

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

Sonstiges

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: 27.01.2026

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

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

où

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

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

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 ;

θ = 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

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

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°	σ_I	σ_{II}	φ_{II}
	kg/cm ²	kg/cm ²	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 ²	— 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

φ_{II} = angle définissant la direction de la contrainte principale σ_{II} mesuré par rapport à la verticale.

TABLEAU 2

Coupe II-II

Valeurs et directions des contraintes principales sur l'ouvrage

Point n°	σ_I	σ_{II}	φ_{II}
	kg/cm ²	kg/cm ²	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 ⁴	— 0,5
21	+ 9,5	0	0

DIVERS

Thermodynamique

des machines à fluide compressible

A propos du volume publié par M. GEORGES BRUN.¹

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

¹ *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

variations d'énergie potentielle de position sont tout à fait négligeables. Mais il serait utile de disposer des relations les plus générales pour résoudre certains problèmes particuliers, comme par exemple celui de la détermination du rendement d'une turbine hydraulique par la méthode thermodynamique.

Au sujet des propriétés des gaz, l'auteur fait une heureuse discrimination entre :

1. Les gaz *réels*, caractérisés par le fait que les chaleurs spécifiques à volume constant et à la pression constante, l'énergie interne et l'enthalpie, dépendent de deux fonctions d'état (par exemple : la température et la pression).
2. Les gaz *semi-parfaits*, caractérisés par le fait que les grandeurs précédentes ne dépendent que de la température et
3. Les gaz *parfaits*, caractérisés par le fait que les chaleurs spécifiques sont constantes, ce qui entraîne le fait que l'énergie interne et l'enthalpie sont des fonctions linéaires de la température.

En ce qui concerne le calcul des transformations thermodynamiques, l'auteur fait une analyse très poussée de toutes les transformations typiques. Dans cette étude, il a admis que les transformations étaient réversibles. Remarquons que cela n'est pas indispensable. En effet, il est possible de faire une étude moins restrictive en ne faisant aucune hypothèse sur le caractère de réversibilité ou de non réversibilité des transformations. On peut calculer d'une part la somme du travail fourni par le fluide à l'extérieur et de la dissipation et d'autre part la somme de la chaleur reçue par le fluide de l'extérieur et de la dissipation. Dès lors, les transformations réversibles apparaissent comme des cas particuliers obtenus en annulant simplement la dissipation dans toutes les relations établies.

Pour les transformations réelles dans les machines fonctionnant en régime permanent, l'auteur examine en détail les transformations adiabatiques irréversibles et introduit soigneusement les différentes définitions de rendement qui sont utiles. Il étudie aussi à fond les transformations étagées telles qu'elles se présentent dans les turbomachines. Toutefois, comme dans le chapitre sur les transformations et dans celui sur les turbines à vapeur, il n'introduit pas l'énergie cinétique de façon systématique dans les calculs, ce qui diminue quelque peu la généralité des résultats obtenus.

D'autre part, comme dans le chapitre sur les turbines à vapeur et dans celui de la thermodynamique des écoulements, l'auteur reprend les notions de « hauteur de refoulement » et « hauteur de chute » qui sont des héritages de l'hydraulique traditionnelle.

On justifie souvent ces notions en disant qu'elles sont familières au praticien à cause de leur caractère concret. Cet argument, qui est déjà contestable en hydraulique, l'est encore plus en thermique, puisque les « hauteurs de refoulement » pour un compresseur ou les « hauteurs de chute » pour une turbine se chiffrent souvent par dizaines de milliers de mètres.

D'autre part, il n'est pas logique de considérer les *énergies pondérales*, c'est-à-dire les énergies rapportées à l'unité de poids de fluide traversant une machine, puisque le poids dépend de l'accélération terrestre au point considéré. Au contraire, il est logique de considérer les *énergies massiques*, c'est-à-dire les énergies rapportées à l'unité de masse du fluide traversant la machine. Nous considérons comme une tradition regrettable la division de toutes les énergies massiques par l'accélération terrestre g . Cet usage conduit à faire figurer g dans tous les termes ou l'accélération terrestre n'a rien à dire (exemples : énergie de pression, énergie cinétique, énergie de frottement) et à faire disparaître g du seul terme où l'accélération terrestre doit intervenir, c'est-à-dire dans l'énergie potentielle de position.

Les notions de « hauteur de refoulement » et « hauteur de chute » sont donc des survivances s'expliquant

par le fait que, historiquement, la thermique a suivi l'hydraulique. Mais il semble que, dans l'état actuel des connaissances, c'est bien l'hydraulique qui devrait être considérée comme un cas particulier de la thermique, un fluide incompressible étant bien un cas particulier de fluide compressible. Il est donc plus logique de décrire les performances d'une turbomachine quelconque en parlant d'*énergie par unité de masse* du fluide traversant la machine, ce qui s'exprime par exemple en Joule par kilogramme-masse.

Pour les transformations réelles dans les machines fonctionnant en régime périodique, l'auteur examine d'une façon très approfondie le problème extrêmement complexe d'un écoulement en régime transitoire. Il arrive à décomposer le phénomène en faisant appel à une schématisation très intéressante.

L'exposé du second principe de la thermodynamique donne lieu à une étude très sérieuse des notions de réversibilité et d'irréversibilité. L'auteur analyse en détail les pertes énergétiques dues à la dissipation et à une transmission de chaleur sous chute de température, soit avec le milieu extérieur, soit au sein du système lui-même.

En ce qui concerne les équilibres physiques et chimiques, l'auteur définit la variance d'une masse fluide complexe de constitution donnée, puis décrit les lois auxquelles elle obéit.

Puis, l'auteur examine les propriétés des fluides réels purs et des gaz de composition fixe, ce qui le conduit à une description très complète des différents diagrammes thermodynamiques, en particulier du diagramme de Clapeyron, du diagramme entropique et du diagramme de Mollier.

L'auteur traite ensuite le calcul des transformations dans les machines thermiques à vapeur et frigorifiques. A cette occasion, il étudie le comportement thermodynamique d'une vapeur humide et les phénomènes de retard à la condensation.

Puis, il examine les propriétés des mélanges chimiquement inertes, ainsi que la liquéfaction et la séparation des mélanges gazeux.

Plus loin, il présente une étude très approfondie des réactions chimiques. Il passe en revue les notions de base utilisées dans ce domaine, puis il décrit minutieusement les phénomènes de réaction brutale, de réaction d'équilibre et de retard à l'équilibre. Ce chapitre présente un intérêt tout particulier pour les ingénieurs à cause de sa présentation très concrète.

L'auteur parle ensuite des chaufferies et des moteurs à combustion interne, en particulier des turbines à gaz à combustion interne, des moteurs à explosion, des moteurs Diesel et des machines à pistons libres. Le problème de la suralimentation et celui de la récupération de l'énergie résiduelle des gaz d'échappement sont également traités.

Le chapitre suivant est réservé à l'étude de l'énergie utilisable. Il n'est pas exagéré de dire que cette notion est une des notions de thermodynamique les plus précieuses pour l'ingénieur. C'est aussi l'une des plus difficiles à exposer car le concept de perte thermodynamique est beaucoup plus ardu que celui de perte mécanique ou électrique. A cet égard, l'auteur a le grand mérite de faire un exposé très clair du sujet. Comme il l'a remarqué lui-même, cet exposé est encore susceptible d'être amélioré en tenant compte des variations d'énergie cinétique et potentielle.

Plus loin, l'auteur discute les différentes transformations pouvant être considérées en thermodynamique. Il utilise pour cela plusieurs critères de comparaison qui le conduisent à opposer les transformations théoriques aux transformations réelles, les transformations parfaites aux transformations imparfaites et les transformations simples aux transformations avec échanges internes.

L'auteur traite ensuite la thermodynamique des

écoulements de fluide compressible d'une façon très complète, ce qui l'amène à examiner en détail le problème des ondes de choc stationnaires à front normal et oblique ainsi que celui de la détente pivotante.

Le dernier chapitre est consacré au calcul sommaire des échangeurs thermiques à convection forcée.

L'auteur présente encore 180 exercices relatifs aux différents chapitres de son ouvrage, ainsi que tous les corrigés de ces exercices. Il s'agit d'un apport qui présente un intérêt considérable, car il donne au travail de M. Brun un caractère essentiellement pratique.

Enfin, l'auteur présente en appendices un certain nombre de compléments qui constituent des développements de problèmes spéciaux. Relevons en particulier une étude sur les propriétés thermiques des fluides purs et un très intéressant exposé sur les conditions de similitude pour les écoulements de fluide compressible.

Signalons aussi que l'ouvrage comporte en annexe un diagramme $i-s$ pour la vapeur d'eau et un diagramme $T-s$ pour l'ammoniac.

En ce qui concerne le système d'unités employé, il est à relever que toutes les applications numériques présentées ont été traitées à l'aide du système technique, dont les unités fondamentales sont le mètre, le kilogramme-force et la seconde. Il est vrai que ce système a prévalu pendant de nombreuses années et que tout ingénieur doit savoir l'utiliser. Mais l'évolution de la technique tend de plus en plus à implanter le système M.K.S.A. (ou Giorgi) dont les unités fondamentales sont pour les mécaniciens le mètre, le kilogramme-masse et la seconde. Comme ce système présente effectivement des grands avantages, il serait souhaitable de l'introduire en thermique d'une manière généralisée.

Au point de vue de la progression de la pensée, l'ordre suivi par M. Brun dans son ouvrage présente un caractère d'originalité dû au fait que l'exposé du second principe de la thermodynamique est repoussé bien après celui des propriétés des fluides et le calcul des transformations thermodynamiques. Il en est de même en ce qui concerne la notion d'énergie utilisable. L'auteur justifie cette progression en disant que le fait de manier des grandeurs abstraites avant de les avoir définies complètement atténue leur caractère abstrait et permet de les définir plus tard avec plus de succès. Peut-être l'efficacité de cette méthode dépend-elle dans une large mesure des connaissances antérieures et de la tournure d'esprit du lecteur, car certaines personnes n'utilisent des grandeurs non définies complètement qu'avec une certaine circonspection.

D'une manière globale, l'ouvrage de M. Brun donne une impression de clarté malgré l'abondance de la matière et la diversité des sujets abordés. Une de ses principales qualités réside dans la précision de la terminologie employée. Le lecteur est également très sen-

sible à la fluidité de la langue et à l'élégance du style de M. Brun.

En résumé, l'ouvrage de M. Brun représente un travail considérable et constitue une référence de grande valeur à cause de l'étendue de sa documentation. Il est dans l'ensemble d'une haute tenue scientifique et technique. Malgré cela, il est facilement abordable par l'ingénieur, car le côté pratique des grandes réalisations dans le domaine des machines thermiques transparaît constamment en filigrane dans tous les développements présentés.

L. BOREL.



JEAN TSCHUMI, architecte

1904-1962

NÉCROLOGIE

Jean Tschumi, architecte
(1904-1962)

L'architecte Jean Tschumi, dont la mort subite, le 25 janvier dernier, a frappé de stupeur le monde des architectes, était de ceux qui marquent toute une génération.

Pour tous les architectes qu'il a formés, dans cette Ecole d'architecture de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne, à laquelle il a donné en peu d'années une renommée mondiale, il était resté « le patron ».

Aux yeux de tous les autres, il était le chef de file incontesté, le conseiller aux avis sûrs, le guide écouté.

Dans une adresse à ses élèves, Jean Tschumi les invitait à se pénétrer de ce que devait être « l'architecte au sens profond du mot, l'architecte complet

digne de ce nom ». Cet architecte, il l'était, dans toute l'acception du terme.

Il l'était par sa formation : né à Genève, le 18 février 1904, il avait commencé par un apprentissage à Lausanne. Il avait poursuivi ses études au Technicum cantonal de Biel avant d'être attiré par l'Ecole des Beaux-Arts de Paris. C'est là, dans la fréquentation quotidienne de condisciples aujourd'hui illustres, de patrons dont il a beaucoup reçu, qu'il a acquis les bases qui devaient lui permettre de monter si haut.

Il l'était par sa manière d'aborder et de résoudre les problèmes du métier, inlassable chercheur rompu à toutes les disciplines, informé mieux que nul autre de tous les progrès techniques, les provoquant même par ses propres exigences, inflexible dans ses décisions une fois qu'il avait pris parti.

Il l'était par son enseignement nourri aux sources d'un classicisme lucide mais profondément humain et qui aida lui-même à sa formation, puisque aucun homme ne peut se dire complet dans son métier s'il ne forme pas de disciples.

Il l'était par la part considérable qu'il a prise à l'activité des organisations professionnelles et par la contribution exceptionnelle qu'il a apportée au pays au sein de tant de conseils, de jurys et de commissions.

Il l'était, enfin, par son comportement d'homme,