

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 88 (1962)  
**Heft:** 7

**Artikel:** Étude photoélasticitimétrique de la résistance d'une pile du pont de Worblen (suite et fin)  
**Autor:** Rescher, O.-J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-771834>

#### 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>**

# 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 (S.V.I.A.)  
de la Section genevoise de la S.I.A.  
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'E.P.F. (Ecole  
polytechnique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: † J. Calame, ing. 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. Grosgrain, arch.; E. Martin, arch.

Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.

Valais: G. de Kalbermann, 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: M. Bridel; J. Favre, arch.; † R. Neeser, ing.; A. Robert,

ing.; J.-P. Stucky, ing.

Adresse: Avenue de la Gare 10, Lausanne

## RÉDACTION

Vacat

Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Avenue de Cour 27, Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse Fr. 28.—	Etranger Fr. 32.—
Sociétaires . . . . .	» 23.—	» 28.—
Prix du numéro . . . . .	» 1.60	

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,  
N° II 57 78, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, changements  
d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29,  
Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:

1/1 page . . . . .	Fr. 320.—
1/2 » . . . . .	» 165.—
1/4 » . . . . .	» 88.—
1/8 » . . . . .	» 42.50

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



## SOMMAIRE

Etude photoélasticité de la résistance d'une pile du pont de Worblen (suite et fin), par O.-J. Rescher, Dr ès sc. techniques.

Divers : Thermodynamique des machines à fluide compressible.

Nécrologie : Jean Tschumi, architecte.

Bibliographie. — Les congrès. — Carnet des concours.

Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Nouveautés, informations diverses.

## ÉTUDE PHOTOÉLASTICIMÉTRIQUE DE LA RÉSISTANCE D'UNE PILE DU PONT DE WORBLEN

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

par O.-J. RESCHER, Dr ès sc. techniques. Chargé de cours à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne.

### V. Commentaires des résultats

Dans le cadre de cet article, nous voulons nous borner à commenter les résultats de trois cas de charge caractéristiques  $P_1$ ,  $P_2$  et  $X_2$ .

Sur la photographie de la figure 9 représentant les lignes isochromes du cas de charge  $P_1$ , on distingue clairement l'emplacement des sections de moments nuls dans les montants et dans le linteau. On remarque également, dans les montants, que la répartition des contraintes normales suit la règle de Navier, sauf dans les régions de liaison entre les montants et le linteau. C'est pour cette raison que nous avons déterminé seulement les contraintes sur le bord libre de l'ouvrage. La position des points de moment nul nous a permis de vérifier l'équilibre intérieur du cadre. Le résultat de ces essais est représenté sur la figure 10.

L'image des lignes isochromes pour le cas de charge  $P_2$  est donnée sur la figure 11. Étant donné l'importance de ce cas de charge et la disposition particulière de l'appui intérieur du pont par rapport au nœud du cadre, il a paru intéressant d'effectuer une étude de l'état de contrainte plus détaillée de cette région. En

effet, il est très difficile de déterminer par calcul l'état de contrainte dans cette partie de l'ouvrage où apparaissent des perturbations dues aux brusques variations des sections.

Sur la base des lignes isoclines nous avons construit les trajectoires permettant d'obtenir une vue d'ensemble sur la transmission des efforts. D'autre part, nous avons calculé l'état de contrainte complet dans deux sections caractéristiques du linteau situées à gauche et à droite de l'appui.

La photographie des lignes isochromes (fig. 11) montre l'emplacement d'une section de moment nul dans le montant gauche. Par contre, le montant droit est sollicité essentiellement par un moment fléchissant avec effort tranchant peu marqué. Le linteau est sollicité par un moment fléchissant et un effort tranchant assez considérable. Nous constatons également que les contraintes apparaissant dans la région du nœud droit sont très petites et que la section effective dans l'angle transmettant l'effort du linteau au montant est à peu près égale à celle du linteau.

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* n° 6 du 24 mars 1962.

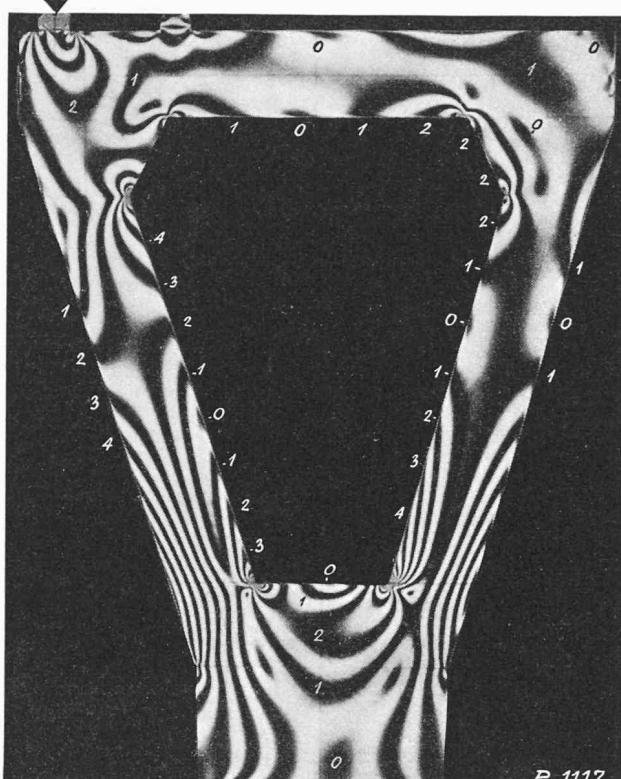


Fig. 9. — Cas de charge  $P_1$ : réaction sur appui extérieur.  
 Lignes isochromes ( $\sigma_I - \sigma_{II}$ ) = const.  
 Contraintes sur l'ouvrage:  $\sigma \text{ kg/cm}^2 = 2,38 \cdot m$   
 $m$  = ordre des lignes isochromes.

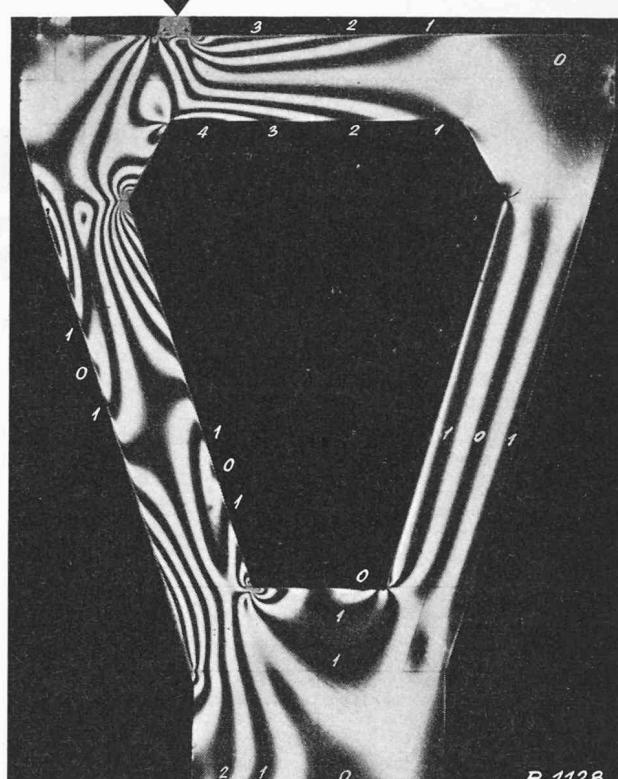


Fig. 11. — Cas de charge  $P_2$ : réaction sur appui intérieur.  
 Lignes isochromes ( $\sigma_I - \sigma_{II}$ ) = const.  
 Contraintes sur l'ouvrage :  $\sigma \text{ kg/cm}^2 = 2,38.m$   
 $m$  = ordre des lignes isochromes.

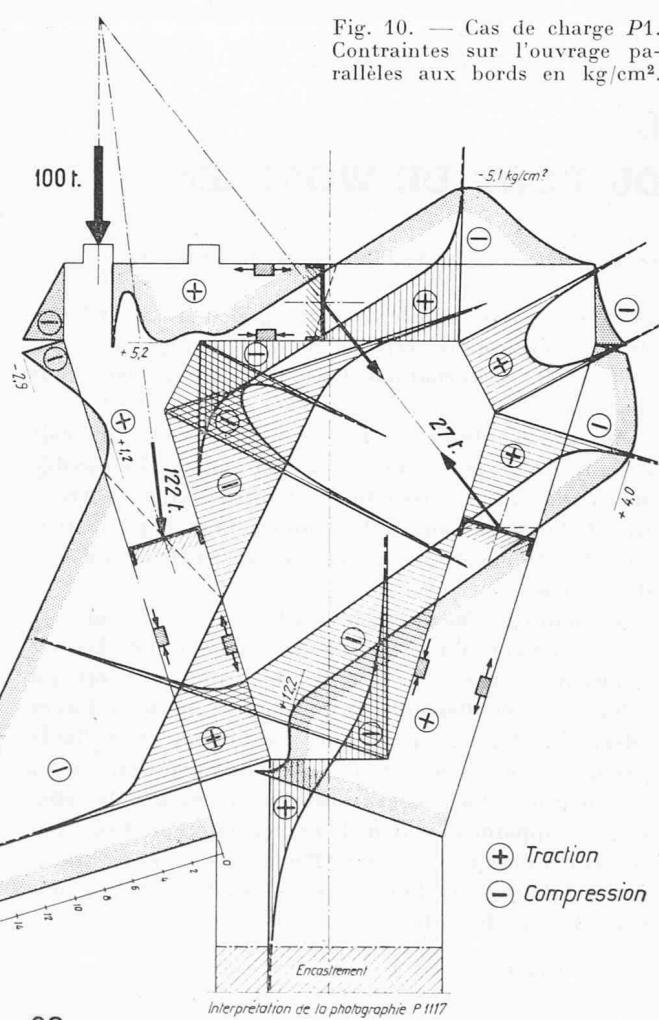
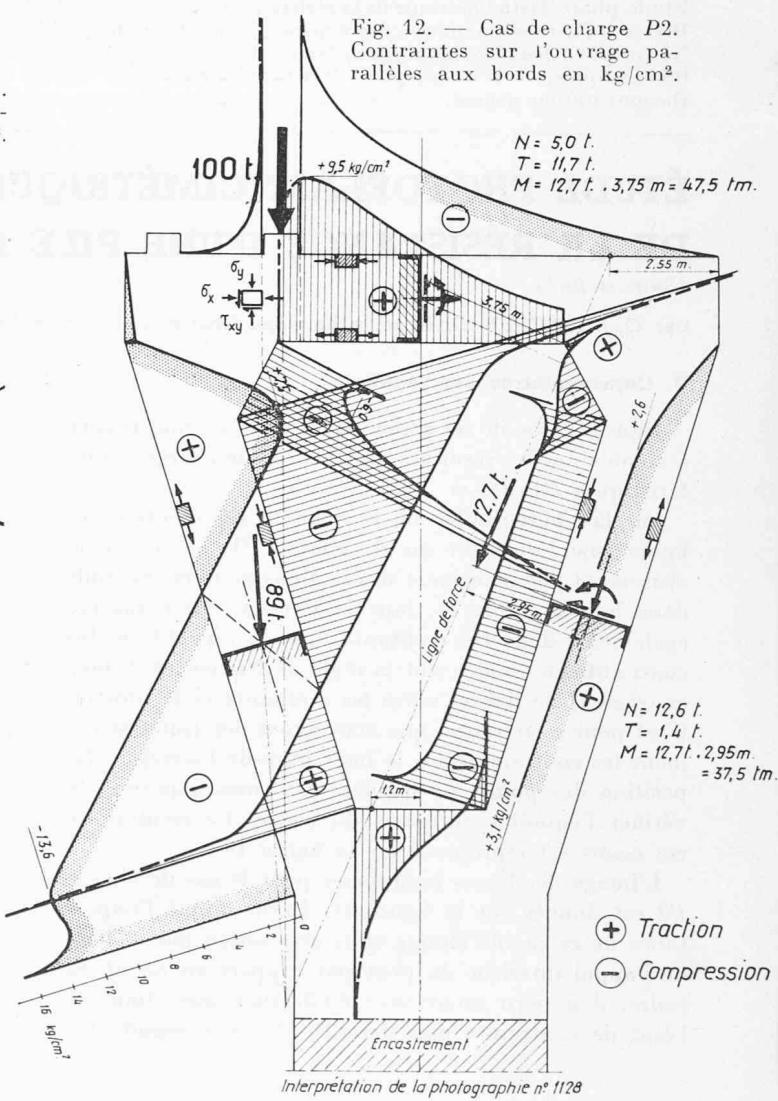


Fig. 10. — Cas de charge  $P_1$ . Contraintes sur l'ouvrage parallèles aux bords en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .



98

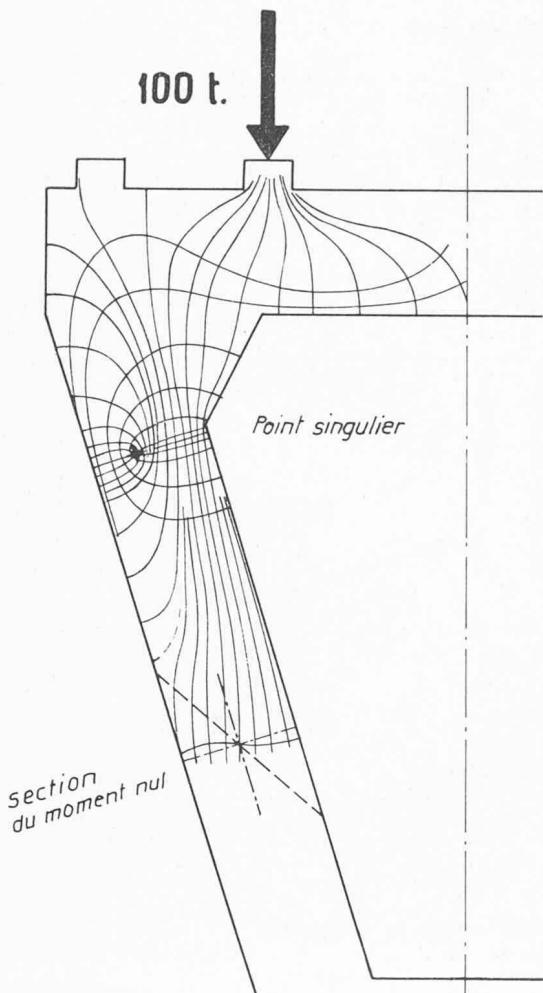


Fig. 13. — Cas de charge P2.  
Trajectoires dans la région de l'application de la charge C.

Dans la figure 12, nous avons fait figurer les contraintes sur le pourtour, l'emplacement des sections de moment nul dans le montant gauche et la direction des efforts intérieurs dans deux sections caractéristiques du montant droit et du linteau.

A l'aide de l'ensemble des lignes isoclines, nous avons pu déterminer les trajectoires dans la partie de l'angle gauche du cadre (fig. 13), partie particulièrement intéressante pour la transmission des efforts. On constate la présence d'un point singulier dans cette zone.

Pour les sections I-I et II-II (fig. 3), nous avons déterminé l'état de contrainte complet en utilisant la méthode d'intégration graphique basée sur la différence des contraintes tangentielles traitée dans plusieurs publications<sup>2,3</sup>. Les diagrammes des contraintes indiquées dans les figures 14 et 15 sont donnés, pour une charge comparative de 100 tonnes sur l'ouvrage, en kg/cm<sup>2</sup>, ainsi qu'à l'échelle des numéros d'ordre des lignes isochromes. On constate en particulier que la répartition des contraintes dans la section II diffère beaucoup d'un diagramme des contraintes calculées selon la théorie élémentaire de la résistance des mat-

<sup>2</sup> FROCHT, M. M.: *Photo-elasticity*. John Wiley & Sons, Inc., New York, Vol. I, 1941 ; Vol. II, 1948.

<sup>3</sup> RESCHER, O.-J.: *Etude photoélasticitimétrique de la résistance d'une ferme des tribunes du stade d'Yverdon*. Bulletin technique de la Suisse romande, no 11, juin 1961.

riaux. Il est intéressant de constater que les contraintes de cisaillement se répartissent pratiquement seulement sur la moitié de la section et que la forme du diagramme est plutôt triangulaire que parabolique. Par ailleurs, on constate aussi un changement de signe de contrainte de cisaillement, ce qui découle aussi de l'allure des trajectoires dans cette région.

Étant donné l'importance de cette région pour la résistance de la pile, nous avons calculé également les contraintes principales pour ces deux sections et représenté graphiquement dans la figure 16 leur grandeur et leur direction.

En outre, les tableaux 1 et 2 donnent les valeurs des contraintes principales et leur direction dans tous les points de calcul des sections considérées. On constate en particulier, pour la section II, que dans la partie supérieure du linteau situé au-dessus de l'axe, les contraintes principales sont partout des compressions. Une très faible traction de 0,5 kg/cm<sup>2</sup> s'établit dans l'axe, agissant parallèlement aux bords.

Pour la section I, la traction oblique atteint un maximum de 5,5 kg/cm<sup>2</sup> dans le point 18 ; dans la section II, la contrainte maximum de traction de 9,5 kg/cm<sup>2</sup> est atteinte au point 21.

Pour étudier l'effet d'une précontrainte du linteau sur le cadre, nous avons effectué trois essais. A titre d'exemple, nous montrons les résultats obtenus pour le cas X2 sur la figure 17. Sur la base des résultats obtenus, nous avons pu trouver la position la plus favorable des câbles.

## VI. Transposition des résultats sur l'ouvrage — Lois de similitude

Lors de la transposition des résultats du modèle sur l'ouvrage, la question posée est celle de savoir si une loi de proportionnalité peut être appliquée en tenant compte uniquement des échelles des forces et du modèle sans prendre en considération les différences des constantes élastiques, module d'élasticité et du chiffre de contraction  $\mu = \frac{1}{m}$  ( $m$  = constante de Poisson). En règle générale, la réponse à cette question est affirmative. Toutefois il est nécessaire de vérifier les bases théoriques des lois de similitude pour chaque cas en examinant les conditions aux limites, la similitude géométrique et les charges appliquées sur les pourtours fermés.

Dans notre cas particulier, le cadre triangulaire de la pile représente un disque doublement connexe. Étant donné que les forces extérieures s'appliquent pour tous les cas de charge uniquement sur le pourtour extérieur du modèle, la condition de Michell est satisfaite. Il s'ensuit que l'état de contrainte est indépendant du chiffre de contraction  $\mu$ , et il n'est pas nécessaire de satisfaire à la loi de Poisson, c'est-à-dire que les valeurs  $m$  entre ouvrage et modèle peuvent être différentes.

Dans ce cas, le passage à la réalité s'effectue en appliquant la loi de similitude de Hook élargie<sup>4</sup>

<sup>4</sup> MÖNCH, E.: *Die Ähnlichkeits- und Modellgesetze bei spannungsoptischen Versuchen*, Z. angew. Phys., Bd. 1 (1949), S. 306, et d'autres.

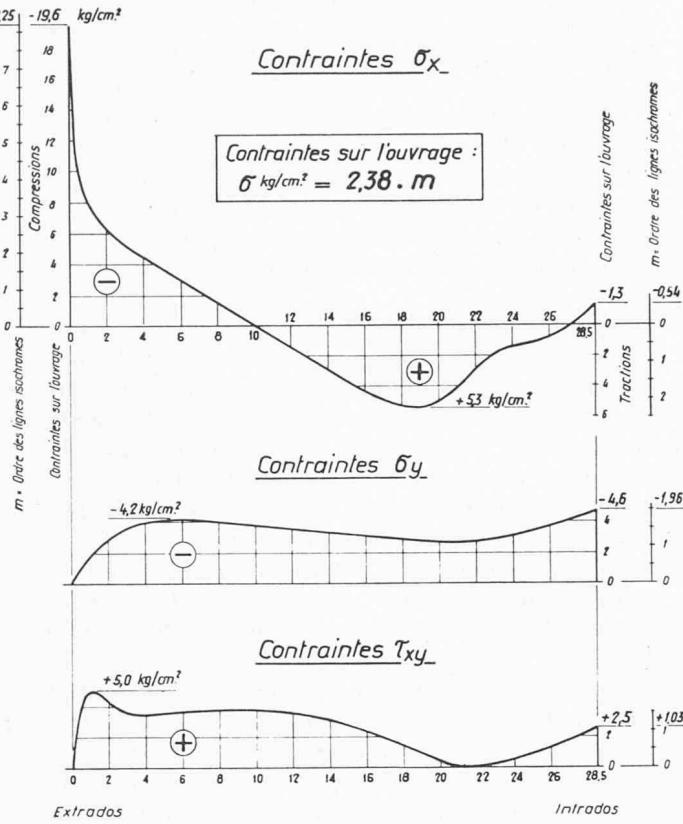


Fig. 14. — Cas de charge  $P_2$ .  
Coupes I—I.  
Contraintes sur l'ouvrage.

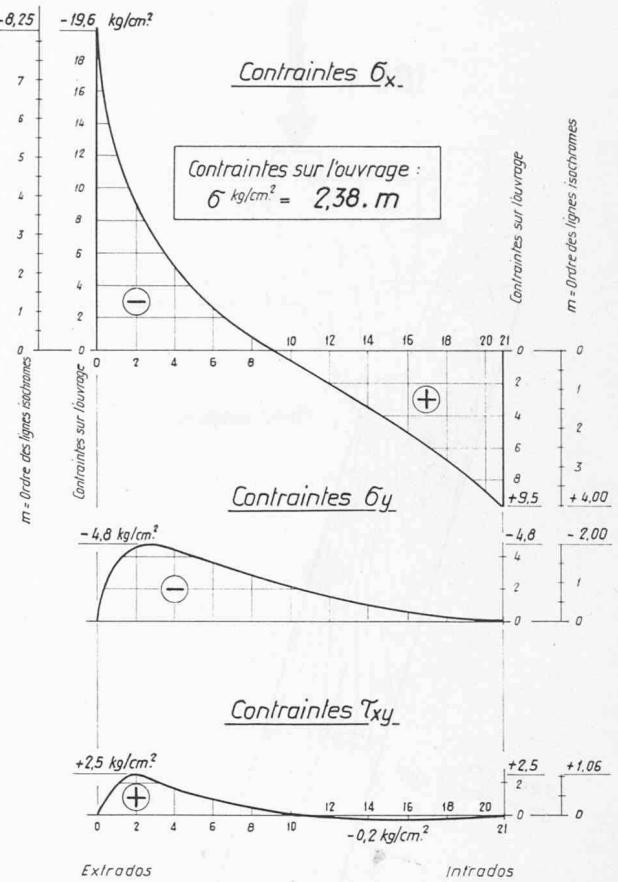


Fig. 15. — Cas de charge  $P_2$ .  
Coupes II—II.  
Contraintes sur l'ouvrage.

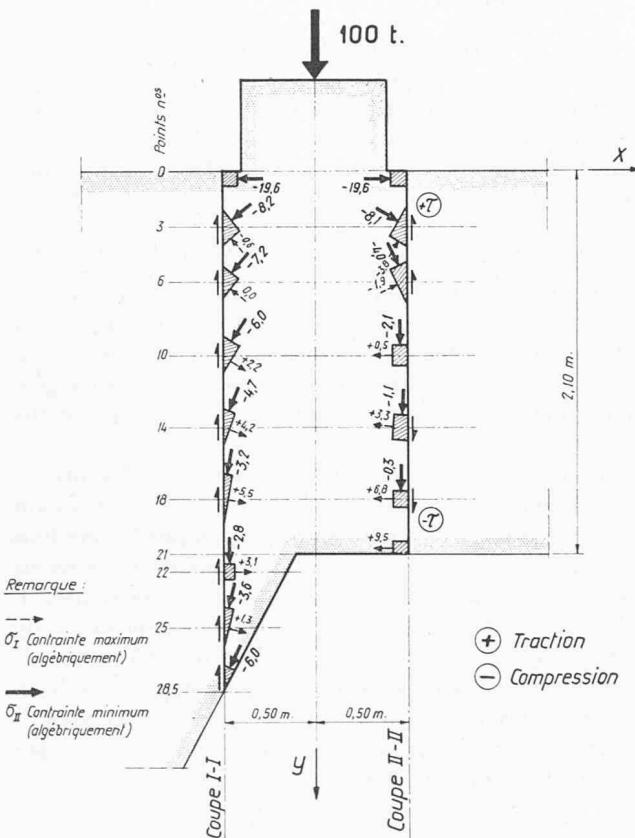


Fig. 16. — Cas de charge  $P_2$ .  
Contraintes principales sur l'ouvrage en  $\text{kg/cm}^2$ .  
Coupes I—I et II—II.

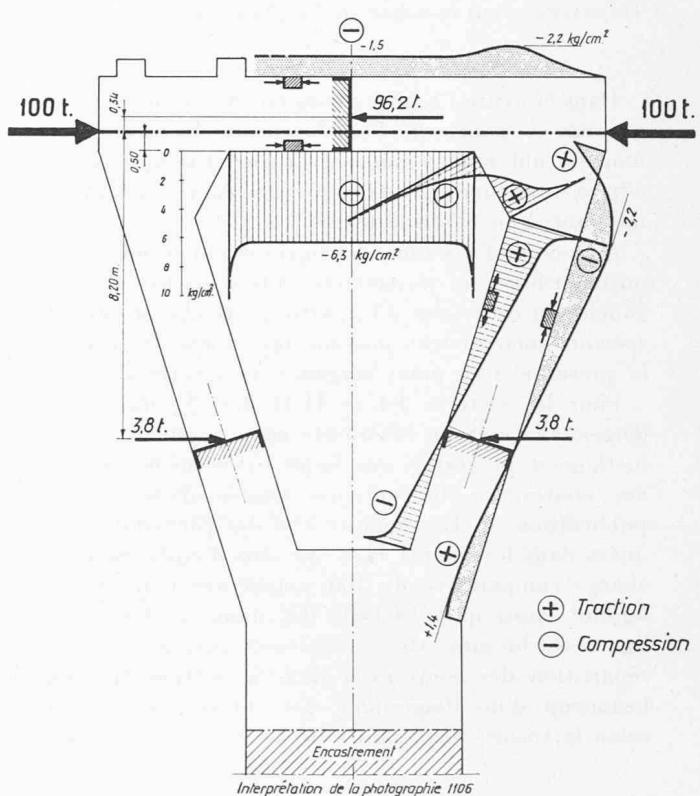


Fig. 17. — Cas de charge  $X_2$ .  
Contraintes parallèles aux bords en  $\text{kg/cm}^2$  (contraintes principales).

$$\frac{\sigma_{\text{ouvrage}}}{\sigma_{\text{modèle}}} = \frac{\lambda_d}{\lambda} \cdot \frac{E_{\text{ouvrage}}}{E_{\text{modèle}}}$$

où

$$\lambda = \text{échelle des longueurs} = \frac{l_{\text{ouvrage}}}{l_{\text{modèle}}}$$

$$\lambda_d = \text{échelle de déformation} = \frac{w_{\text{ouvrage}}}{w_{\text{modèle}}}$$

Pour  $\lambda_d = \lambda$ , la similitude selon la loi de Hook est rigoureuse.

Afin de calculer les contraintes en utilisant le réseau des lignes isochromes, il est nécessaire de disposer d'un nombre suffisant de lignes. C'est la raison pour laquelle il est rarement possible de respecter le rapport  $\frac{\lambda_d}{\lambda} = 1$ .

Toutefois nous pouvons admettre que, si les déformations du modèle restent petites par rapport à ses dimensions géométriques, l'état de contrainte du modèle reste semblable à celui de l'ouvrage, même si l'échelle des longueurs n'est pas valable pour les déformations. Ainsi nous pouvons effectuer pour chaque cas de charge le passage à la réalité selon la relation

$$\sigma_{\text{ouvrage}} = \frac{K}{\lambda \cdot \theta} \cdot \sigma_{\text{modèle}} = \frac{K}{\lambda \cdot \theta} \cdot m \cdot C_{\text{modèle}}$$

où  $K$  = échelle des forces ;

$\theta$  = échelle des épaisseurs ;

$$C_{\text{modèle}} = \frac{C}{e} = \text{constante photoélastimétrique du modèle} ;$$

$m$  = numéro d'ordre des lignes isochromes.

Les facteurs de proportionnalité découlant de cette équation sont indiqués sur les figures représentant les photographies des isochromes.

L'échelle de déformations se calcule selon

$$\lambda_d = \frac{w_{\text{ouvrage}}}{w_{\text{modèle}}} = \frac{K}{\theta} \cdot \frac{E_{\text{modèle}}}{E_{\text{ouvrage}}}$$

L'essai exposé est l'exemple d'application pratique de la photoélasticité dans le cadre des problèmes d'élasticité qui se pose souvent à l'ingénieur.

TABLEAU 1

Coupe I-I

Valeurs et directions des contraintes principales sur l'ouvrage

Point n°	$\sigma_I$	$\sigma_{II}$	$\varphi_{II}$
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	degrés
0	0	— 19,6	90
0,5	+ 0,6	— 12,6	70
1	+ 0,1	— 11,9	62
2	+ 0,1	— 9,2	55,5
3	— 0,6	— 8,2	50
4	— 0,7	— 7,9	47
6	— 0,0 <sup>2</sup>	— 7,2	40,5
8	+ 1,1	— 6,6	35
10	+ 2,2	— 6,0	31
12	+ 3,2	— 5,4	27
14	+ 4,2	— 4,7	22,5
16	+ 5,1	— 3,8	16
18	+ 5,5	— 3,2	10
20	+ 5,1	— 2,8	3
21	+ 4,2	— 2,8	0,5
22	+ 3,4	— 2,8	1
24	+ 1,6	— 3,1	7
25	+ 1,3	— 3,6	12
26	+ 1,0	— 4,1	16
28,5	0	— 6,0	27,8

$\varphi_{II}$  = angle définissant la direction de la contrainte principale  $\sigma_{II}$  mesuré par rapport à la verticale.

TABLEAU 2

Coupe II-II

Valeurs et directions des contraintes principales sur l'ouvrage

Point n°	$\sigma_I$	$\sigma_{II}$	$\varphi_{II}$
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	degrés
0	0	— 19,6	90
0,5	— 1,2	— 15,5	83
1	— 2,5	— 13,0	79
2	— 3,1	— 10,2	67,5
3	— 3,4	— 8,1	60,5
4	— 3,4	— 6,6	55
6	— 1,9	— 4,0	26,5
8	— 0,7	— 2,8	8,5
10	+ 0,5	— 2,1	0
12	+ 1,9	— 1,6	— 2
14	+ 3,3	— 1,1	— 3
16	+ 4,9	— 0,7	— 2
18	+ 6,8	— 0,3	— 1
20	+ 8,5	— 0,0 <sup>4</sup>	— 0,5
21	+ 9,5	0	0

## DIVERS

### Thermodynamique

#### des machines à fluide compressible

*A propos du volume publié par M. GEORGES BRUN.<sup>1</sup>*

Le livre de M. Georges Brun est un des rares ouvrages de thermodynamique, en langue française, qui soit spécialement destiné aux ingénieurs. En effet, la plupart des ouvrages ressortissant à ce domaine sont rebutants pour l'ingénieur à cause de leur caractère abstrait et

<sup>1</sup> *Thermodynamique des machines à fluide compressible*, par GEORGES BRUN, professeur à l'Ecole nationale supérieure des Mines de Paris. J. et R. Sennac, éditeurs-imprimeurs, Paris, 1959. — 921 pages plus trois diagrammes thermodynamiques.

parce qu'ils n'approchent pas assez les problèmes tels qu'ils se posent dans la pratique. Au contraire, M. Brun a fourni un effort considérable d'adaptation aux besoins de l'ingénieur et les théories qu'il développe témoignent du souci constant de les rendre immédiatement utilisables.

L'exposé du premier principe de la thermodynamique donne lieu à une analyse très détaillée des différentes formes d'énergie qui interviennent en thermique. L'auteur introduit l'énergie de frottement et l'énergie cinétique de façon à donner à ses exposés le caractère de thermodynamique irréversible et dynamique dont les ingénieurs ont besoin. Toutefois, il n'a pas introduit l'énergie potentielle de position d'une façon systématique dans les calculs, ce qui réduit quelque peu le caractère de généralité des relations présentées. Il est vrai que, dans la majorité des machines thermiques, les