

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 48 (1922)
Heft: 5

Artikel: Etude sur les barrages arqués
Autor: Stucky, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-37392>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : D^r H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

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

SOMMAIRE : *Etude sur les barrages arqués*, par A. STUCKY, ingénieur (suite). Planche 3. — *Sur l'emploi des explosifs à base d'air liquide* (suite et fin). — *La navigation sur le Rhin*. — *La traction électrique aux Etats-Unis*. — *L'usine hydro-électrique Drac-Romanche (Isère)*. — *Lampe veilleuse « Osram »*. — SOCIÉTÉS : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes*. — *Société technique fribourgeoise et Section de Fribourg de la S. I. A.* — NÉCROLOGIE : *Fridolin Becker*. — INFORMATIONS : *Aluminium-Fonds Neuhausen*. — *Fondation George Montefiore*. — *Salon du mobilier et des arts appliqués, à Lyon*. — BIBLIOGRAPHIE.

Etude sur les barrages arqués

par A. STUCKY, ingénieur.

(Suite¹.)

(Planche hors texte N° 3.)

IV. Application au calcul du barrage de la Jogne (Gruyère).

Les *Entreprises Electriques fribourgeoises* ont fait bâtir de 1918-1921, sous la direction de M. H.-E. Gruner, ingénieur-conseil à Bâle, une usine hydro-électrique avec bassin d'accumulation². Les eaux de la Jogne sont refoulées par un barrage d'une cinquantaine de mètres de hauteur, fermant la gorge très étroite de la Russille (Fig. 14).

La disposition du barrage est donnée par la planche 3 hors texte. L'aile gauche vient s'appuyer contre une grande culée. Celle-ci a été nécessitée par la pente assez faible du terrain dans cette région, elle raccourcit ainsi les arcs supérieurs. Elle a également permis de disposer un déversoir dans le prolongement du barrage. La culée est dimensionnée de manière à ne permettre aucun mouvement des appuis des arcs. Dans ces conditions elle ne joue aucun rôle pour le calcul statique des arcs. Le barrage a été arrêté, pour le calcul statique à la cote 755, soit 45 m. de hauteur, bien que les fondations se trouvent à environ 748. Cette région inférieure du barrage plus longue que large, totalement encastrée, peut être considérée comme un socle absolument rigide.

A partir d'une certaine profondeur l'action du mur devient prédominante, c'est pour cette raison que le pied du barrage augmente d'épaisseur. La forme du barrage est donnée dans les figures 15 et 15^a. Les arcs augmentent d'épaisseur de la clef aux naissances, surtout à partir des reins. L'épaisseur aux appuis est d'environ 50 % plus forte qu'à la clef. Le couronnement se trouve à la cote d'altitude 800.

Nous considérons 4 arcs distants de 10 m. soit aux cotes 800, 790, 780 et 770 et 9 sections verticales, dont la section médiane et 8 sections symétriques, deux à deux, convenablement choisies I, II, III et IV.

L'arc ou le mur sont supposés formés d'éléments rectilignes, courts. Nous calculons avec une valeur moyenne du moment d'inertie I et de la section F . Fig. 16.

Si nous appelons M_m , Q_m , N_m — les moments, efforts

¹ Voir *Bulletin technique* du 4 février 1922, page 25.

² *Bulletin technique*, 1918, p. 165.

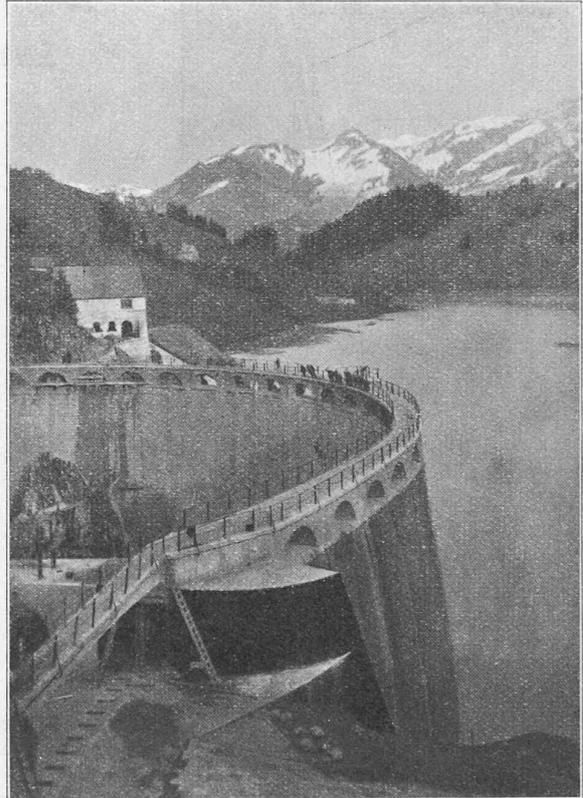


Fig. 14. — Le barrage de la Jogne.

tranchants, efforts normaux — les déformations élémentaires sont exprimées, par exemple, par les équations.

Variation de longueur

$$\Delta S_m = \frac{N_m}{E \cdot F_m} S_m$$

Variation de l'angle

$$\Delta dm = \frac{A}{6EI_m} S_m + \frac{B}{6EI_m} S_{m+1} + \frac{C}{F'_m G} + \frac{D}{F'_{m+1} G}$$

F'_m est la section agissant au cisaillement que nous poserons égale à F_m .

Nous nous en tiendrons dans tous les calculs aux unités suivantes : Tonnes et mètres, sauf pour les fatigues kg/cm^2 . Nous poserons pour les deux modules E et G :

2, respectivement $\frac{10}{13} E$ au lieu de $2\,000\,000 \text{ t/m}^2$ et $\frac{5}{13} E$,

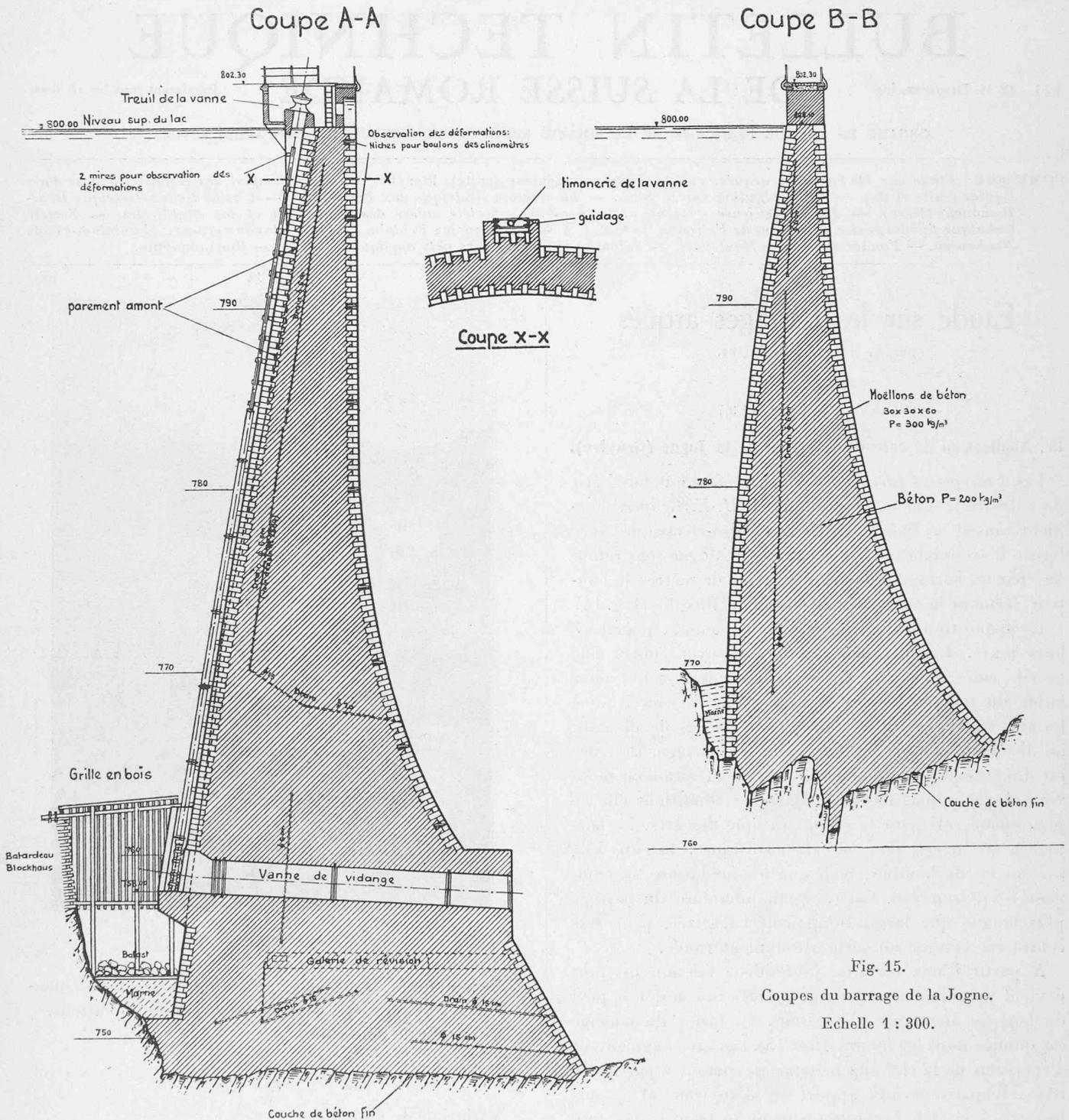


Fig. 15.
Coupes du barrage de la Jogne.
Echelle 1 : 300.

c'est-à-dire que tous les déplacements sont agrandis de 10. Nous introduisons l'unité de déplacement

$$u = 1 \text{ mètre } 10^{-6} = \frac{1}{1000} \text{ mm.}$$

Connaissant les rotations élémentaires Δd_m on calcule facilement la variation de direction d'un élément quelconque.

$$\Delta \varphi_m = \sum_0^m \Delta d_m.$$

Le déplacement linéaire δ_m se détermine au moyen d'une épure des déformations.

Pour les murs, le raccourcissement des éléments, dû au poids n'entre pas en ligne de compte, puisque celui-ci a lieu avant la mise sous pression du barrage¹. Dans ce cas l'épure des déformations se réduit à une droite et

$$\delta_{horizontal} = \sum_0^m S m \Delta \varphi_m.$$

Nous donnons ci-dessous le détail du calcul pour la section médiane et pour $P = 1$ agissant à la cote 800.

¹ Si le lac était rempli au fur et à mesure des travaux, il faudrait considérer le cas échéant ce raccourcissement vertical.

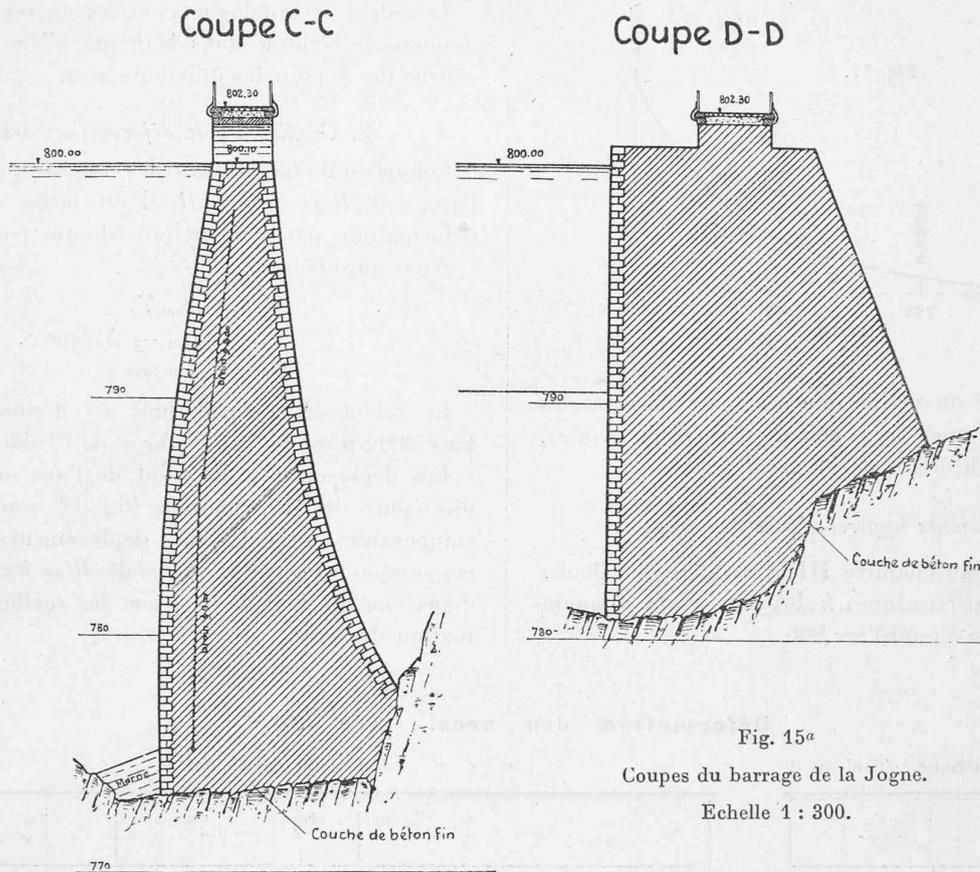


Fig. 15a
Coupes du barrage de la Jogne.
Echelle 1 : 300.

A. Déformation des sections verticales. Section médiane O.

Tableau 1.

Cote	P_m	M_m	$2M_m$	$\frac{2M_m}{M_m-1}$	$\frac{2M_m}{M_m+1}$	cm	J_m	A	B	A + B	C	D	C + D	Δdm	$\Delta \varphi_m$	$Sm \Delta \varphi_m$	$\delta_m^{(n)}$
800	1	0	0	—	5	2,00	1,30										
795	—	5	10	10	20	3,00	3,56	3,20	2,34	5,54	0,52	-0,37	+0,15	5,69	21,63	108,15	325,35
90		10	20	25	35	4,00	7,58	2,92	1,93	4,85	0,37	-0,29	+0,08	4,93	11,01	55,07	217,20
85		15	30	40	50	5,00	13,82	2,20	1,51	3,71	0,29	-0,24	0,05	3,76	7,25	36,25	82,45
80		20	40	55	65	6,00	25,00	1,66	1,08	2,74	0,24	-0,19	0,05	2,79	4,46	22,30	46,20
75		25	50	70	80	7,40	47,60	1,16	0,70	1,87	0,19	-0,16	0,03	1,90	2,56	12,80	23,90
70		30	60	85	95	9,20	93,40	0,75	0,42	1,17	0,16	-0,12	0,04	1,21	1,35	6,75	11,10
65		35	70	100	110	11,60	188,7	0,45	0,24	0,69	0,12	-0,10	0,02	0,71	0,64	3,20	4,35
60		40	80	115	125	14,70	363,0	0,25	0,14	0,39	0,10	-0,08	0,02	0,41	0,23	1,15	1,15
55		45	90	130	—	18,00		0,15		0,15	0,08		0,08	0,23			fixe.

La ligne d'influence du déplacement horizontal d'un point m d'une section verticale pour une force $P=1$ horizontale, se déplaçant verticalement correspond d'après

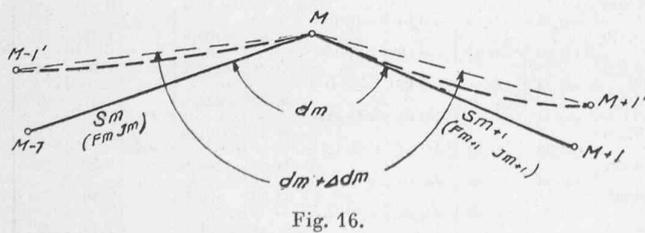


Fig. 16.

le théorème de Maxwell à la ligne élastique de la section verticale soumise à l'action d'une force unité horizontale agissant au point m . (Tableau 1.)

Le calcul se répète identiquement pour $P=1$ agissant successivement aux diverses autres altitudes. Les coefficients δ_{mm} pour la section médiane sont rassemblés dans le tableau d'influence suivant :

Section médiane O.

Tableau 2.

Cote	800	795	790	785	780	775	770	765	760
800	325,3	217,2	137,5	82,4	46,2	23,9	11,1	4,3	1,1
795	217,2	163,5	109,8	68,5	39,4	20,8	9,8	3,9	1,0
790	137,5	109,8	82,1	54,6	32,6	17,7	8,6	3,5	0,9
785	82,4	68,5	54,6	40,7	25,8	14,6	7,3	3,0	0,8
780	46,2	39,4	32,6	25,8	19,0	11,5	6,1	2,6	0,7
775	23,9	20,8	17,7	14,6	11,5	8,4	4,8	2,2	0,6
770	11,1	9,8	8,6	7,3	6,1	4,8	3,6	1,8	0,5
765	4,3	3,9	3,5	3,0	2,6	2,2	1,8	1,4	0,4
760	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3

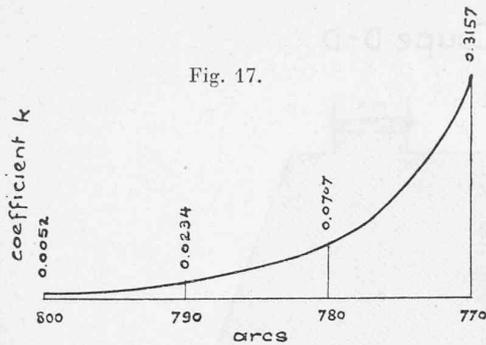


Fig. 17.

Comme contrôle on vérifie que les lignes horizontales soient bien identiques aux colonnes correspondantes, ceci en vertu du théorème de Maxwell.

2. Coefficients hyperstatiques des arcs.

Nous avons vu au chapitre III la manière de calculer les coefficients hyperstatiques k des arcs. Nous donnons ci-après le calcul de k pour l'arc 800.

Le calcul est analogue pour les autres arcs. Nous en donnons le résultat dans la figure 17 qui représente la courbe des k pour les différents arcs.

3. Coefficients de déformation des arcs.

Connaissant maintenant les forces qui agissent sur l'arc, soit R et $\Delta x = kR$, il est facile de calculer les déformations par le même procédé que pour les murs.

Nous aurons ici :

$$\begin{aligned} M_m &= \Delta_m x Y. \\ N_m &= R_m - \Delta x \cos \varphi. \\ Q_m &= \Delta x \sin \varphi. \end{aligned}$$

Le calcul des déformations est donné ci-après pour l'arc 800 ; il est fait pour $\Delta x = 1$. (Tableau 5.)

Les déplacements du point de l'arc sont fournis par une épure des déformations (fig. 18) qui nous livre les composantes normales des déplacements. En divisant ces composantes par la valeur de $R = kx$, on obtient les déplacements pour $R = 1$ soit les coefficients de déformation des arcs.

Déformation des arcs. Arc 800.

Calcul du centre élastique. Tableau 3.

N°	J	$\frac{S_m}{6EJ}$	Y_m	$\frac{S_m Y_m}{6EJ}$	e_m
I	2,59	0,090	0	0	3,15
II	2,03	0,205	3,50	0,717	2,90
III	1,34	0,311	7,80	2,424	2,53
IV	1,01	0,412	11,75	4,840	2,30
V	0,82	0,505	15,45	7,80	2,15
VI	0,77	0,542	18,80	10,20	2,10
VII	0,75	0,556	21,80	12,10	2,08
VIII	0,73	0,571	24,35	13,90	2,06
IX	0,71	0,587	26,30	15,41	2,04
X	0,69	0,604	27,60	16,68	2,02
XI	0,67	0,623	28,20	17,57	2,00
		5,006		101,641	

$$\eta = \frac{101,641}{5,006} = 20,304.$$

Calcul du coefficient k .

Tableau 4.

N°	φ grades	$\cos \varphi$	$\frac{S_m}{F}$	$\frac{S_m \cos \varphi}{F}$	$\frac{S_m \cos^2 \varphi}{F}$	$\sin \varphi$	$\frac{S_m \sin^2 \varphi}{F}$	Y_0	Y_2	$\frac{S_m}{12J}$	$Y_2 \omega_2$
I	72,85	0,413	0,89	0,368	0,152	0,910	négligeable	-20,30	-20,50	0,090	37,90
II	68,40	0,476	1,725	0,820	0,390	0,879		-16,80	-17,00	0,205	58,6
III	62,25	0,559	1,975	1,103	0,617	0,829		-12,50	-12,70	0,311	49,3
IV	56,15	0,635	2,17	1,380	0,875	0,772		-8,55	-8,75	0,412	30,8
V	50,15	0,705	2,33	1,642	1,158	0,709		-4,85	-5,10	0,505	12,5
VI	43,45	0,775	2,38	1,843	1,427	0,631		-1,50	-2,05	0,542	1,67
VII	38,50	0,823	2,40	1,975	1,625	0,569		+ 1,50	+ 2,00	0,556	1,67
VIII	30,30	0,889	2,425	2,155	1,915	0,458		+ 4,05	+ 4,15	0,571	9,60
IX	21,25	0,945	2,45	2,315	2,185	0,327		+ 6,00	+ 6,10	0,587	21,45
X	12,55	0,984	2,475	2,435	2,395	0,196		+ 7,30	+ 7,40	0,604	32,6
XI	5,0	0,999	2,50	2,50	2,50	0,078		+ 7,90	+ 7,95	0,623	39,1
				18,536	15,239					295,2	$\times 12$

$$k = \frac{18,54}{15,24 + 12 \times 295,2} = 0,0052.$$

Calcul des déformations élastiques.

$$\Delta x_e = 1 \text{ t}$$

$$R_m = 192 \text{ t}$$

Tableau 5.

N°	N°	Y_m	$2Y_m$	$2Y_m + Y_{m-1}$	$2Y_m + Y_{m+1}$	$\frac{S_m}{6EJ_m}$	A	B	A + B	Q_m	C	D	C + D	Δd_m	$\Delta \varphi_m$	$S_m \Delta \varphi_m$	N_m	$\frac{S_m}{F}$	ΔS_m
I	0	-21,60	-43,2	—	-62,3	0,090	0	-5,63	-5,63	0,910	0	-0,38	-0,38	-5,85	-5,85	-16,4	191,5	0,89	85
II	1	-19,10	-38,2	-59,8	-52,9	0,205	-5,40	-10,83	-16,23	0,879	+0,38	-0,39	-0,01	-16,08	-21,93	-109,6		1,725	165
III	2	-14,70	-29,4	-48,5	-39,9	0,311	-9,70	-12,40	-22,10	0,829	+0,39	-0,43	-0,04	-21,98	-43,91	-219,5		1,975	189
IV	3	-10,50	-21,0	-35,7	-27,7	0,412	-11,09	-11,43	-22,52	0,772	+0,43	-0,44	-0,05	-22,41	-66,32	-331,6		2,17	208
V	4	-6,70	-13,4	-23,9	-16,5	0,505	-9,85	-8,32	-18,17	0,709	+0,44	-0,43	+0,01	-18,00	-84,32	-421,6		2,33	223
VI	5	-3,10	-6,2	-12,9	-6,2	0,542	-6,51	-3,36	-9,87	0,631	+0,43	-0,39	+0,04	-9,67	-93,99	469,9		2,38	228
VII	6	0	0	-3,1	+2,85	0,556	-1,68	+1,58	-0,10	0,569	+0,39	-0,36	+0,03	+0,09	-93,90	469,5		2,40	230
VIII	7	+2,85	+5,7	+5,7	+10,8	0,571	+3,17	+6,16	+9,33	0,458	+0,36	-0,29	+0,07	+9,56	-84,34	421,7		2,42	232
IX	8	+5,10	+10,2	+13,05	+16,9	0,587	+7,45	+9,92	+17,37	0,327	+0,29	-0,21	+0,08	+17,61	-66,73	333,6		2,45	234
X	9	+6,70	+13,4	+18,5	+21,1	0,604	+10,86	+12,73	+23,59	0,196	+0,21	-0,13	+0,08	+23,83	-42,9	214,5		2,47	237
XI	10	+7,70	+15,4	+22,1	+23,4	0,623	+13,35	+14,60	+27,95	0,078	+0,13	-0,05	+0,08	+28,03	-14,86	74,3		2,50	240
	11	+8,05	+16,1	+23,8	+23,8	0,623	+14,81	+14,81	+29,62		+0,05	+0,05	+0,10	+29,72			191,5		

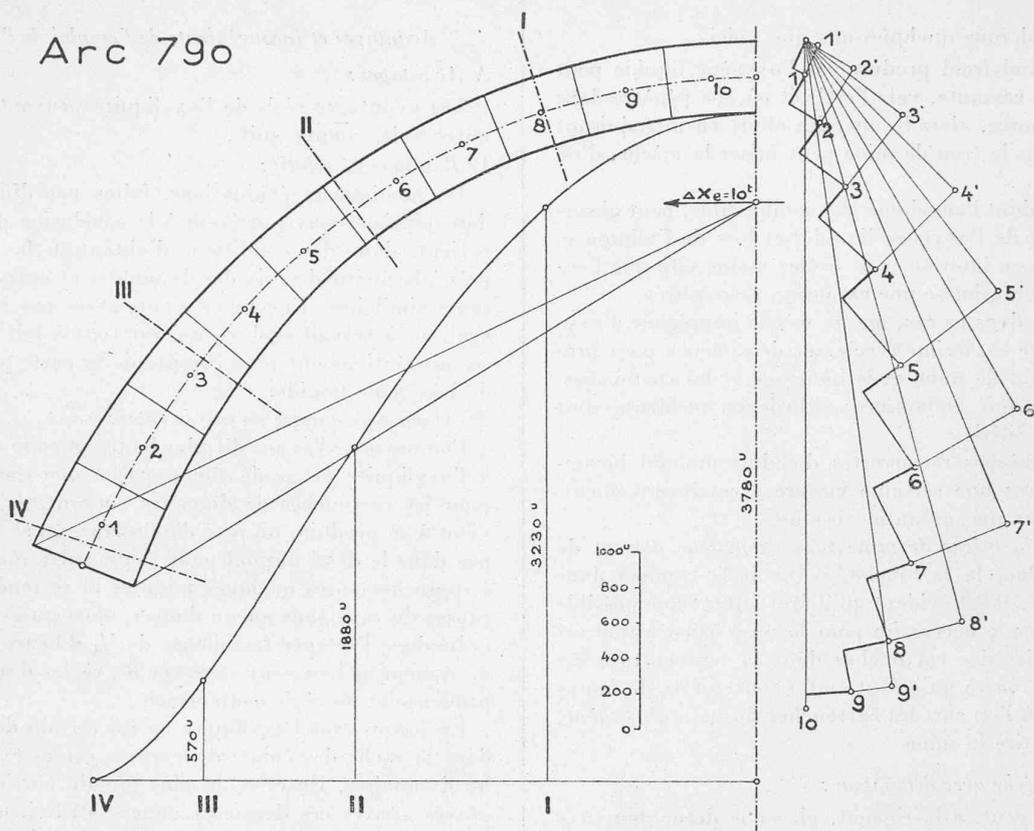


Fig. 18.

Ils sont réunis dans le tableau ci-dessous :

Déplacements des points des arcs situés sur les sections verticales. Tableau 6.

Cote	Δx	k	R	O	I	II	III	IV	R	O	I	II	III	IV
800	1	0,0052	192	3635	3160	1940	685	40	1	18,92	16,45	10,10	3,57	0,21
795	10	0,0234	428	3780	3230	1880	570	10	1	12,10	10,50	6,50	2,15	0,10
790	100	0,0707	1415	6580	5190	2450	340	—	1	8,84	7,55	4,40	1,33	—
785	100	0,0707	1415	6580	5190	2450	340	—	1	6,40	5,40	2,80	0,70	—
780	100	0,0707	1415	6580	5190	2450	340	—	1	4,65	3,67	1,73	0,24	—
775	100	0,0707	1415	6580	5190	2450	340	—	1	3,00	2,05	0,60	—	—
770	100	0,3157	316	516	284	9	—	—	1	1,63	0,90	—	—	—
765	100	0,3157	316	516	284	9	—	—	1	0,50	0,36	—	—	—
760	100	0,3157	316	516	284	9	—	—	1	—	—	—	—	—

Remarquons que dans les épures de déformation, le point de la clef doit se déplacer suivant l'axe par raison de symétrie. Cette propriété fournit un contrôle de l'exactitude des épures. (A suivre.)

Sur l'emploi des explosifs à base d'air liquide,

par P. R. DE WILDE, ingénieur chimiste, administrateur de la Société suisse des Explosifs, Gamsen-Brigue (Suite et fin.)¹

Bourrage des coups de mine chargée en oxyliquite.

Il est évidemment impossible de bourrer au fond d'un trou de mine une matière émettant continuellement de fortes quantités de gaz : on ne peut donc, pour cette raison, comme avec

les explosifs ordinaires, constituer un bourrage absolument étanche. En effet, dès qu'un obstacle s'oppose au départ de l'oxygène qui se volatilise, ce dernier a vite fait de projeter au loin la matière servant au bourrage.

On ne peut donc employer, en guise de bourrage, que des matériaux à grosse texture, laissant passer entre leurs particules relativement grandes l'oxygène gazeux qui veut s'échapper.

Il est évident qu'un tel bourrage n'est pas l'équivalent d'un bon bourrage bien tassé et étanche : aussi le résultat de l'explosion, surtout en roche demi-dure, s'en ressent.

On a proposé aussi des bourrages de matières plus ou moins plastiques permettant d'obturer à peu près complètement le trou de mine tout en permettant à l'oxygène gazéifié de s'échapper par un tuyau central de petit diamètre. Mais ce genre de bourrage coûte assez cher.

Allumage des coups de mine chargés en oxyliquite.

Il peut être effectué directement ou indirectement.

a) Directement :

Avec une mèche de mine (cordeau Bickford) ordinaire ou une amorce électrique, tous deux sans détonateur brisant.

b) Indirectement :

Par l'explosion dans l'une ou contre l'une des cartouches d'oxyliquite, d'un détonateur brisant, amené lui-même à l'explosion par une mèche de mineur ou par l'électricité, suivant le mode d'allumage employé.

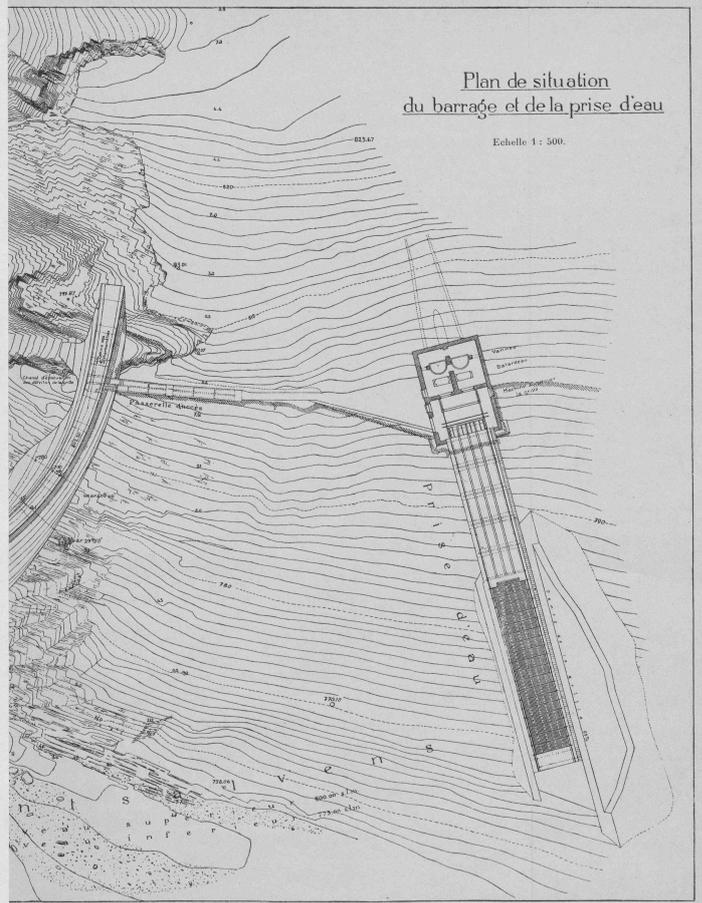
L'effet de ces deux allumages est absolument différent, en ce sens que sans détonateur, l'explosion est peu brisante et semblable à celle de la poudre noire ; tandis que l'allumage au détonateur entraîne une explosion semblable à celle de la dynamite, voire encore plus brisante.

L'allumage à la mèche de mineur soit sans, soit avec détonateur présente plusieurs graves inconvénients.

¹ Voir Bulletin technique du 18 février 1922, page 41.



D'après le dessin original du Bureau technique H.-E. GRUNER.



Cliché Reynaud, Lausanne.