

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 62 (1936)
Heft: 10

Artikel: Considérations sur les pertes de charge des usines hydro-électriques à haute chute
Autor: Mathys, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-47577>

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: 04.05.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 12 francs

Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 10 francs

Etranger : 12 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements
s'adresser à la librairie
F. Rouge & C^{ie}, à Lausanne.

Paraissant tous les 15 jours

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. — Organe de publication de la Commission centrale pour la navigation du Rhin.

COMITÉ DE RÉDACTION. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève. — Secrétaire : EDM. EMMANUEL, ingénieur, à Genève. — Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; A. ROSSIER, ingénieur ; *Vaud* : MM. C. BUTTICAZ, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. ODIER, architecte ; CH. WEIBEL, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur cantonal ; E. PRINCE, architecte ; *Valais* : MM. J. COUCHEPIN, ingénieur, à Martigny ; HAENNY, ingénieur, à Sion.

RÉDACTION : H. DEMIERRE, ingénieur, 11, Avenue des Mousquetaires,
LA TOUR-DE-PEILZ.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DU BULLETIN TECHNIQUE

A. DOMMER, ingénieur, président ; G. EPITAUX, architecte ; M. IMER ; E. SAVARY, ingénieur.

ANNONCES

Le millimètre sur 1 colonne,
largeur 47 mm. :

20 centimes.

Rabais pour annonces
répétées.

Tarif spécial
pour fractions de pages.

Régie des annonces :
Annonces Suisses S. A.
8, Rue Centrale (Pl. Pépinet)
Lausanne

SOMMAIRE : *Considérations sur les pertes de charge des usines hydro-électriques à haute chute*, (suite et fin), par G. MATHYS, ingénieur à la Société suisse d'électricité et de traction, à Bâle. — *Quelques remarques en marge de la théorie du coup de bélier. Réponse aux « Considérations sur le coup de bélier », de MM. Calame et Gaden*, par CH. JÄGER, D^r-ing. — DIVERS : *Pour sauvegarder notre économie extérieure. — Routes et autoroutes.* — NÉCROLOGIE : *Anthelme Boucher* (hors texte). — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS.

Considérations sur les pertes de charge des usines hydro-électriques à haute chute,

par G. MATHYS, ingénieur à la Société suisse d'électricité
et de traction, à Bâle.

(Suite et fin.)¹

Pertes de charge dans les galeries.

1. Les galeries peuvent, elles aussi, provoquer de fortes pertes de charge. Dans la règle, la vitesse de l'eau y est sensiblement moins élevée que dans les conduites forcées ; mais si on a de tous temps apporté un soin extrême à l'exécution des conduites forcées, il n'en a pas toujours été de même pour les galeries. Le D^r Büchi signalait le fait, il y a quelques années déjà², et l'auteur a eu l'occasion de faire des observations sur des galeries d'une exécution extrêmement défectueuse, ne permettant pas, malgré tous les moyens employés, d'en mesurer le coefficient d'écoulement. Les changements de pente et de section, les modifications brusques de direction, les passages sans transition d'un profil à l'autre, les variations considérables de rugosité des parois et même les contrepentes du radier provoquaient un écoulement des plus turbulent. On peut admettre que de tels défauts ne se rencontrent plus que dans des installations anciennes et que les galeries modernes ont des sections constantes à rugosité uniforme et sont aménagées avec pente régulière

et grands rayons de courbure. On ne craint plus de les placer à bonne distance de la surface du terrain dans les couches stables, ce qui évite de leur faire suivre les sinuosités du sol et en rend le tracé plus rectiligne. Les défauts des anciennes galeries et l'incertitude où on était de la valeur exacte de leur coefficient d'écoulement obligeaient les ingénieurs à donner une pente exagérée aux galeries à écoulement libre. Cette pente représentait une perte sèche, qui ne pouvait être récupérée même en partie, quel que fût le régime d'écoulement de l'eau.

2. La construction de galeries en pression a permis de s'affranchir en partie de cette sujétion. D'après la formule de Strickler, la perte de charge $J = v^2 : k^2 R^4$ varie en effet avec le carré de la vitesse de l'eau, de sorte que, dans une galerie en pression où la perte de charge est modérée sous fort débit, elle se réduit fortement encore, lorsque le débit diminue.

3. La substitution de galeries à section circulaire répondant à une perte de charge minimum, aux galeries à section en fer à cheval, autrefois en usage, contribue également à réduire la perte de charge dans une grande mesure. En 1927, M. Meyer-Peter avait déjà signalé la chose.

4. Le coefficient d'écoulement des parois et du radier des galeries joue un rôle considérable, mais sa valeur exacte est encore très mal connue.

Le tableau I réunit les valeurs du coefficient d'écoulement d'un certain nombre de galeries suisses. Les valeurs publiées par Strickler¹ sont désignées par S,

¹ Voir *Bulletin technique* du 25 avril 1936, page 97.

² M. BÜCHI, Rauigkeitskoeffizienten von ausgeführten Kanälen, insbesondere von verkleideten und unverkleideten Stollen. « Schweiz. Bauzeitung », 24 sept. 1927.

¹ D^r A. STRICKLER, Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen, « Mitteilungen des Amtes für Wasserwirtschaft », 1923.

Pertes de charge en galerie.

Tableau I.

Valeurs du coefficient d'écoulement k , répondant à la formule de Strickler, établies pour une série de galeries suisses relativement anciennes.

Désignation	Section <i>m</i> ²	Longueur <i>m</i>	Vitesse <i>m</i> : <i>s</i>	Débit <i>m</i> ³ : <i>s</i>	Coefficient <i>k</i> de Strickler	Pro- venance	Remarques
I. Enduit lissé sur béton.							
1. Löntsch	4,77	4130	3,77	18,0	97,0	MP	Galerie sous pression.
2. Kubel Sitter	0,623	3919	0,879	0,547	89,2	S MP	Moyenne de 5 observations.
	à 2,76	—	à 1,498	à 4,135	—		
3. Navizance-Chippis . . .	3,77	8493	1,59	6,0	89,0	MP	Sections inégales, vitesses varia- bles, écoulement torrentiel.
	3,17	—	3,65	11,55	89,0	St.	
	2,10	5903	2,48	5,22	73,0	B	
4. Sauterot-Vex.	2,50	260	3,56	8,80	86,5	B	Très bonne exécution ; lissage excel- lent ; radier très bien fait.
	2,48	2811	3,59	8,80	85,0		
	2,42	1106	3,68	8,80	90,7		
	2,80	635	3,18	8,80	83,4		
5. Simme (Spiez)	4,53	2592	1,31	7,0	86,5	S MP	Légères divergences entre <i>MP</i> et <i>S</i> .
6. Kallnach	26,2	2100	2,72	60,0	80,6	S MP	
7. Rempen	9,30	441,4	3,17	29,5	91,7	BW	Gunité lissée (coefficient admis) ; béton brut (calculé) ; moyenne mesurée.
Section circul., 3,44 et	10,20	2837	2,90	29,5	74,1		
3,60 m de diamètre					76,6		
Siebnen	9,40	399	3,50	32,9	91,7	BW	Gunité lissée (coefficient admis) ; béton brut (calculé) ; moyenne mesurée.
Section circul., 3,46 et	10,20	2115	3,22	32,9	73,6		
3,60 m de diamètre . .					76,2		
8. Albula	7,387	7314	2,17	16,0	72	MP	Galerie sous pression ; moyenne de 6 observations.
9. Mühleberg	19,7-		2,02-	52,63-	69,2	S	
	26,6		13,6	335,93			
II. Parois lissées, radier pavé.							
10. Finge-Chippis	15,96	2312	3,32	53,0	73,2	B	Moyenne de 3 mesures.
III. Galerie à profils variables.							
11. Biaschina	8,10	8900	2,10	17,0	63,8	MP	Env. 900 m en canal à flanc de coteau, galerie à revêt. lissé et en rocher brut revêtu de ciment.
IV. Parois et radier en rocher brut enduit de mortier de ciment.							
12. Martigny-Bourg	5,22	3774	1,53	8,0	52,1	MP	Parois et radier bruts enduits de mortier de ciment Portland.
	4,99		2,01	10,0	50,2	S	
13. Tourtemagne	3,32	1505	0,508-	1,688-	40-	B	Rocher brut gunité, <i>k</i> établi par supputation.
			0,882	2,825	52		
V. Parois en rocher brut, radier bétonné.							
14. Luette-Sauterot	1,55	300	1,55	2,40	50,0	B	Parois en rocher brut, radier bé- tonné.
	2,71	300	1,85	5,00	50,5	B	
15. Ackersand	3,07	10 700	1,14	3,50	50,2	MP	idem.
	3,00		1,33	4,00	45,0	S	
VI. Parois et radier en rocher brut.							
16. Luette-Sauterot	1,91	1300	1,26	2,40	39,0	B	Parois et radier en rocher brut.
	2,64	1300	1,59	4,20	44,3	B	
	4,19	1300	1,56	6,55	39,1	B	
17. Klosters-Küblis	6,88	4438	1,67	11,5	38,8	MP	idem.
18. Gampel II	2,70		1,11	3,0	35,6	S	idem.
19. Barberine	4,25	1749	1,64	7,0	32,4	MP	idem.

celles de Meyer-Peter¹ par $M-P$, celles de Büchi adaptées à la formule de Strickler par B et enfin celles établies par la direction des travaux de l'usine du Wäggital² par BW . A première vue, les valeurs portées au tableau semblent concorder assez bien, mais si on les examine de plus près, on s'aperçoit qu'elles sont loin d'offrir toute garantie. Par exemple, le coefficient d'écoulement de la galerie de la Navizance est de 89 d'après les publications de Strickler et de Meyer-Peter. M. Büchi, ayant étudié cette galerie plus tard, y a constaté des vitesses très variables, a réduit la longueur du tronçon observé de 8493 à 5903 m et trouvé $k = 73$. La galerie de l'usine de Martigny-Bourg a 3774 m de long et est, en partie, à écoulement libre et en partie en pression. On ne comprend pas dès lors qu'on ait pu lui attribuer un coefficient d'écoulement unique. La galerie de la Biaschina, qui passe fréquemment en canal, a des tronçons bétonnés et d'autres en rocher brut; cependant elle ne figure qu'avec un coefficient unique au tableau. Les deux galeries du Wäggital et celle de Tourtemagne sont formées de tronçons de profils différents. On en a mesuré la perte de charge totale, admis le coefficient d'écoulement de certains profils et calculé celui des autres. Ce procédé n'a

rien d'absolu. A l'exception des galeries de Kubel, Mühleberg et de Finge-Chippis, toutes les valeurs de k portées au tableau I reposent sur une seule observation. Or, l'expérience montre que k varie dans une certaine mesure avec la vitesse de l'eau, de sorte qu'il paraît indispensable de l'établir au moyen d'un minimum de 4 à 5 mesures.

Le tableau II donne le résultat d'une série de mesures faites récemment en Italie par M. Scimemi¹, et par la Société Méridionale d'Electricité² et, en Suisse par la Motor Columbus³. Les chiffres à l'avant-dernière colonne de ce tableau renvoient aux publications correspondantes. Toutes les galeries, sauf celles de Cardano et de Nove, sont à section circulaire. Le tableau indique le nombre de mesures qui varie de 4 à 29, les vitesses-limites et les valeurs extrêmes et moyennes du coefficient k . Si on excepte la galerie de Nove à revêtement spécial ($k = 43,1$), celle de Piottino en béton brut ($k = 76,8$) et celle du Terzo Salto Neto à lissage au ciment plastique Arco ($k = 86,0$), on constate que, pour toutes les autres galeries qui semblent lissées au ciment portland, k varie

¹ Prof. Dr ETTORE SCIMEMI, « L'Energia elettrica », sept./nov. 1933.

² Soc. MERIDIONALE DI ELETTRICITA, Determinazione sperimentali dei coefficienti di scabrezza di grandi gallerie et condotte forzate in cemento armato, « L'Energia elettrica », avril 1935.

³ MOTOR-COLUMBUS, L'impianto Piottino delle Officine elettriche ticinesi S. A. Bodio 1933.

Pertes de charge en galerie.

Tableau II.

Valeurs du coefficient d'écoulement k , répondant à la formule de Strickler, pour une série de conduites forcées en béton et de galeries sous pression de l'Italie et du Tessin d'exécution récente.

Désignation	Section	Longueur m	Vitesse m : s	Coefficient k	Nombre de mesures	Coefficient k moyen	Prove- nance	Remarques
1. Piave Ansiei, Alto Cadore . .	Galerie circul., 2,50 m de diamètre.	1873	1,00- 2,84	99,5- 114,5	7	109,1	1	Béton à enduit lissé. Exécution 1932.
2. Piave Ansiei, Alto Cadore . .	Galerie circul., 3,60 m de diamètre.	4827	0,95- 1,37	101- 110	5	105,6	1	Béton avec enduit lissé. Exécution 1932.
3. Livenza . . .	Galerie circul., 3,80 m de diamètre.	4222,75	0,843- 3,100	91,5- 102,0	5	97,3	1	Béton armé, enduit lissé à la main. Exécution 1930.
4. Castelletto . . .	Galerie circul., 2,42 m de diamètre.	1520	0,857- 1,375	91,0- 97,5	4	93,9	1	Béton armé, enduit lissé à la main. Exécution 1932.
5. Partidor . . .	Galerie circul., 3,05 m de diamètre	914,0	0,666- 2,060	86,0- 103,2	9	93,9	1	Béton armé, enduit lissé à la main. Exécution 1917.
6. Terzo Salto Neto	Conduite forcée en béton armé, 3 m de diamètre	1443,45	1,24- 4,10	77,4- 93,3	14	86,0	2	Revêtement de gunite, lissé au ciment plastique Arco.
7. Cardano . . .	Galerie en fer à cheval, à écoulement libre.	14 843	2,21- 3,58	79,0- 88,0	7	83,9	1	Béton à revêtement en ciment lissé.
8. Monte Piottino	Galerie circul., sous pression 2,90 et 3,0 m de diamètre.	8900	0,622- 1,77	76,3- 78,1	6	76,8	3	Béton lissé sans enduit de revêtement.
9. Primo Salto Ampollino . . .	Galerie circul., sous pression, 2,50 m de diamètre.	4190,08	0,375- 1,92	70,8- 74,0	8	72,0	2	Béton recouvert d'un enduit lissé.
10. Arvo Ampollino	Galerie circul., sous pression, 2,60 m de diamètre.	2675,90	1,72- 2,03	70,4- 72,7	29	71,6	2	Béton recouvert d'un enduit de ciment lissé.
11. Nove	Galerie en fer à cheval	3321,0	1,043- 3,775	41,3- 45,0	12	43,1	1	Revêtement 2600 m béton brut, 721 m béton lissé fin aux pieds-droits, voûte gunitée.

dans les limites très étendues de 71,6 à 109,1, et on peut se demander la raison d'une telle divergence qui semble tenir à des causes toutes fortuites. Est-ce la nature du sable employé, son grain, la manière de faire le lissage ou toute autre cause qui provoque de telles différences ? Il serait extrêmement intéressant de fixer ce point, car il se peut très bien qu'une faible dépense supplémentaire permette de réaliser désormais une grande amélioration du coefficient d'écoulement. Ce qui frappe aussi, c'est que la galerie de Piottino en béton brut a un coefficient $k = 76,8$ supérieur à celui de plusieurs galeries de diamètre semblable revêtues d'enduit lissé.

L'influence du coefficient d'écoulement ressort de l'exemple suivant. L'usine de Cardano¹ possède une galerie en fer à cheval à écoulement libre de 14 843 m de longueur, à 31,4 m² de section libre et 29,0 m² de section mouillée (N° 7 du tableau II), à laquelle fait suite une galerie-réservoir. La perte de charge de la galerie en fer à cheval est de 11,00 m, quel que soit son débit.

Si on la remplaçait par une galerie sous pression de même section, de forme circulaire, qui aurait 6,3 m de diamètre, la perte de charge pour $k = 83,9$ (tableau II) serait :

Débit minimum	25 m ³ /s	$I_{tot} = 0,73$ m
» moyen	60 »	» = 4,18 m
» maximum	90 »	» = 9,33 m

et si le coefficient d'écoulement était de 110

Débit minimum	25 m ³ /s	$I_{tot} = 0,43$ m
» moyen	60 »	» = 2,43 m
» maximum	90 »	» = 5,45 m

En remplaçant la galerie actuelle par une galerie sous pression, de forme circulaire de même section et de même rugosité, on aurait réalisé une économie de 6,92 m et si le coefficient d'écoulement avait pu être poussé à 110 de 8,67 m, soit 4,67 % de la chute brute. Cet exemple particulièrement probant, montre le gain de chute nette qu'il serait possible de réaliser dans certains cas en remplaçant une galerie à écoulement libre et à section en fer à cheval par une galerie en pression à parois très lisses, étant bien entendu que les questions de prix de revient peuvent, dans bien des cas, interdire l'exécution de ce qui paraît, à première vue, constituer un grand avantage.

Si on réfléchit aux efforts coûteux et de longue haleine consacrés par les constructeurs à l'amélioration du rendement des turbines, efforts qui ne se traduisent souvent que par un gain de 1 à 2 %, on se rend compte, par l'exemple ci-dessus et par celui qui a été cité à propos des conduites forcées, qu'on pourrait réaliser, dans la plupart des installations hydro-électriques à haute chute, un gain bien plus considérable avec moins d'efforts et de frais. Mais il faut, pour y arriver, étudier la question des coefficients d'écoulement d'une façon systématique. La commission, dont nous avons parlé plus haut, est à même de réaliser

ce programme, à condition toutefois que les intéressés veuillent bien mettre à sa disposition les moyens financiers nécessaires.

Il serait, avant tout, intéressant de mesurer les coefficients d'écoulement sur des tronçons de galerie à section rigoureusement constante et à vitesse uniforme de l'eau. Mais s'il est déjà difficile de réaliser la chose pour une galerie à écoulement libre où, grâce aux fenêtres plus ou moins nombreuses, on peut accéder en différents points et limiter la longueur des tronçons observés, le problème devient plus ardu dans le cas de galeries sous pression ne présentant pas la même section sur tout leur parcours. Ce problème ne semble cependant pas insurmontable, car en se servant d'un tuyau de cuivre de faible diamètre et de grande longueur, placé à l'intérieur de la galerie, on peut transmettre à distance, aux endroits accessibles, la pression qui agit aux extrémités du tronçon observé. Le Dr Marchetti s'est servi avec succès de tels tuyaux pour l'étude des coefficients d'écoulement des conduites forcées italiennes.

5. Dans les galeries encore plus que dans les conduites forcées, le vieillissement accompagné de la formation de dépôts de toute nature sur les parois, doit diminuer considérablement la valeur du coefficient d'écoulement et augmenter par conséquent la perte de charge. Cette modification est sans grande conséquence pour les galeries à écoulement libre, auxquelles on donne en général un excès de pente, mais elle est d'autant plus sensible pour les galeries sous pression, où elle provoque une augmentation constante de la perte de charge et une diminution du rendement total de l'installation. Cette question des moyens propres à éviter les dépôts dans les galeries mérite, elle aussi, toute l'attention des ingénieurs.

Conclusions.

Il résulte de ce qui précède que des efforts sérieux ont été tentés pour améliorer le rendement des ouvrages de génie civil des usines hydro-électriques à haute chute, mais qu'il y a encore beaucoup à faire pour porter ce rendement au même degré de perfectionnement que celui des turbines, des génératrices et des transformateurs.

L'année dernière, M. F. Wüthrich, ingénieur, a obtenu le premier prix au concours ouvert par la fondation Geiser de la S. I. A. sur les moyens de sauvegarder l'industrie suisse d'exportation. Dans son rapport, l'auteur arrive à la conclusion que l'industrie suisse se doit d'améliorer la qualité de ses produits. On pourrait ajouter que si les ingénieurs suisses tiennent à conserver la réputation qu'ils croient avoir à l'étranger, ils doivent eux aussi chercher à améliorer la qualité de leurs travaux.

Les règles générales à observer pour diminuer les pertes de charge des ouvrages de génie civil des usines hydro-électriques sont connues. Il suffit que chaque ingénieur les applique au mieux pour réaliser des travaux aussi conformes que possible au but poursuivi. Mais il règne encore une grande incertitude sur les coefficients d'écoulement des conduites forcées et des galeries.

¹ SOCIETÀ IDROELETTRICA DELL'ISARCO, Derivazione dall'Isarco fra Ponte all'Isarco e Cardano, « L'Energia elettrica », nov./déc. 1931.

L'assemblée, du 16 janvier dernier, convoquée par la Société suisse des ingénieurs et des architectes, a décidé de s'occuper de rechercher ces coefficients. Il serait fort à désirer que tous les intéressés reconnaissent la valeur de ces recherches et contribuent pour leur part à financer les études nécessaires.

Non seulement, on arriverait par là à améliorer sensiblement le rendement des nouvelles usines hydro-électriques à haute chute et celui des usines existantes, mais comme ces mesures seraient faites, en majeure partie, par de jeunes ingénieurs sans travail, on procurerait à ceux-ci une occupation intéressante et des plus utiles.

Bâle, février 1936.

Quelques remarques en marge de la théorie du coup de bélier.

Réponse aux « Considérations sur le coup de bélier », de MM. Calame et Gaden,

par CH. JAEGER, Dr-ing.

MM. Calame et Gaden ont publié, dans le « Bulletin technique »¹, une suite de trois articles intitulés : « Considérations sur le coup de bélier... », articles où ils prennent très vivement et très injustement à partie nos travaux sur le coup de bélier. Le sens général des « Considérations... » est le suivant : MM. Calame et Gaden pensent montrer que l'on peut, en partant d'une étude qu'ils publièrent en 1926², développer une théorie du coup de bélier dans les chambres d'équilibre qui soit entièrement indépendante de notre propre « Théorie générale », publiée en 1933 sous forme de thèse³. La démonstration de MM. Calame et Gaden ne s'appuie point — ainsi qu'on aurait pu s'y attendre et ainsi qu'il aurait été indiqué de le faire — sur des considérations de portée générale ou sur un examen des équations en présence, mais uniquement sur quelques comparaisons numériques. Sans jamais aller au fond des choses et sans rechercher la raison soit des concordances, soit des discordances de chiffres, nos contradicteurs en tirent des conclusions tout à fait générales et — nous le montrerons — tout à fait abusives qui condamnent définitivement, comme inutile et erroné, l'ensemble de notre travail⁴.

Nous ne répondons ici qu'aux objections principales qui nous sont faites⁵ :

I

Le point de départ de la discussion est l'étude publiée par MM. Calame et Gaden sur le coup de bélier dans les chambres d'équilibre, en tête de leur ouvrage de 1926.

¹ Voir *Bulletin technique* du 14 septembre 1935, du 23 novembre 1935 et du 29 février 1936. Voir également notre réponse provisoire « Les coups de bélier dans les conduites simples et dans les conduites complexes », du 26 octobre 1935, page 255.

² Calame et Gaden : « Théorie des chambres d'équilibre », Paris 1926.

³ Charles Jaeger : « Théorie générale du coup de bélier », Paris, Dunod, 1933.

⁴ Voir *Bulletin technique*, 1935, page 220.

⁵ Le lecteur consultera utilement, en plus des travaux de MM. Calame et Gaden et les nôtres, les publications de MM. de Sparre, Camichel-Eydoux-Gariel, Bergeron, Schnyder et Billings.

Le chapitre essentiel en est, sans conteste, celui consacré à la fermeture lente des conduites munies d'une chambre d'équilibre à leur extrémité supérieure. Or, il se trouve que MM. Calame et Gaden font, dans leur ouvrage (pages 44 et 45), une hypothèse simplificatrice. Celle-ci consiste à admettre que, dans le cas d'une conduite avec chambre d'équilibre, cette dernière reste rigoureusement sans influence sur la valeur des surpressions produites au bas de la conduite par une manœuvre de l'obturateur situé en ce point. Ils peuvent alors utiliser pour le calcul de cette valeur, deux formules qui ne tiennent pas compte de la présence de la chambre. Ce sont les deux formules publiées dès 1914 par de Sparre¹, et valables pour le cas d'une conduite de section constante, débouchant d'un bassin infini. Page 46 du même volume, MM. Calame et Gaden obtiennent alors deux autres formules donnant, dans le cas où l'influence de la chambre serait supposée *a priori* très petite, la valeur de la surcharge au bas de cette chambre. Nous citons la plus importante d'entre elles (formule (4) du *Bulletin technique*, page 280, 1935) :

$$(1) \quad B_m = c \frac{H_0}{Y_0} B_{*m} \quad \text{avec} \quad c = \frac{\mu' \rho'}{\mu'' \rho''}.$$

L'étude attentive de ce groupe d'équations nous avait amené à penser que :

a) L'extrapolation des formules de de Sparre valables pour une conduite simple sans chambre, au cas d'une conduite avec chambre, était difficile à justifier *a priori* pour le cas d'une chambre quelconque ; le groupe de quatre équations n'étant vraisemblablement valable que dans un domaine plus ou moins restreint, domaine que nos deux contradicteurs n'ont point défini en 1926.

b) Pour définir ce domaine et justifier ces formules, il était prudent d'aborder le problème du coup de bélier dans les chambres par une méthode plus générale, faisant provisoirement abstraction des hypothèses restrictives de MM. Calame et Gaden, quitte à revenir plus tard à leur exposé, si celui-ci se trouvait confirmé. Or, ce fut bien le cas, nos contradicteurs auront pu le vérifier. Leurs formules de 1926 peuvent, effectivement, être déduites, en faisant des hypothèses restrictives convenables, de nos formules plus générales données en 1933. MM. Calame et Gaden auraient pu se réjouir de cette concordance.

II

MM. Calame et Gaden ne semblent pas avoir admis ce mode de raisonnement. Le but de leurs articles de 1935-36

¹ Pour qu'il n'y ait aucun doute, nous citons les deux formules de de Sparre,

$$z_M = \frac{2Lv_0}{gT} \frac{1}{1 + \frac{v_0 a}{2gy_0} \left(1 - \frac{2L}{aT}\right)} \quad \text{et} \quad z_M = \frac{Lv_0}{gT} \frac{1}{1 - \frac{v_0 L}{2gTg_0}}$$

que l'on écrit bien, en posant : $\rho_* = \frac{av_0}{2gy_0}$, et $\theta = \frac{Ta}{2L}$,

$$B_{*n} = \frac{2\rho_*/\theta}{1 + \rho_*(1 - 1/\theta)} \quad \text{et} \quad B_{*m} = \frac{\rho_*/\theta}{1 - \frac{1}{2} \frac{\rho_*}{\theta}}$$

formules données par MM. Calame et Gaden. On arrive au même résultat en partant des formules d'Allievi, ce qui prouve indirectement l'équivalence des théories de de Sparre et d'Allievi.