

Zeitschrift:	Bulletin technique de la Suisse romande
Band:	54 (1928)
Heft:	3
Artikel:	Examen des résultats de l'épreuve du Réservoir de douze mille mètres cubes au Calvaire sur Lausanne: essai de charge par remplissage unilatéral
Autor:	Paris, A.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-41848

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: 26.01.2026

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

plièrement différente dans laquelle on a largement tenu compte des progrès réalisés dans les véhicules automobiles. En France la « C^{ie} des transports en commun de la région parisienne » a étudié et construit un système de ce genre appliqué actuellement à plus de 400 automotrices à deux essieux. En Suisse, après quelques essais de dispositifs divers, les Tramways de Zurich, ont récemment passé commande aux « Ateliers de Sécheron », d'une série importante de moteurs d'un nouveau type étudié par cette Société et représenté par la fig. 5 ; ce système a été adopté également par les Tramways de Saarbrücken, et, à titre d'essai, par ceux de Bâle.

La fig. 5 permet de se rendre compte des caractéristiques de cette nouvelle disposition¹ ; le moteur dont l'axe est parallèle à celui du véhicule attaque un arbre intermédiaire par une couple d'engrenages coniques et un accouplement élastique destiné à réduire l'intensité des chocs sur le rotor ; cet arbre, à son tour, transmet la puissance du moteur aux roues par un engrenage cylindrique.

Quant au moteur, il est du type série habituel, à quatre pôles, ventilé ; la ventilation est possible dans ce cas, par suite de la réduction des dimensions du moteur qui permet d'utiliser des filtres à air, ce qui n'était pas possible avec les anciens moteurs du type « tramways », beaucoup plus larges.

Le tableau suivant donne la puissance et le poids des anciens et des nouveaux moteurs :

	Moteurs type « Tramway » hermétiquement clos	Moteurs type « Sécheron » ventilés
Puissance unihoraire ..	50 ch	65 ch
Vitesse correspondante	18 km/h	18 km/h
Puissance continue ..	25 ch	50 ch
Poids, y compris engrenages et carter	1000 kg	800 kg

Autrement dit, alors que la puissance continue des nouveaux moteurs a doublé par rapport à celle des anciens, leur poids a été réduit de 20 %.

Ce système, qui permet l'emploi de roues motrices de petit diamètre (550 mm), donc de voitures à plate-forme très surbaissée, est certainement appelé à un grand développement. (A suivre.)

¹ Cette disposition est brevetée dans la plupart des pays industriels.

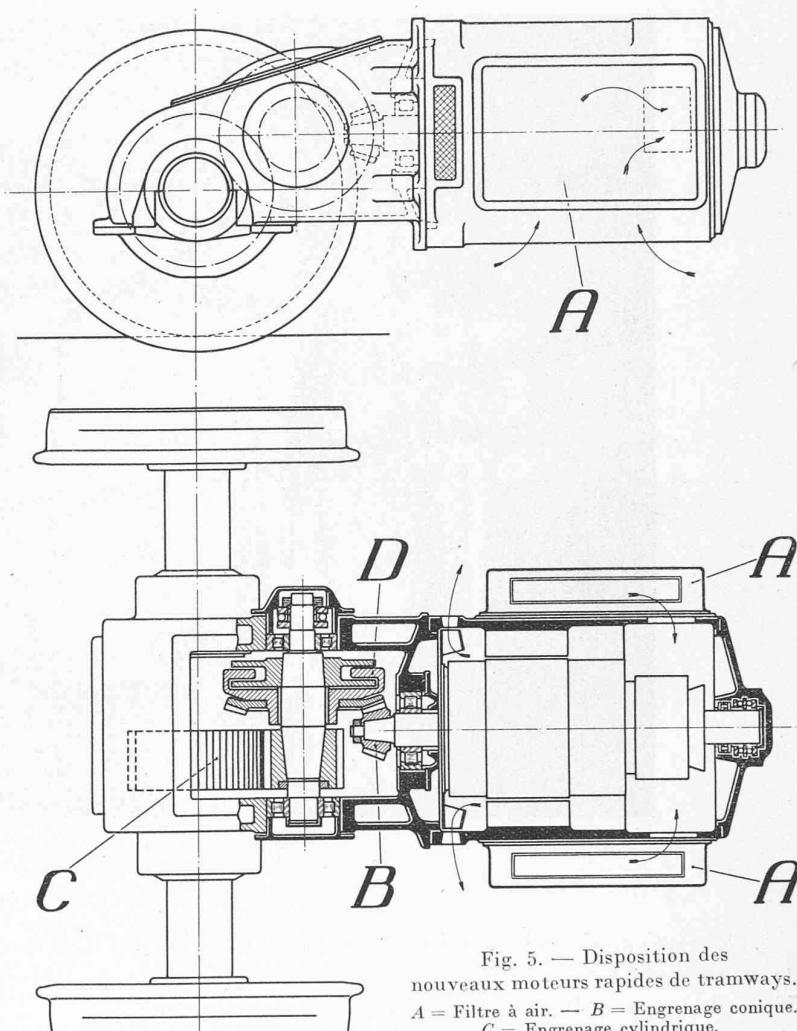


Fig. 5. — Disposition des nouveaux moteurs rapides de tramways.
 A = Filtre à air. — B = Engrenage conique.
 C = Engrenage cylindrique.
 D = Accouplement élastique.

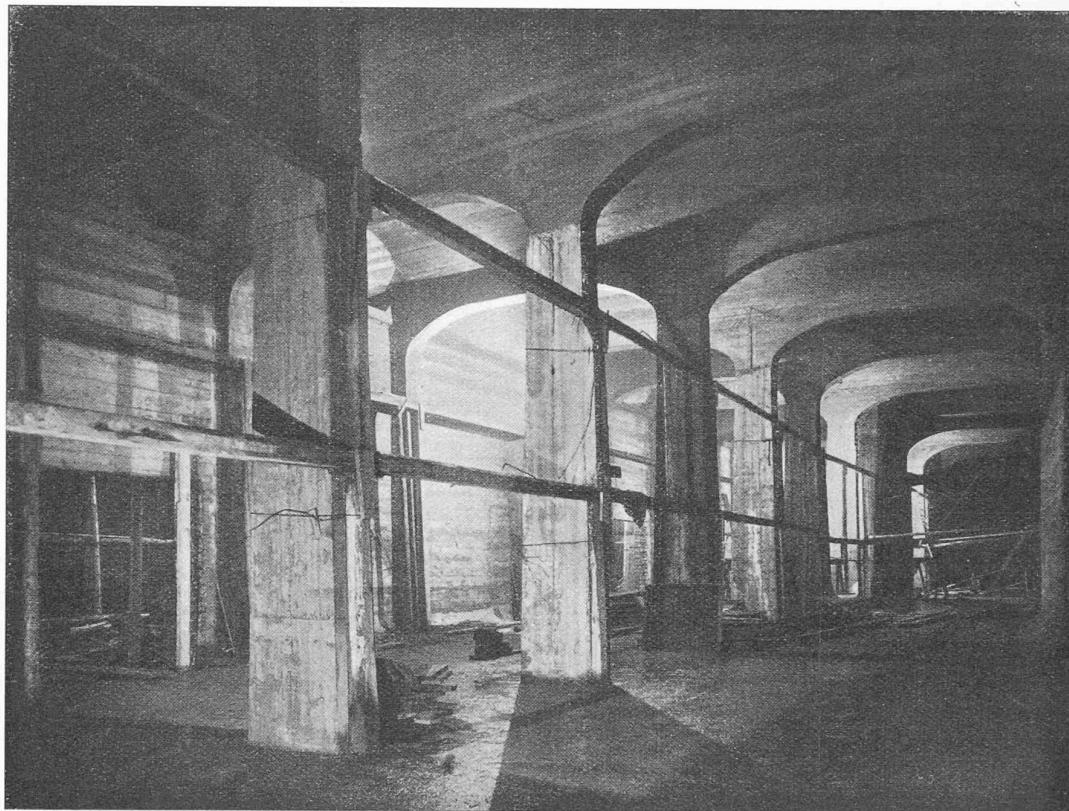
Examen des résultats de l'épreuve du Réservoir de douze mille mètres cubes au Calvaire sur Lausanne. Essai de charge par remplissage unilatéral.

*Rapport concernant les opérations
dirigées par le Groupe professionnel du béton dans la
Société suisse des Ingénieurs et des Architectes,
sur demande de la Ville de Lausanne, au printemps 1924*

par A. PARIS, ingénieur,
professeur à l'Université de Lausanne.

I. Introduction.

La Ville de Lausanne, d'une population de 80 000 habitants environ, possède actuellement des réservoirs d'eau de source potable répartis sur les points principaux de son territoire ; leur fonctionnement solidaire est réglé par le plus grand d'entre eux, le réservoir supérieur du Calvaire, d'une contenance totale de 12 000 m³ ; les autres réservoirs font ensemble plus de 10 000 m³ supplémentaires.



Vue de l'intérieur du réservoir du Calvaire.

1. Description. Creusée à mi-hauteur dans le rocher de molasse, la fouille rectangulaire irrégulière (fig. 3) 58 m. de long sur 40 m. de large environ. Cet espace se répartit entre le bâtiment des vannes et les trois chambres d'eau, contenant 4000 m³ chacune ; ces chambres ont un service indépendant et sont séparées entre elles par deux longues parois droites qui ont à résister à la charge d'eau unilatérale de 6 m. de part ou d'autre, suivant le cas de remplissage. Ces parois, en béton armé, sont divisées en panneaux rectangulaires normaux de 4,27 m. de largeur entre piliers, et terminées au nord par un grand panneau carré à angle extérieur arrondi ; l'épaisseur des parois est de 30 cm. en bas et de 15 cm. en haut.

L'ensemble des cuves est couvert par une série de douze voûtes continues (fig. 1), dont les extrêmes retombent sur l'arête du rocher, tandis que les intermédiaires ont la portée normale de 4,27 m. Leurs sommiers transversaux d'appui étayent en haut les piliers de retenue des parois, sollicitées par la poussée unilatérale de l'eau.

L'ouvrage émane des organes suivants :

Direction des travaux : Services industriels de la Ville.

Projet d'exécution : M. A. Paris, ingénieur-conseil.

Entrepreneur : M. Jean Zolla, Lausanne.

Direction des essais : M. F. Hübner, ingénieur du Contrôle fédéral des ponts, à Berne.

Rapporteur de la Commission : M. A. Paris, ingénieur, professeur à l'Université de Lausanne.

Les épreuves de réception ont été suivies par M. Chastellain, ingénieur des eaux de la Ville, M. Meylan, ingénieur-adjoint, M. le Dr M. Paschoud, ingénieur, professeur à l'Université, MM. le Dr A. Dumas, directeur du laboratoire d'essai de Lausanne, Lacroix et prof. Dr Stucky, ingénieurs, membres de la Commission.

La Ville de Lausanne a participé au budget par une subvention de mille francs et a gardé les frais de pose des échafaudages ; le Groupe du béton S. I. A. a versé 4825 fr., inclus le prix du bâti métallique.

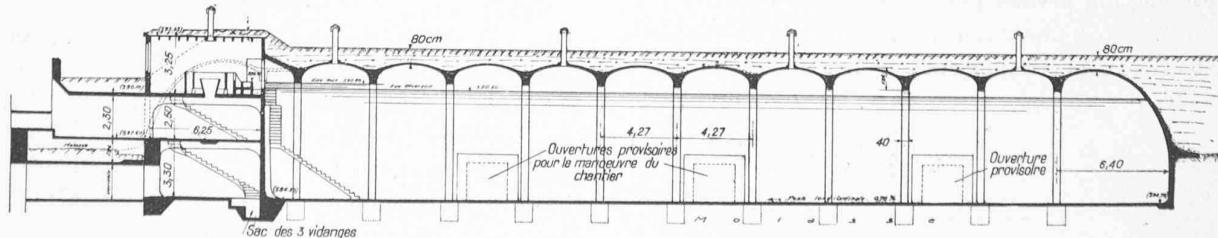


Fig. 1. — Coupe en long suivant l'axe du réservoir (Chambre médiane). — 1 : 400.

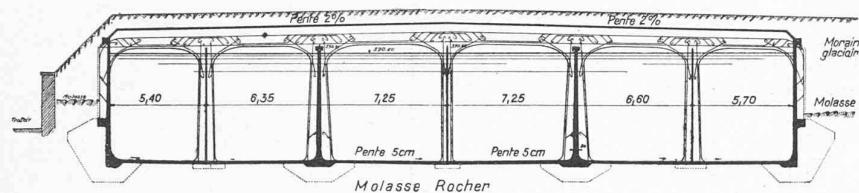


Fig. 2. — Coupe transversale au faîte d'une voûte. — 1 : 400.

2. *Essais.* Le premier remplissage des deux chambres extérieures, orientale d'abord puis occidentale, a eu lieu les 2 et 16 mai 1924, et les vidages correspondants les 5 et 18 mai. La mise en eau s'est faite par étapes, avec lectures sous 2 m., 3 m., 4 m., 5 m., 5,5 m. et 6 m. d'eau, puis, au vidage, sous 6 et 3 m. (fig. 4). Les appareils de mesure auscultaitent le grand panneau nord au premier essai, et un panneau normal lors du remplissage occidental côté Vallon.

L'épreuve a été surveillée par une importante collection d'appareils de précision, fleximètres et clinomètres Stoppani, obligamment prêtés par le Département fédéral des chemins de fer, la Direction générale des chemins de fer fédéraux, l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne, le Groupe professionnel du béton S. I. A., et quelques membres isolés.

Les vingt fleximètres assuraient la lecture du centième de millimètre, avec évaluation possible au delà ; ils étaient fixés à un bâti métallique, libre de tout contact avec les opérateurs.

Les sept clinomètres donnent en moyenne 1,18 seconde

d'arc par unité de lecture au tambour ; ils étaient posés sur les bases des piliers (fig. 5) et sur la margelle supérieure d'appui du panneau. L'angle de 1,18 seconde correspond à une tangente trigonométrique de $5,721 \times 10^{-6}$. L'amplification du dessin, indiquée ci-après par 2000, le fait correspondre à une pente de 1,144 centimètre par mètre, c'est-à-dire à une valeur forte déjà en regard de la sensibilité des fleximètres.

Posé à même le sol bétonné sur la haute pente du réservoir, pour l'examen du premier panneau, le bâti était trop court d'une vingtaine de centimètres devant le panneau normal qui nous occupe particulièrement ici ; il a fallu le caler sur des madriers, et M. Hübner a posé deux clinomètres sur ses traverses inférieures pour surveiller les effets du gonflement par l'humidité atmosphérique intense. La correction a été introduite par rectification de chaque lecture, suivant le schéma figure 6. Les diagrammes de déformation, dont la fig. 7 donne un échantillon, montrent que la continuité du mouvement n'a pas été altérée ; l'uniformité des surfaces élastiques complète cette image.

3. *But poursuivi.* Les essais tendaient en premier lieu à fournir la preuve du bon fonctionnement de l'ouvrage en service unilatéral ; les constatations se faisaient par stationnement dans la chambre médiane, restée vide pendant le remplissage et le vidage des deux chambres contiguës.

Mais les recherches devaient se compléter par l'étude

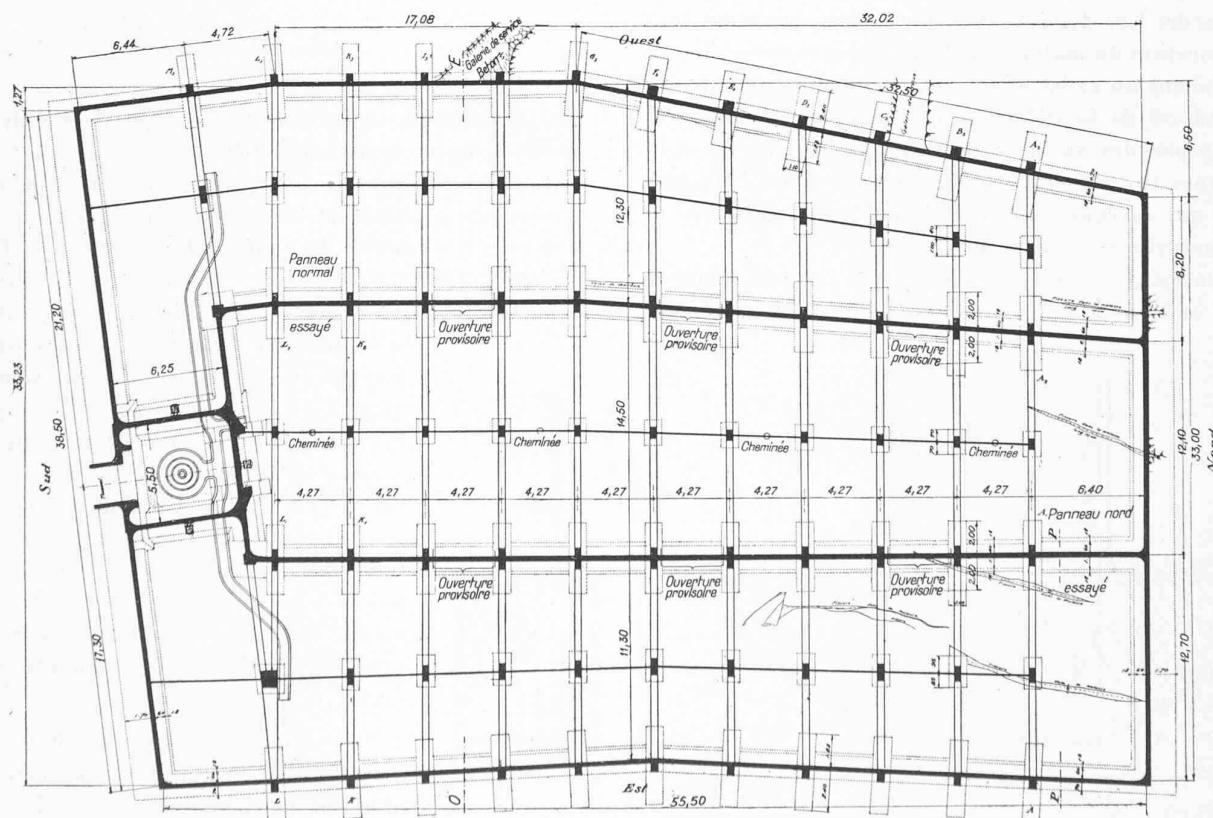
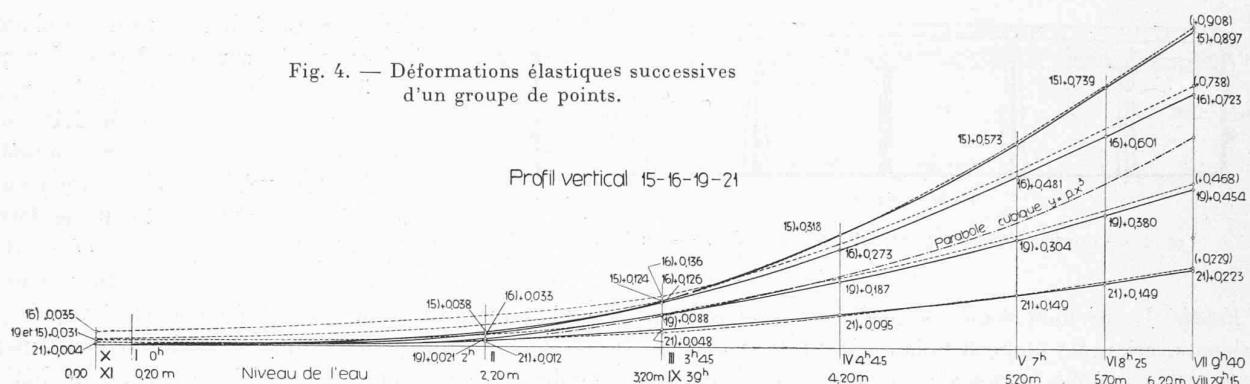


Fig. 3. — Plan du réservoir de 12 000 m³. — 1: 400.

Fig. 4. — Déformations élastiques successives d'un groupe de points.



théorique de la nature du travail intérieur, et mettre en lumière :

- a) la stabilité des parois fléchies,
 - b) l'amplitude de ses déformations et leur retour à zéro,
 - c) les tensions intérieures révélées par l'auscultation,
 - d) la comparaison entre les résultats des méthodes de calcul usuelles et ceux fournis par l'auscultation.

La mesure directe des tensions se fait normalement par l'extensomètre type *Ockhuysen*; elle conduit à des résultats irréfutables, mais n'est que difficilement réalisable dans certains cas. Elle n'a pu avoir lieu au Calvaire, vu les conditions de pose, d'humidité et de durée, qui rendaient l'auscultation très délicate. Il ne pouvait dès lors être question que de mesures de déformation par flèches et inclinaisons.

La grandeur des pièces à ausculter et la netteté de leur charge hydrostatique demandaient une exactitude du même ordre lors des épreuves de réception, comme dans la préparation du matériel d'étude. Les conditions d'essai empêchaient un exact alignement des points de mesure ; les résultats de la déformation élastique ont alors été traduits par des surfaces topographiques (fig. 9), dont les coupes droites orthogonales ont servi de base aux études qui suivent. L'élasticité des piliers latéraux et de la margelle s'y reflète nettement.

4. *Constatations.* L'encastrement de la paroi sur le sol de molasse a été assuré par le fort empattement

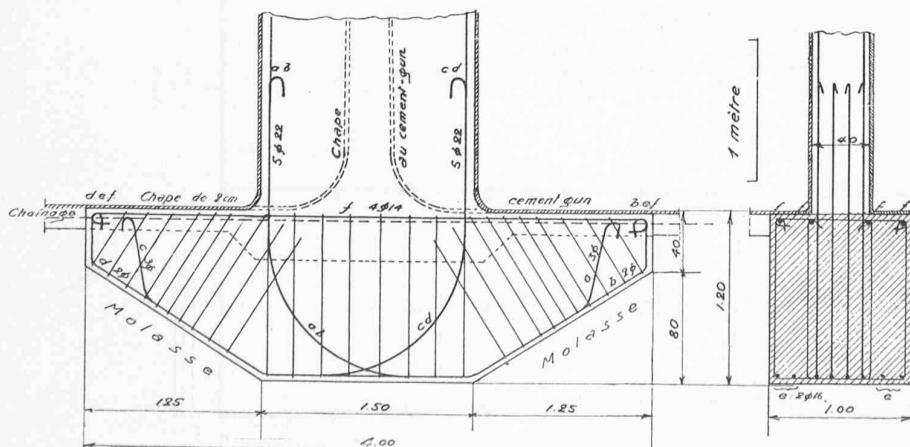


Fig. 5. — Détails de fondements, Piliers et parois. — 1 : 50.

chargé de la colonne d'eau ; il l'a été au point que les clinomètres, posés sur les bases des piliers d'appui, ont décelé un léger déversement élastique vers l'arrière (fig. 7 et 8), à l'inverse de ce que la poussée faisait prévoir. C'était un rappel de l'importance que prend, dans

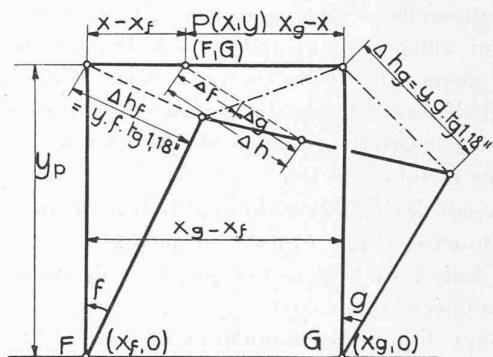


Fig. 6. — Influence de l'humidité sur les mesures.
Schéma de correction.

un tel ouvrage, la netteté des surfaces de fouille et le contact intime entre sol et béton.

La flèche maximum, d'un millimètre environ, et son retour presque complet à zéro, ont témoigné de la bonne cohésion d'un béton de qualité ($E = 280\,000$ à $320\,000$ kg/cm^2), avec des armatures soigneusement continues, réparties et étrésillonnées. Les deux piliers latéraux

épaisseur. Les deux panneaux latéraux et surtout la margelle supérieure ont pris leur bonne part des déformations, un quart à un tiers de l'amplitude maximum. Les panneaux se sont donc comportés comme un intermédiaire entre la plaque sur appuis rigides et la dalle champignon, ce dont font foi les lignes de niveau de la surface topographique (fig. 9) ; ce fait explique pour une bonne part certaines divergences entre les résultats d'essai et les courbes théoriques de moments fléchissants.

5. *Qualité du béton.* Le béton mis en œuvre était fabriqué dans une bétonnière munie d'une benne divisée en deux compartiments, pour le mesurage du sable et

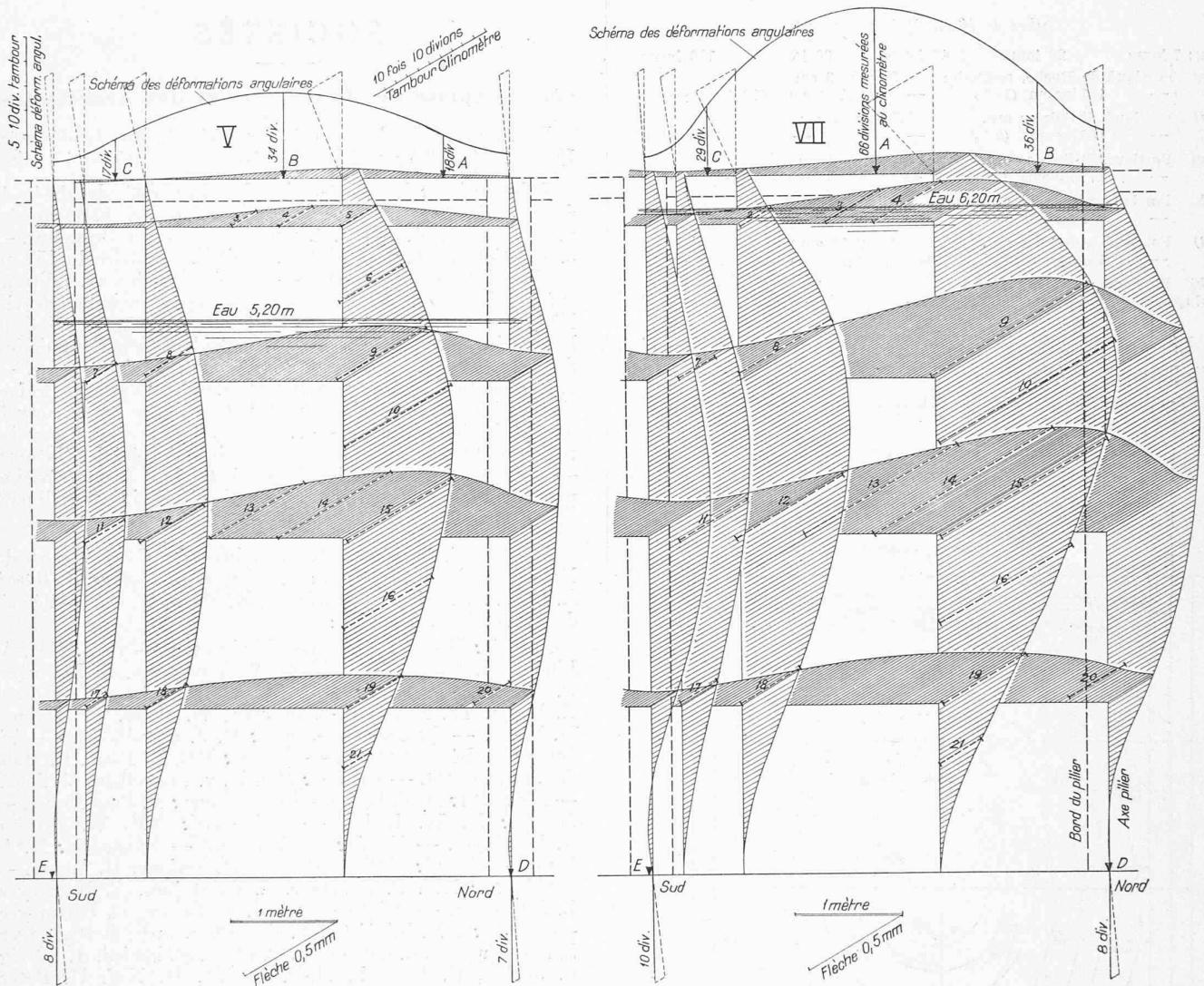


Fig. 7 et 8. — Perspectives de la paroi en charge partielle et totale.

du gravier. Il contenait, par mètre cube fini, 350 litres de sable et 800 litres de gravier de la Dranse, pour 350 kg. de ciment portland artificiel des usines de Saint-Sulpice et de Roche.

Sa qualité a été constamment surveillée. Les éprouvettes, prismes et cubes, ont été essayés au Laboratoire de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne, après durcissement dans le sable humide. La plasticité du béton avait été notée au chantier par mesure du «slump» ou affaissement d'un tronc de cône de béton frais de 20 cm. de diamètre inférieur sur 30 cm. de hauteur, moulé dans une forme en tôle sans fond, et libéré de son moule après trois minutes de tassement au repos ; ce moyen n'a évidemment pas la prétention de la table à secousses, mais il se prête incomparablement mieux à l'usage du chantier.

Les résultats d'essai ci-après, qui se rapportent aux seuls bétons des parois intéressées, montrent l'influence combinée du slump, de l'âge et du ciment lui-même ; le slump le plus recommandable pour ce travail délicat semble se tenir entre 4 et 8 cm., car il assure une bonne

plasticité et une liaison solide constatée par la flexion des prismes, en même temps qu'une sûre résistance à l'écrasement. Les chiffres indiqués sont des moyennes de trois éprouvettes, et le plus grand écart est donné en % (entre parenthèses). Les coupons des prismes fléchis étaient essayés à l'écrasement ; le premier chiffre concerne alors l'écrasement parallèle au sens de damage, et le second le sens perpendiculaire.

Prismes fléchis (et coupons écrasés)

a)	Ciment de St-Sulpice (portland ordinaire). Slump 2 cm			
7 jours	Flexion	16,6 kg/cm ² (8 %)	Ecrasement	148 et 152 kg/cm ²
28 »	id.	21,1 » (14 %)	id.	212 et 220 »
b)	Ciment de St-Sulpice (ord.) Slump 8 cm			
7 jours	Flexion	—	Ecrasement	—
28 »	id.	21,0 kg/cm ² (10 %)	id.	197 et 192 »
120 »	id.	29,1 » (4 %)	id.	248 et 232 »
c)	Ciment de St-Sulpice (ord.) Slump 12 cm			
28 jours	Flexion	—	Ecrasement	—
2 mois	id.	23,7 kg/cm ² (6 %)	id.	200 et 203 »
7 »	id.	26,3 » (4 %)	id.	204 et 210 »
d)	Ciment portland spécial de Roche. Slump 6 cm			
7 jours	Flexion	20,5 kg/cm ² (7 %)	Ecrasement	182 et 171 »
28 »	id.	26,9 » (8 %)	id.	211 et 200 »

Cubes de 16 cm à l'écrasement

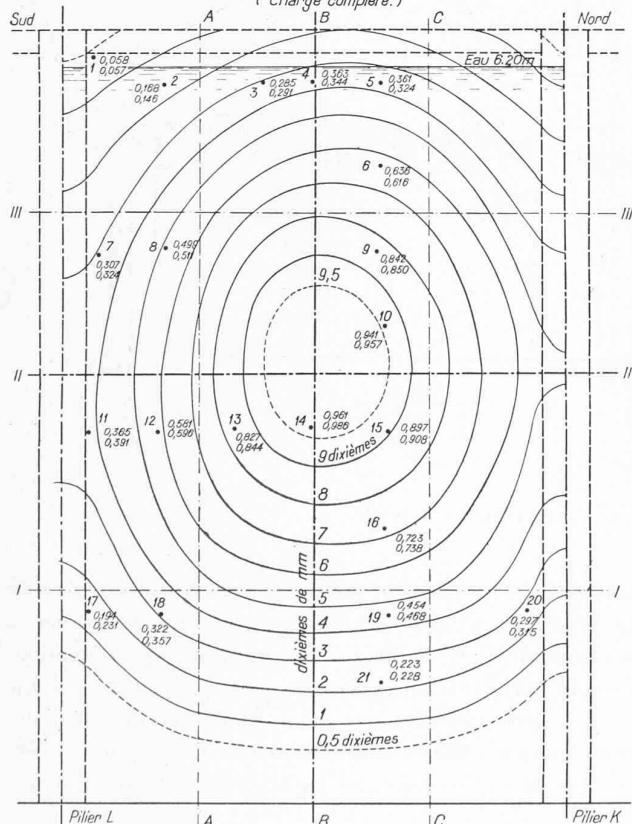
Dates :	7 jours	28 jours	45 jours	60 jours	120 jours
e)	Portland de Roche, ordinaire		Slump 3 cm		
	— 181 kg/cm ² (13 %)		— 211 kg/cm ² (1 %)		
f)	Portland St-Sulpice ord.		Slump 6 cm		
	— 185 kg/cm ² (9 %)		— 231 kg/cm ² (3 %)		
g)	Portland St-Sulpice ord.		Slump 8 cm		
	— 177 kg/cm ² (3 %)		— 193 kg/cm ² (14 %)		
h)	Portland St-Sulpice ord.		Slump 12 cm		
	— 157 kg/cm ² (1 %)		— 178 kg/cm ² (11 %)		
i)	Portland St-Sulpice ord.		Slump 12 cm		
	— 144 kg/cm ² (11 %)	138 kg/cm ² (13 %)	—		
k)	Portland spécial de Roche				
	157 kg/cm ² (6 %)	253 kg/cm ² (5 %)	—	—	—

Le sens de damage du béton ne semble pas avoir eu d'influence constante sur la résistance. Par contre, les différences de mouillage (slump) ont réagi nettement

Relief VII-VIII

Lignes d'égal déplacement horizontal
par dixièmes de mm de flèche

(Charge complète.)



Pour chaque position d'observation, le premier chiffre indique la flèche mesurée à la fin de l'essai, le second celle mesurée 20 heures plus tard.

Fig. 9.

Surface topographique issue des mesures de déformation.

sur la compacité et l'écrasement, moins sur la flexion ; c'est assez naturel. Le module d'élasticité va plutôt de pair avec la compacité, mais ses nuances se sont fondues dans l'épreuve d'ensemble des parois fléchies.

(A suivre.)

SOCIÉTÉS

Société suisse des Ingénieurs et des Architectes.

Procès-verbal de l'Assemblée des délégués, du 17 décembre 1927, à 15 h., à l'Aula de l'Ecole polytechnique fédérale, à Zurich.

Ordre du jour : 1. Procès-verbal de l'Assemblée des délégués du 28 août 1926, à Bâle. (Bulletin technique, 52^{me} année, p. 284, 295, 311.) — 2. Communications du Président. — 3. Elections au Comité central. (Voir la circulaire du 15 septembre 1927 aux Sections.) — 4. Révision des « Conditions spéciales et mode de méttrage des travaux en béton armé » N° 120. — 5. Contrat avec Orell Füssli concernant la « Maison bourgeoise en Suisse » ; rapport du président de la Commission de la Maison bourgeoise sur la situation de l'entreprise. — 6. Augmentation à sept membres du Comité du groupe professionnel des ingénieurs s'occupant de travaux en béton, actuellement de cinq membres. — 7. Motion de la Section genevoise concernant le concours pour le palais de la Société des Nations. — 8. Motion de la Section bernoise tendant à une révision partielle de ses statuts. — 9. Propositions individuelles, divers.

Assistant à la séance les membres du Comité central : MM. C. Andreeae, président ; P. Vischer, L. Mathys, J. Büchi, R. Dubs, A. Paris et le secrétaire M. Zschokke, et 55 délégués de 17 Sections, à savoir :

Argovie : MM. K. Ramseyer, H. Herzog. — Bâle : MM. A. Linder, H. Baur, O.-F. Ebbell, W. Faucherre, C. Leisinger, O. Ziegler. — Berne : MM. W. Hünerwadel, K. Kobelt, E. Meyer, Th. Nager, E.-J. Propper, W. Rieser, Fr. Steiner, H. Weiss. — La Chaux-de-Fonds : M. J. Crivelli fils. — Fribourg : M. Léon Hertling. — Genève : MM. E. Fatio, R. Mailhart, Ch. Petitat. — Grisons : MM. H. v. Guggelberg, J. Solcà. — Neuchâtel : M. E. Boitel. — Schaffhouse : M. Paul Meyer. — Soleure : M. W. Luder. — Saint-Gall : MM. W. Grimm, A. Leuzinger. — Tessin : M. L. Rusca. — Thurgovie : M. A. Rimli. — Vaud : MM. A. Dumas, H. Dufour, H. Meyer. — Waldstätte : MM. P. Beutner, C. Griot jun., A. Ramseyer, L. Schwegler. — Winterthur : MM. H. Brown, R. Rittmeyer. — Zurich : MM. W. Trüb, F. Baeschlin, J.-B. Bertschinger, S. Bertschmann, C. Cattani, E. Diserens, M. Hæfeli, A. Hässig, C. Jegher, G. Korrodi, M.-P. Misslin, H. Næf, H. Peter, W. Sattler, W. Wachs, H. Weideli.

Présidence : M. le prof. C. Andreeae, président.

Procès-verbal : M. M. Zschokke, ing., secrétaire.

Le Président ouvre la séance à 15 h. précises, salue les membres présents et passe à l'ordre du jour.

1. Procès-verbal de l'Assemblée des délégués du 28 août 1926, à Bâle. Il est adopté avec remerciements.

2. Communications présidentielles.

Le temps disponible étant court, le président sera bref, mais il désire pourtant orienter l'assemblée sur une question qui occupe le Comité central depuis quelque temps.

L'orateur rappelle que, depuis la guerre, les possibilités d'engagement des Suisses à l'étranger ont beaucoup diminué. Néanmoins, de nombreux emprunts extérieurs ont été contractés en Suisse ces derniers temps ; le C. C. s'est demandé s'il ne serait pas possible, lors de la conclusion de ces emprunts, d'y insérer des conditions favorisant notre industrie et procurant à nos ingénieurs du travail à l'étranger. L'orateur donne alors lecture d'une lettre du 15 novembre 1927, adressée par le Comité central au Président de l'Association suisse des banquiers, à Bâle :

« Nous rapportant à la conversation récente, que notre vice-président, M. P. Vischer-Geigy, architecte, a eue avec vous, nous prenons la liberté d'attirer votre attention sur ce qui suit :

» Les techniciens suisses souffrent vivement du manque de travail depuis la guerre. D'un côté, et pour des raisons connues, la demande a fort diminué dans le pays même. D'autre