

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 53 (1927)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Etudes expérimentales sur des constructions en béton armé  
**Autor:** Guidi, Camille  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-41079>

### **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:** 15.07.2025

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

# BULLETIN TECHNIQUE

Réd.: D<sup>r</sup> H. DEMIERRE, ing.

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN

ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET DE TECHNIQUE URBAINES

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Etudes expérimentales sur des constructions en béton armé*, par le professeur Camille GUIDI, ingénieur. Traduction de M. A. PARIS, ingénieur-conseil, professeur à l'Université de Lausanne (suite et fin). — *Le problème de l'acoustique dans la Grande Salle des Assemblées du Palais de la S. D. N., à Genève.* — *L'aménagement hydro-électrique de Villalba.* — SOCIÉTÉS : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes.* — BIBLIOGRAPHIE. — Service de placement.

## Etudes expérimentales sur des constructions en béton armé

par le Professeur Camille GUIDI, ingénieur.

Traduction de M. A. PARIS, ingénieur-conseil,  
professeur à l'Université de Lausanne.(Suite et fin.)<sup>1</sup>

L'arc circulaire de profil constant simplifie le calcul des déplacements radiaux du centre d'une section quelconque, sous l'influence de la force radiale  $P = 1$ .

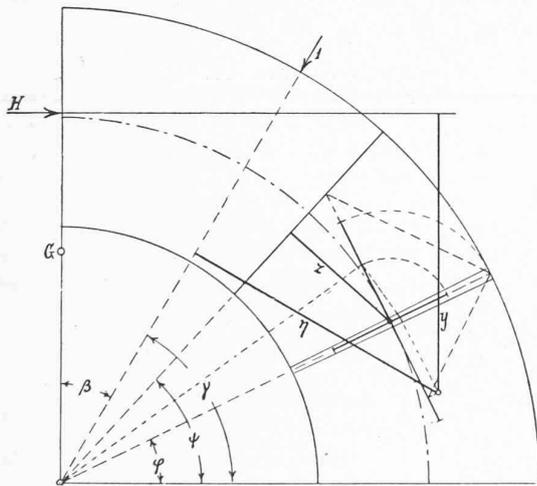


Fig. 13.

Désignons (fig. 13) par  $\gamma$ ,  $\psi$  et  $\varphi$  les angles que font avec la section d'appui la section de charge, la section dont on cherche le déplacement et la section courante. Soient en outre  $z$  la distance du centre de l'élément  $ds$  d'arc à la section dont on cherche le déplacement ;

$y$  la distance de la ligne d'action de  $H$  à l'antipôle de cette section par rapport à l'ellipse d'élasticité de l'élément  $ds$  ;

$\eta$  la distance dudit antipôle à la ligne de charge.

Le déplacement radial  $\delta$  prend alors l'expression

$$(6) \quad \delta = \frac{H}{EJ} \int_0^\psi z \cdot y \cdot ds - \frac{1}{EJ} \int_0^\psi z \cdot \eta \cdot ds$$

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 27 août 1927, p. 201.

la seconde intégrale s'étend de 0 à  $\psi$  quand  $\psi < \gamma$  (fig. 13), et de 0 à  $\gamma$  quand  $\psi > \gamma$  (fig. 14).

Indiquant par  $\rho$  et  $\rho_1$  respectivement les deux demi-axes radial et longitudinal de l'ellipse d'élasticité de l'élément  $ds$ , on a par la figure

$$z = r \sin(\psi - \varphi)$$

$$y = \frac{2r}{\pi} + \frac{\mathcal{O}\pi}{H} - r \sin \varphi + \frac{\rho_1^2}{r \operatorname{tg}(\psi - \varphi)} \cos \varphi - \frac{\rho^2}{r} \sin \varphi$$

$$\eta = r \sin(\gamma - \varphi) + \frac{\rho_1^2}{r \operatorname{tg}(\psi - \varphi)} \cos(\gamma - \varphi) + \frac{\rho^2}{r} \sin(\gamma - \varphi).$$

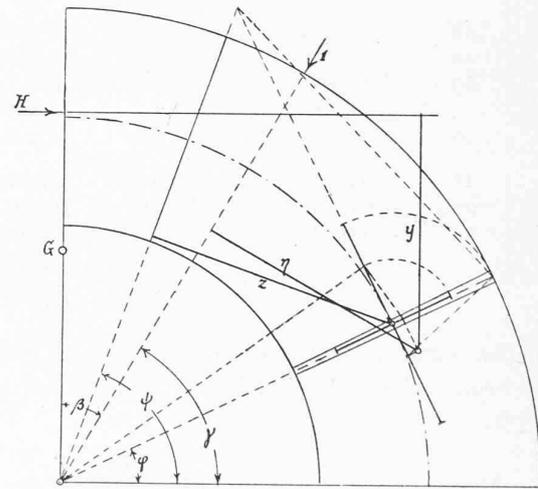


Fig. 14.

Nous substituons ces expressions dans l'équation (6), en notant que

$$\rho^2 = \frac{1}{12} h^2, \quad \rho_1^2 = \frac{1}{4} h^2$$

intégrant ensuite, nous trouvons

$$(7) \quad \delta = \frac{r^3}{2EJ} \left\{ \frac{H}{P} \left[ 2 \left( \frac{2}{\pi} + \frac{\mathcal{O}\pi}{Hr} \right) (1 - \cos \psi) + \left( 1 + \frac{h^2}{3r^2} \right) \psi \cos \psi - \left( 1 - \frac{h^2}{6r^2} \right) \sin \psi \right] - \left( 1 + \frac{h^2}{3r^2} \right) \psi \cos(\gamma - \psi) + \left( 1 - \frac{h^2}{6r^2} \right) \sin \psi \cos \gamma \right\} \quad \text{pour } \psi < \gamma$$

$$(8) \quad \delta = \frac{r^3}{2EJ} \left\{ \frac{H}{P} \left[ 2 \left( \frac{2}{\pi} + \frac{\mathcal{M}\zeta}{Hr} \right) (1 - \cos \psi) + \left( 1 + \frac{h^2}{3r^2} \right) \psi \cos \psi - \left( 1 - \frac{h^2}{6r^2} \right) \sin \psi \right] - \left( 1 + \frac{h^2}{3r^2} \right) \gamma \cos (\gamma - \psi) + \left( 1 - \frac{h^2}{6r^2} \right) \sin \gamma \cos \psi \right\} \quad \text{pour } \psi > \gamma.$$

Les formules<sup>1</sup> (7) et (8) ont permis le calcul du tableau IX qui sert à contrôler les lignes d'influence graphiques des déplacements radiaux des sections B, C, D et V.

La mesure des aires limitées par ces lignes d'influence (fig. 12) se fait en centimètres carrés, de préférence par un planimètre polaire, en tenant compte de la majoration de 40 intervenue au dessin ; les longueurs ont en effet été portées à 1/25, mais les ordonnées sont amplifiées 1000 fois. On obtient alors en centimètres les déplacements des points B, C, D et V, résultant de la pression uniforme d'une atmosphère sur l'extrados de l'anneau considéré, sous réserve de multiplication par le rapport des rayons r<sub>e</sub> de l'extrados et r de l'axe géométrique de l'arc ; ce rapport est ici de r<sub>e</sub> : r = 1,03 ~.

Tableau IX.

γ	ψ	δ	γ	ψ	δ
degrés	degrés	cm	degrés	degrés	cm
18	18	-0,00162	72	18	0,00181
	36	-0,00161		36	0,00295
	45	-0,00087		45	0,00219
	72	0,00181		72	-0,00352
	90	0,00252		90	-0,00490
45	18	-0,00087	90	18	0,00252
	36	-0,00237		36	0,00456
	45	-0,00236		45	0,00383
	72	0,00219		72	-0,00488
	90	0,00383		90	-0,00931

Le déplacement indiqué par la ligne v, peut se vérifier suivant formule 55 de l'opuscule cité, qui devient pour l'arc à plein cintre

$$(9) \quad \Delta f_p = \frac{P}{E} \frac{r}{h} r \left\{ 1 + \frac{1}{6} \left[ \frac{4}{\pi} - \left( 1 - \frac{h^2}{6r^2} \right) \right] \right\}$$

et, avec nos valeurs numériques,

$$\Delta f_p = 0,0577 p = 0,0577 \times 1,03 p_e = 0,0594 p_e \text{ cm.}$$

Le déplacement radial produit en un point quelconque de l'axe géométrique de l'arc par une pression hydrostatique uniforme, se calcule aussi aisément à l'aide de la réaction supplémentaire H<sub>p</sub> (voir opuscule cité) ; il est égal à une somme dont les deux éléments sont, premièrement, le déplacement si le demi-axe était librement glissant à la retombée, et qui s'exprime pour un arc circulaire par

$$\frac{P \cdot r}{E \cdot h} r \cdot (1 - \cos \psi)$$

<sup>1</sup> Les formules (7) et (8) se rapportent seulement à l'arc en plein cintre.

et ensuite celui que provoque la poussée H<sub>p</sub>, exprimé par

$$P \cdot r \cdot \frac{h^2}{6Jr^2} \cdot \frac{1}{E} \sum \frac{\Delta s}{J} \cdot y \cdot d$$

Cette somme est donc

$$(10) \quad \Delta = \frac{P \cdot r}{E} \left\{ \frac{r}{h} (1 - \cos \psi) + \frac{h^2}{6Jr^2} \sum \frac{\Delta s}{J} \cdot y \cdot d \right\}$$

équation dans laquelle nous avons, pour chaque segment d'arc,

y = ordonnée du centre de gravité du segment sur l'axe x passant par le centre élastique de l'arc ;

d = distance de l'antipôle de l'axe x à la ligne de déplacement.

Si l'épaisseur de l'arc varie, on calcule la sommation de cette équation par une méthode graphico-analytique. En cas d'arc circulaire de profil constant, l'intégration devient aisée, comme nous le verrons plus loin ; toutefois, nous ferons d'abord le calcul complet pour suivre sur un exemple la marche indiquée en cas d'arc à section variable.

Divisons dans ce but notre demi-arc en dix segments égaux, comme ci-dessus, et introduisons à l'équation (10) les valeurs numériques connues ; elle devient

$$(11) \quad \Delta = p \{ 0,03015 (1 - \cos \psi) + 0,000\,000\,4371 \sum y \cdot d \}$$

Nous obtenons ainsi le tableau suivant concernant les sections B, C et D.

Tableau X.

Segments	y cm	B		C		D	
		d cm	y d cm <sup>2</sup>	d cm	y d cm <sup>2</sup>	d cm	y d cm <sup>2</sup>
1	150,1	64,2	9636	176,0	26418	248,4	37328
2	108,5	23,0	2495	142,5	15461	230,0	24955
3	68,3			105,4	7200	205,6	14042
4	30,7			68,2	2094	178,8	5489
5	-3,4			-27,0	92	101,5	-345
6	-33,3					99,5	-3313
7	-58,1					61,0	-3544
8	-77,3					20,2	-1561
			12131		51265		73051

d'où résulte

$$\Delta_B = p(0,03015 \times 0,0489 + 0,00530) = 0,00677 p = 0,00697 p_e$$

$$\Delta_C = p(0,03015 \times 0,2929 + 0,02241) = 0,03124 p = 0,03218 p_e$$

$$\Delta_D = p(0,03015 \times 0,6910 + 0,03194) = 0,05277 p = 0,05435 p_e$$

La sommation dans l'équation (10) fait place, en cas d'arc circulaire de profil constant, à la simple intégrale

$$\int z \cdot y \cdot ds$$

où z représente la distance du centre de gravité de l'élément d'arc à la ligne de déplacement, et y celle de l'antipôle de ladite ligne à l'axe x ; la notation usuelle nous donne alors

$$z = r \sin (\psi - \varphi)$$

$$y = \frac{2r}{\pi} - r \sin \varphi + \frac{\rho_1^2}{r \operatorname{tg} (\psi - \varphi)} \cos \varphi - \frac{\rho^2}{r} \sin \varphi$$

et, par conséquent,

$$(12) \int_0^\psi z y ds = \frac{r^3}{2} \left\{ \frac{4}{\pi} (1 - \cos \psi) + \left(1 + \frac{h^2}{3r^2}\right) \psi \cos \psi - \left(1 - \frac{h^2}{6r^2}\right) \sin \psi \right\}$$

et

$$(13) \Delta = \frac{pr^2}{Eh} \left\{ 1 - \cos \psi + \frac{1}{5} \left[ \frac{4}{\pi} (1 - \cos \psi) + \left(1 + \frac{h^2}{3r^2}\right) \psi \cos \psi - \left(1 - \frac{h^2}{6r^2}\right) \sin \psi \right] \right\}$$

Les valeurs numériques donnent, dans notre cas,

$$(14) \Delta = 0,03015 \{ 1 - \cos \psi + 3,33992 [1,27324 (1 - \cos \psi) + 1,001179 \psi \cos \psi - 0,99941 \sin \psi] \} p$$

dont l'expression se réalise par le tableau suivant

Tableau XI.

$\psi$ degrés	$\frac{\Delta}{p}$	$\frac{\Delta}{pe}$
18	0,00678	0,00698
45	0,03121	0,03215
72	0,05286	0,05445
90	0,05772	0,05945

Ceci prouve bien que les déformations observées à l'expérience diffèrent fortement de celles qu'on calcule pour un anneau de voûte sous pression hydrostatique uniforme; l'intensité des pressions effectives décroît de l'appui à la clef. Le mode de variation de cette intensité peut être déduit des lignes d'influence de la figure 12.

Des considérations théoriques nous ont conduit, dans la première édition de l'ouvrage cité, à supposer une variation parabolique, donnant à la clef une pression de  $\frac{3}{4} p_e$  pour passer à la pression  $p_e$  complète aux naissances; les expériences présentes confirment cette présomption, et montrent qu'il convient d'augmenter la courbure et l'épaisseur en allant de la clef aux naissances, afin de mieux centrer la courbe de pression.

Pour la construction de cette ligne de pression, qui définit le régime statique de l'anneau de voûte, nous renvoyons à la page 91 de la seconde édition de l'ouvrage cité.

*Influences thermiques.* Une variation uniforme de  $t_0$  de la température provoque un déplacement radial  $\Delta_1$  de la section inclinée de l'angle  $\psi$  sur la corde de l'arc; ce déplacement est obtenu simplement (voir opuscule cité, 2<sup>e</sup> édition, p. 61) en multipliant le numéro correspondant de la colonne centrale du tableau XI par

$$\frac{Eh}{r} \alpha = \frac{150\,000 \times 16}{269} 0,00001 = 0,089219$$

d'où le tableau XII ci-après.

La différence  $\Delta t$  entre les variations  $t_e$  et  $t_i$  des températures à l'extrados et à l'intrados ne change pas la forme de l'arc (voir opuscule cité).

Le 3 avril, on a fait de nouvelles expériences pour véri-

Tableau XII.

$\psi$ degrés	$\frac{\Delta_1}{t_0}$ cm
18	0,00060
45	0,00278
72	0,00472
90	0,00515

fier les déformations thermiques du tableau XII<sup>1</sup>. On a chauffé l'eau du réservoir par des résistances électriques, en surélevant la température moyenne du barrage de 19<sup>o</sup>,6, et on a mesuré les déformations correspondantes, qui sont restées de beaucoup inférieures à celles calculées. Ici encore, comme dans le cas de la pression hydrostatique, on remarque l'effet de l'encastrement à la fondation. Ainsi on peut conclure que les déformations et par conséquent aussi les efforts intérieurs provoqués par une variation de température dans les barrages arqués, près de la fondation, sont très inférieurs à ceux donnés par la théorie de l'arc encastré indépendant.

### Le problème de l'acoustique dans la Grande Salle des Assemblées du Palais de la S. D. N., à Genève.

Les architectes qui ont pris part au concours pour l'étude d'un palais pour la Société des Nations se sont trouvés en face d'un problème tout à fait nouveau, notamment en ce qui concerne la Grande Salle des Assemblées dont les proportions dépassent de beaucoup tout ce qui a été construit jusqu'ici. Il est clair qu'un architecte considère en premier lieu le côté esthétique, tant de la façade que de l'intérieur. Et pourtant, pour une salle de 2700 places, la question de l'acoustique prédomine sur celle de l'architecture, si cette salle doit répondre aux exigences d'une assemblée de la S. d. N. Car, comment les délégués arriveraient-ils à s'entendre, s'il n'entendent qu'insuffisamment ou même pas du tout!

C'est à ce problème complexe de l'acoustique de la Grande Salle du Palais de la S. d. N. que M. F. M. Osswald, ingénieur à Winterthur, consacre un article fort bien documenté dans la *Schweizerische Bauzeitung* du 30 juillet. La place dont nous disposons ne nous permet malheureusement de n'en donner ici qu'un résumé succinct.

Le programme du concours prescrivait pour la Grande Salle un nombre de places atteignant 2700, dont plus d'un tiers avec pupitres. La répartition rationnelle de ces sièges, y compris les intervalles, nécessite une surface d'environ 3000 m<sup>2</sup>. Et si l'on tient compte de ce que, pour des raisons d'organisation, plus de la moitié de

<sup>1</sup> Voir: Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino, 1927.