exagéré de pousser la précision apparente, ainsi que le fait M. Graf, jusqu'à écrire le cinquième chiffre significatif d'un coefficient aussi mal déterminé que celui des équations précédentes. Disons encore que l'on ne peut pas déduire sans ambiguïté de la note de M. Graf les dimensions des corps sur lesquels il a opéré, ce qui est important à connaître).

L'étude de la note de M. Graf est des plus intéressante, notamment la figure illustrant cette note. On voit nettement se dessiner la courbe moyenne représentée par l'équation (15) mais ce qui frappe également, ce sont les écarts considérables, de 20 à 30 %, entre les valeurs ayant servi à déterminer la courbe moyenne. Ces grands écarts suffisent à prouver que le dernier mot n'est pas encore dit au sujet de cette courbe moyenne. Ce qui s'impose notamment, c'est de reprendre la question en s'efforçant de réaliser des bétons dans des conditions aussi bien définies que possible, afin de réduire dans la mesure du possible lesdits écarts.

Ladite loi, dans tous les cas, peut rendre de grands services. Elle permet d'estimer rapidement le module d'élasticité initial d'un béton lorsqu'on en connaît la résistance à la compression, mais en veillant bien à ne pas commettre de confusion entre les résistances déterminées en opérant sur des prismes ou celles que l'on déduit d'essais avec des cubes.

#### Conclusions.

Dans ce qui précède, nous avons montré qu'au sujet du module d'élasticité du béton, le constructeur se trouvait en présence d'une double difficulté, à savoir :

1° La difficulté de définir, pour du béton, un module d'élasticité moyen, même si la fonction élastique  $\varepsilon = f(\sigma)$  est connue expérimentalement.

2° La difficulté de dire quelle est la fonction  $\varepsilon = f(\sigma)$  à laquelle obéit un béton.

La détermination expérimentale de la loi  $\varepsilon = f(\sigma)$  se faisant aisément, le mieux est d'avoir recours à des observations directes toutes les fois que l'on aura à faire l'étude de constructions un peu importantes.

Dans cette note, nous n'avons rien dit des phénomènes thermiques qui accompagnent les déformations des échantillons et qui jouent par conséquent un rôle dans la détermination de la fonction élastique. Nous comptons étudier cette question dans une prochaine note.

#### INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- BACH, C. « *Elastizität und Festigkeit* ». Huitième édition.  
 STANTON WALKER. « *Modulus of Elasticity of Concrete.* »  
 Structural Materials Research Laboratory Lewis Institute  
 Chicago. Bulletin N° 5.  
 GRAF, O. « *Beziehung zwischen Druckfestigkeit und Druckelastizität des Betons bei zulässiger Anstrengung desselben.* »  
 — *Beton und Eisen* 1923, Heft 1.  
 SCHULE, F. « *Relation entre la résistance et l'élasticité du béton à la compression.* » Rapport présenté au VI<sup>e</sup> Congrès de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, à New-York, 1912. — *Schweiz. Bauzeitung* Bd. 77 (1921) S. 115.

*Réd.* — On lira aussi avec fruit les chapitres que M. H. Bouasse a consacrés, dans son ouvrage<sup>1</sup>, paru en 1905, sous le titre « *Résistance des matériaux* » (Notions fondamentales relatives aux déformations élastiques et permanentes), à la détermination des modules d'élasticité, notamment par la méthode des cycles.

#### Barrages-poids de grande hauteur.

Le volume N° VI de 1923 des *Annales des Ponts et Chaussées*, qui vient de paraître, contient le rapport in extenso de la Commission chargée par le ministre français des Travaux publics de l'élaboration d'une « *Méthode à suivre dans l'étude et l'exécution des barrages-réservoirs de grande hauteur* ». Ce remarquable mémoire, de 60 pages, dont nous avons publié un résumé dans notre numéro du 24 novembre dernier, est divisé en cinq chapitres dont voici les titres : I. Exposé. — II. Historique. — III. Dispositions générales des barrages-poids en plan et en profil. — IV. Résistance et stabilité des barrages-poids. (Nous avons vu avec plaisir que la Commission rend hommage « à l'étude complète, entreprise par le professeur Joye, de l'Université de Fribourg, sur le barrage de la Jogne » et publiée dans les N°s 13, 14, 16, 18 et 19 du *Bulletin technique* de 1922). — V. Exécution. — ANNEXE : Calcul pour un barrage à profil triangulaire d'après la méthode donnée par M. Pigeaud, inspecteur général des Ponts et Chaussées dans son cours à l'École des Ponts et Chaussées et dans son ouvrage : « *Résistance des matériaux et élasticité* », avec deux épures représentant les courbes d'égal compression maximum et d'égal cisaillement effectif maximum pour un réservoir plein et le même réservoir vide.

<sup>1</sup> Editeurs : Gauthier-Villars, à Paris. — Gratiot et Rey, à Grenoble.