Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 62 (1936)

Heft: 10

Artikel: Quelques remarques en marge de la théorie du coup de bélier: réponse aux "Considérations sur le coup de bélier", de MM. Calame et Gaden

Autor: Jaeger, Ch.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-47578

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

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 1926 [2], 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 thèse [3]. 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 travail [4].

Nous ne répondrons ici qu'aux objections principales qui nous sont faites [5] :

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. 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 Sparre [1], 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) :

$$\text{(I)} \qquad B_m = c\,\frac{H_o}{Y_o}\,B_{*m} \quad \text{avec} \quad c = \frac{\mu'\rho'}{\mu''\rho''}\,.$$

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] 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 Jæger :* « 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.

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

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

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

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

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.*

est de prouver que leur travail de 1926 offrait une base de départ solide, valable sans restrictions et rendant *a priori* inutile notre travail de 1933. Le mode de démonstration qu'ils adoptent nous étonne :

De leur travail de 1926 ils ne retiennent, en 1935-36 [1], que la seule formule (I), que nous avons citée plus haut. Mais aussitôt citée, ils l'abandonnent et introduisent une formule qu'ils donnent comme nouvelle, sans toutefois en tenter la moindre démonstration :

$$\text{(II)} \qquad B_m = \frac{c}{1+c} \cdot \frac{H_o}{Y_o} \cdot B_{*m}.$$

C'est avec cette formule qu'ils effectuent tous les calculs de leur second article, calculs qu'ils comparent à nos propres valeurs. Or, page 208 à 211 de notre « Théorie générale », nous avons donné une démonstration minutieuse, qui aboutissait, page 211, à notre formule (149) :

$$\text{(III)} \quad B_m = \frac{c \cdot \frac{1}{2} \frac{1+\alpha_m}{\alpha_{m-n}}}{1 + c \cdot \frac{1}{2} \frac{1+\alpha_m}{1-\alpha_m} \cdot \frac{1-\alpha_{m-n}}{\alpha_{m-n}}} \cdot \frac{H_o}{Y_o} B_{*m}.$$

Il suffit de remarquer que, dans le domaine où cette formule est valable, la fonction α_m, qui est la valeur limite de la fonction de réflexion définie dans notre thèse [2] reste comprise entre 0,95 et 1, pour qu'une simplification immédiate nous donne la formule (II). La seule démonstration connue à l'heure actuelle de la formule (II), est donc celle que l'on peut déduire de notre thèse. Nous avions donné en outre, page 211 également de notre thèse, une formule (150), valable pour $\alpha_{m-n} = \alpha_m = 1$ et $\rho' = \rho''$:

$$\text{(III}a\text{)} \qquad B_m = \frac{\frac{\mu'}{\mu''}}{1 + \frac{\mu'}{\mu''}} \cdot \frac{H_o}{Y_o} B_{*m},$$

qui n'est qu'une simplification de la formule (II) ; pour $\rho' = \rho''$ ce qui prouve sans conteste aucune, que cette dernière nous était connue.

Au point de vue numérique, au degré d'approximation requis, les formules (II) et (III) sont équivalentes, et l'on peut prétendre qu'elles ont le même domaine d'application. Ceci rend parfaitement inutiles les tableaux numériques de comparaison que MM. Calame et Gaden font suivre de commentaires ayant l'allure d'un bulletin de victoire [3] : La concordance de leurs calculs de 1935 et de nos valeurs de 1933 était certaine *a priori*.

Si, dans notre thèse, nous avons préféré maintenir la forme (III) et ne point mentionner la forme (II), c'est que la présence des facteurs en α_m est censée rappeler que le domaine d'application de la formule est restreint au domaine où la fonction α_m est réellement proche de sa limite 1 [4].

Il aurait été tout indiqué, au point de vue didactique, que MM. Calame et Gaden donnassent une démonstration directe, soit de la formule (II), soit de la formule (III), sans passer par le détour, un peu long, d'une étude rigoureuse. Nous nous étonnons qu'ils ne l'aient point fait.

Mais il est bien évident que la formule (II), contenant le facteur $\frac{c}{1+c}$ ne peut être déduite de la formule (I), qui ne contient que le facteur c. (I) et (II) sont en contradiction. Pour arriver à la formule (II), il faut nécessairement faire une hypothèse différente de celles faites en 1926 par MM. Calame et Gaden. Ceux-ci le reconnaissent d'ailleurs formellement, en écrivant qu'il faut, en ce cas, « tenir compte de l'influence de B_m au bas de la chambre » [1]. Or, c'est précisément là une hypothèse nouvelle, que MM. Calame et Gaden ont expressément refusé d'envisager dans leur ouvrage de 1926, page 44, hypothèse que nous avons par contre introduite pour la première fois dans notre thèse, en définissant de façon tout à fait générale la fonction de réflexion.

Nous voici donc en face d'un cas précis où MM. Calame et Gaden reprennent pour leur compte notre hypothèse fondamentale de calcul ; introduisent comme étant nouvelle, et sans même la démontrer, une formule qui se déduit en une ligne de notre formule (III) et dont notre formule (III *a*) n'est qu'un cas particulier ; prétendent avoir découvert le terme correctif [2] $1 + c$; qui se trouve déjà dans plusieurs de nos formules ; et présentent, enfin, comme étant nouvelles, nos principales conclusions relatives au chapitre qu'ils critiquent.

Tout cela mériterait à peine mention. Mais pourquoi, alors, prétendre conclure *contre* notre thèse ?

III

Parmi les auteurs ayant mis au point des méthodes de calcul graphique du coup de bélier, nous citerons MM. Bergeron et Schnyder : leurs solutions sont, d'ailleurs, équivalentes. Rien de plus légitime que de comparer entre eux les résultats obtenus par voie graphique et par calcul analytique. C'est ainsi que MM. Calame et Gaden reprennent [3] au moyen de la méthode graphique de M. Bergeron le calcul que nous avions résumé dans la figure 47, page 214 de notre thèse. Ces calculs étant tous deux effectués « point par point », doivent être concordants.

[1] *Bulletin technique*, 1935, page 280.
[2] Voir notre « Théorie générale », page 181, fig. 41.
[3] *Bulletin technique*, 1935, page 282.
[4] Voir *Ch. Jæger*, « Théorie générale », page 181, fig. 41.

[1] *Bulletin technique*, 1935, page 281.
[2] Nous aurions pu exposer de façon plus pertinente encore, quoique purement mathématique, notre réponse aux thèses de MM. Calame et Gaden en montrant comment l'on déduit de notre équation de récurrence (39), page 57 de notre « Théorie générale » ; (où k est un indice relatif à la phase du coup de bélier et c_o et C_o des vitesses de l'eau) :

$$\alpha_k (\zeta_{\circ k}^2 - 1) + \zeta_{\circ k+1}^2 - 1 = 2\rho_* \left[\alpha_k \eta_k \zeta_{*k} - \eta_{k+1} \zeta_{\circ k+1} + \frac{C_0}{C_0} (1 - \alpha_k) \right]$$

non seulement toutes les formules d'Allievi et de de Sparre, mais également toutes les formules données par MM. Calame et Gaden eux-mêmes, tant en 1926 qu'en 1935.

Remarquons enfin que la fonction α_k telle que nous l'avons écrite page 144 de notre thèse devient :

$$\alpha_u = 1 - \frac{1}{k} \frac{n_I}{n_{III}} \frac{s_{III}}{s_I} = 1 - \frac{1}{k} \frac{\mu_I}{\mu_{III}} \frac{\rho_I}{\rho_{III}} = 1 - \frac{c}{k}$$

où c est le « terme correcteur » prétendument découvert par nos contradicteurs.

Cette analyse montrerait combien les prétendues « oppositions » de MM. Calame et Gaden sont des mythes inventés de toutes pièces pour les besoins d'une tortueuse polémique.

[3] *Bulletin technique*, 1935 page 281-282.

Supplément au N° du 9 mai 1936 du
BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

ANTHELME BOUCHER, ingénieur

1856 - 1936

Seite / page

leer / vide / blank

Il y a, pour comparer deux courbes, une méthode fort simple : c'est de les superposer :

Il suffit de remarquer que MM. Calame et Gaden ont pris comme unité des temps de leur calcul le tiers de la durée de l'oscillation dans la conduite forcée, alors que nous-même avons pris cette durée entière. On constate alors que nos points 0, 1, 2, 3, 4 et 5 correspondent en toute rigueur aux points 0, 6, 12, 18, 24 et 30 du graphique de MM. Calame et Gaden. On constate par contre, que le maximum de la courbe ne se trouve pas au point « 4 », comme nous l'avions indiqué, mais entre les points « 4 » et « 5 ». Il y a donc eu, de notre part, une inadvertance de calcul — choix d'une unité de temps trop grande aux environs du sommet de la courbe — que nous reconnaissons volontiers. Elle était évidente, et nous nous étonnons fort que MM. Calame et Gaden se soient refusés à la voir et concluent que c'est notre méthode de calcul, en elle-même, qui est fausse [1]. Cette affirmation de nos deux contradicteurs, affirmation qui est reprise en d'autres points du texte, est d'autant plus étonnante que M. Bergeron a lui-même démontré, en toute rigueur, dans l'article même que citent nos contradicteurs [2], l'équivalence mathématique de sa méthode et de la nôtre. Une divergence apparaissant au cours d'une application numérique de la méthode de « calcul point par point » ne pouvait donc être imputée qu'à une insuffisance numérique. MM. Calame et Gaden le savent parfaitement et, s'ils concluent autrement, ce n'est que pour alimenter une polémique tendancieuse.

L'exposé entrepris au cours de nos paragraphes I à III nous permet de formuler les conclusions suivantes :

a) Les méthodes de calcul préconisées en 1926 par nos contradicteurs rentrent dans le cadre de notre exposé de 1933, dont elles ne sont qu'un raccourci.

b) L'extension que MM. Calame et Gaden donnent, en 1935, à leurs travaux de 1926 n'apporte absolument rien de neuf et ne peut être opposée à notre travail, leur formule (II) n'étant qu'une forme particulière de nos formules (III) et (III *a*).

c) La concordance entre la méthode Bergeron-Schnyder et notre méthode de « calcul point par point » est rigoureuse.

Il ne reste donc strictement rien des arguments invoqués, sur le fond de la question, par nos contradicteurs, et nous pourrions arrêter ici notre réponse.

IV

Le travail de MM. Calame et Gaden est parsemé de critiques de détail à l'adresse de notre thèse. Contentons-nous d'aborder, dans l'ordre où elles furent faites, les plus importantes d'entre elles :

1. Page 11 des « Notes I à V » d'Allievi, traduction de Gaden, nous avions relevé une formule donnant la caractéristique moyenne d'une conduite à caractéristique variable ; cette même formule se retrouve page 122 de l'ouvrage de Camichel-Eydoux-Gariel. Nous avions, dans notre thèse, repris cette formule, afin de montrer qu'elle était, en certains cas, peu satisfaisante : aussitôt, nos contradicteurs de conclure que nous commettons, en employant cette formule, une « regrettable erreur ». Il n'y a aucune erreur de notre part. Certes, la méthode proposée par MM. Calame et Gaden est nettement préférable à la formule incriminée, mais là n'est point la question. D'ailleurs, le premier qui ait indiqué la méthode correcte à suivre est, à notre connaissance, de Sparre [1], un auteur auquel MM. Calame et Gaden empruntent beaucoup.

2. Notre méthode de calcul point par point qui, page 278/1935 du *Bulletin technique* correspond très bien avec les valeurs numériques calculées d'après Bergeron, ne leur correspondrait plus — il n'est d'ailleurs point dit pourquoi — page 279 de ce même *Bulletin*, pour le calcul des manœuvres d'ouverture. Page 151 de notre thèse, nous avions calculé un cas d'ouverture en 6 sec. (fig. 28). MM. Calame et Gaden nous opposent un cas d'ouverture en 7,3 sec., ce qui ne prouve rien. Or, lorsqu'on accuse publiquement quelqu'un d'erreur, on est tenu d'apporter des preuves formelles.

3. A plusieurs reprises MM. Calame et Gaden font usage, ainsi que de Sparre l'avait proposé dès 1914 [1], du théorème de l'équivalence des forces vives. Cette méthode se révèle comme particulièrement heureuse, dans nombre de cas. Mais on sait qu'elle ne l'est point dans tous et que certains auteurs, preuves à l'appui, en ont contesté la légitimité [2]. Lorsque, pour la première fois, nous abordâmes le problème général des conduites forcées complexes, nous avons, pour cette raison, estimé prudent d'aborder le problème par d'autres voies [3]. MM. Calame et Gaden eux-mêmes ne donnent d'autre justification à l'emploi de ce théorème que la concordance de certains calculs numériques avec d'autres calculs, effectués sur la base de nos propres hypothèses. Il est d'ailleurs certain que nombre de problèmes complexes traités tant par nous que par d'autres auteurs n'auraient pu être abordés par la méthode en question. On aurait cependant pu faire une étude sérieuse de la méthode de calcul, proposée par de Sparre, et reprise par nos deux contradicteurs : On pouvait montrer qu'elle repose sur les mêmes hypothèses physiques que notre propre méthode des « valeurs limites », ce qui justifie et limite à la fois son application aux cas où notre propre méthode est applicable ; ce qui explique en outre la concordance des résultats. En fait, la méthode de de Sparre de 1914 rentre aisément dans le cadre de notre propre exposé, et y trouve sa justification.

MM. Calame et Gaden, après avoir trouvé, au cours de leur article, maintes confirmations numériques de l'ana-

[1] *Bulletin technique* 1935, page 281.

[2] *Bergeron :* « Revue Générale de l'Hydraulique », n° 1, janvier-février, pages 21 et 22 ; voir aussi n° 2, mars-avril.

[1] *Jouguet, Rateau, de Sparre :* « Etude historique et expérimentale des coups de bélier dans les conduites forcées ». Paris, Dunod, 1917. (Note au sujet des expériences sur le coup de bélier faites en Suisse, établie à l'occasion du 2e Congrès de la Houille Blanche, en 1914) ; page 126.

[2] « Symposium on Water Hammer », article de *Billings*, page 58, fig. 8.

[3] DE SPARRE a fait de même en 1918 : La méthode qu'il expose dans le « Bulletin spécial N° 2 de la Société hydrotechnique de France » est semblable à celle que nous avons suivie en 1933, ce qui confirme entièrement notre point de vue.

logie des deux méthodes (sans avoir su aborder le fond du problème), se heurtent, page 50/1936 du *Bulletin technique*, à un tableau de chiffres dont ils concluent, au contraire, que notre méthode de calcul est gravement entachée d'erreur, parce que *une* valeur d'un tableau ne concorde plus avec un calcul de comparaison effectué par eux, avec la méthode Bergeron. (Le lecteur se demandera avec nous pourquoi ce calcul n'a point été publié.)

Nous avons effectivement donné, page 227 de notre thèse, un tableau de comparaison, où nous avions calculé, pour trois types de chambres, des cas de fermeture en des temps variant de 1 à 10 secondes. MM. Calame et Gaden, qui déclarent hautement, à plusieurs reprises, que seuls les cas de fermeture lente méritent attention, ne s'intéressent cette fois-ci qu'au cas de fermeture en 1 seconde, et ne contrôlent les valeurs trouvées par eux que pour le cas de la chambre du type II, au moyen d'un diagramme Bergeron (non reproduit). Si MM. Calame et Gaden avaient achevé leurs calculs de comparaison, et tracé graphiquement les courbes calculées par leur méthode et par notre formule, ils auraient constaté que, tout en restant distinctes, ces courbes se rapprochaient pour des temps de fermeture plus lents, au point qu'il serait vain de tenter, au moyen d'un diagramme Bergeron, de justifier plutôt l'une que l'autre des formules. Ceci était à prévoir, les deux méthodes de calcul reposant sur la même hypothèse générale, à savoir que les surcharges de coup de bélier tendent vers une limite qui est maximum en fin de manœuvre. Une critique loyale aurait dû reconnaître ces faits. On aurait pu alors se demander si la méthode proposée par nos contradicteurs a un domaine d'application plus étendu que notre méthode approchée dans le cas d'une chambre du type II. Ceci aurait pu être vérifié par un ensemble de calculs de comparaison. Nous avons d'ailleurs donné une méthode de calcul point par point qui n'est pas mentionnée par nos contradicteurs, laquelle pouvait être comparée directement aux diagrammes Bergeron-Schnyder. MM. Calame et Gaden préfèrent conclure tout de suite que l'ensemble de notre méthode est fausse : bel exemple de conscience scientifique.

4. Le tableau du haut de la page 51 du *Bulletin technique* (1936) doit être commenté. La concordance entre les valeurs calculées pour la surcharge B_{*m} pouvait être prévue *a priori*, puisque nous nous trouvons dans un domaine où la formule d'Allievi peut être pratiquement appliquée. Rien ne prouve d'ailleurs que la méthode de calcul esquissée soit valable hors de ce domaine. Quant à la divergence entre les valeurs de B_m, elle ne provient nullement d'une opposition fondamentale entre la méthode Bergeron et la nôtre. Nos formules limites ont été déduites pour le cas où le maximum de surcharge se produit à la fin du mouvement de fermeture ; pour le cas où le coup de bélier se produit à la fin de la première oscillation, nous avons préconisé un calcul point par point, sans chercher à développer une théorie qui eût été plus laborieuse à suivre que le calcul direct à effectuer. On peut donc, tout au plus, nous critiquer d'avoir utilisé, pour ce calcul, une formule qui n'est point valable rigoureusement en ce cas. L'écart des valeurs obtenues par les deux méthodes ne joue d'ailleurs aucun rôle en pratique.

5. Il convient de relever qu'il n'existe aucune définition du degré de resserrement du col d'entrée d'une chambre d'équilibre, à partir duquel la chambre doit être traitée comme une chambre à étranglement. Aussi n'y a-t-il rien d'étonnant au fait que M. Bergeron et nous-même soyons partis, sur ce point, d'hypothèses de calcul différentes, qui nous conduisent, tous calculs faits, à des valeurs numériques qui ne concordent plus. M. Bergeron assimile l'action de l'étranglement à une perte de charge locale, concentrée en un point ; nous-mêmes, à un écoulement sous l'eau, sans retour possible des ondes réfléchies dans la chambre (qui jouent encore un rôle chez M. Bergeron). Aucune mesure expérimentale ne permet, à l'heure actuelle, de choisir entre ces points de vue et de prétendre que l'une ou l'autre des deux méthodes est incorrecte.

Par contre, le mode de calcul proposé par MM. Calame et Gaden ne nous convainc nullement : l'addition de la surpression de coup de bélier (calculée sans tenir compte de l'étranglement) et de la constante d'étranglement R_o est quelque peu arbitraire.

V

MM. Calame et Gaden se posent en arbitres suprêmes des questions qu'ils exposent et tranchent à la fois : Ils auraient pu, quant au fond, comparer notre travail à ceux d'autres auteurs et confronter nos résultats avec les mesures effectuées à ce jour. Ils auraient alors pu constater les faits suivants :

1. En partant de nos équations, on retrouve les équations d'Allievi, de de Sparre, de Camichel, les séries de Glower, ainsi que les formules de MM. Calame et Gaden eux-mêmes. D'autre part, M. Bergeron et M. le Dr Schnyder [1] font, en toute connaissance de cause, exactement les mêmes hypothèses physiques et mathématiques de calcul que nous-même (sauf pour le cas de l'étranglement). Ces hypothèses consistent à admettre la propagation d'ondes planes qui subissent des réflexions partielles à chaque discontinuité ; la loi de réflexion est obtenue en écrivant que, dans chaque tronçon de conduite, les ondes suivent la loi d'Allievi. Pourquoi, MM. Calame et Gaden acceptent-ils ces hypothèses chez Bergeron et Schnyder et nous critiquent-ils à plusieurs reprises de les avoir admises [2].

2. MM. Calame et Gaden semblent s'être donné pour mot d'ordre de contredire toutes nos opinions, sans préoccupation aucune des expériences faites. Or, les mesures et expériences de Camichel [3], de Glower [4], Billings [5] confirment de façon certaine la réalité du partage des ondes

[1] *Schnyder :* « Wasserkraft und Wasserwirtschaft », 2 et 16 mars 1932, et 15 juin 1935.
[2] *Bulletin technique*, 1935, pages 217 et 220, 1936, page 53.
[3] *Camichel, Eydoux et Gariel :* Op cit. en divers endroits.
[4] *Symposium on Water Hammer*, pages 70-71.
[5] *Billings :* « Symposium on Water Hammer », p. 29 à 61.

au droit d'une discontinuité. Certaines observations de Billings et de Camichel et d'autres auteurs confirment également le passage des ondes d'une conduite dans une conduite parallèle, les phénomènes périodiques et de résonance [1], ainsi que la superposition certaine des phénomènes d'oscillation de masse et du coup de bélier contestée par nos contradicteurs. Par contre, il est prouvé que la loi déduite du théorème des forces vives n'est point d'application générale.

Conclusions.

Que peut valoir une polémique soulevée par deux auteurs qui, se refusant d'aller au fond des questions et ne trouvant aucune objection à formuler de façon précise ni contre nos hypothèses de calcul, ni contre les formules que nous en tirons, prononcent contre notre travail une condamnation hautaine et générale ? Dans un ouvrage de plus de 250 pages, ils se contentent de citer quelques résultats numériques qu'ils déclarent faux, sans jamais en apporter la preuve formelle. Dans les deux seuls cas où l'un de leurs calculs numériques pouvait être directement comparé à l'un des nôtres (fig. 4 et 6 du *Bulletin technique*), nous avons pu donner, des divergences observées, une explication entièrement probante, qui réduit à rien les conclusions de nos contradicteurs.

Quant à nous, nous croyons avoir invoqué des arguments fondamentaux, qui auraient pu être plus pertinents encore, si nous n'avions dû limiter nos développements mathématiques :

Résumons le débat :

1. Les récents articles de MM. Calame et Gaden contiennent — en plus du rappel de leurs deux formules de 1926, que nous considérons comme un complément de la théorie de de Sparre (1914) — la proposition d'utiliser le théorème de l'équivalence des forces vives et l'introduction de vitesses moyennes pour le calcul des coups de bélier. Cette proposition n'est peut-être pas entièrement nouvelle et l'on peut la faire remonter à une note du comte de Sparre (1914) ; Billings en a d'ailleurs indiqué les points faibles dès 1933. Malgré cela, nous pensons que la proposition constitue un apport positif et qu'elle aurait pu être étudiée dans le cadre des théories existantes, et de la nôtre en particulier; MM. Calame et Gaden ne l'ont point fait.

2. Par contre, nous reprochons à MM. Calame et Gaden la partialité de leur exposé qui défigure nos travaux : Notre théorie est condamnée par eux sans que le principe de notre calcul soit énoncé, sans que soient mentionnés les chapitres essentiels où nous exposons la théorie et la méthode de calcul point par point, sans qu'il soit enfin tenu compte des confirmations de tout ordre que nous avons eues de notre thèse. Du vaste problème du coup de bélier, nos deux contradicteurs n'ont retenu, en outre, que quelques points qui pouvaient donner une apparence de solidité à leurs thèses ; tout ce qui infirmait ces dernières : travaux théoriques autres que les nôtres, mesures, expériences, etc., reste ignoré ! Rappelons aussi que presque toutes les conclusions de nos contradicteurs sont formellement contredites par les travaux de Billings [1].

3. Aux paragraphes II et III, nous avons apporté la preuve irréfutable que nos deux contradicteurs utilisent *contre nous* une formule *déduite de nos propres travaux* (page 211) et que, sur la foi d'un seul exemple numérique mal interprété, ils concluent à la fausseté de notre méthode de « calcul point par point », passant sur la démonstration de Bergeron, qui prouve l'exactitude de notre méthode. Ces constatations réduisent à néant l'argumentation de nos deux contradicteurs et enlèvent toute valeur aux jugements qu'ils portent sur nos travaux, jugements visiblement entachés de partialité.

4. En prétendant que nos travaux sont alarmistes, MM. Calame et Gaden lancent une accusation gratuite, à l'appui de laquelle ils n'apportent pas la moindre preuve et à laquelle nous avons déjà répondu ici même [2]. Nous ajouterons simplement qu'un exposé mathématique, qui d'ailleurs a été entièrement confirmé par des travaux ultérieurs de Bergeron, Schnyder, Angus, Billings, Glower etc., ne peut être, en soi, ni rassurant, ni alarmiste.

Nos contradicteurs, enfin, critiquent à plusieurs reprises le choix des temps de manœuvre admis par nous, temps qui ne se produiraient jamais en cours d'exploitation normale. Ils font preuve de science en citant les mécanismes qu'il y a lieu d'employer pour éviter toute perturbation. Nous pourrions répondre que nous sommes au courant des conditions de marche normale d'une installation ; mais il y a des cas où, par suite d'erreurs de manœuvre, de déréglage des régulateurs, ou de tout autre incident fortuit, les temps de fermeture ou d'ouverture peuvent devenir beaucoup plus faibles que ceux prévus au projet. Nous ne parlerons pas des coups de bélier dans les conduites des pompes à refoulement ni dans de vieilles installations non modernisées. Or, un travail théorique devait fournir des méthodes de calcul permettant d'examiner ce qui se passe tant en période d'exploitation régulière que lors de cas imprévus [3].

Qu'on nous permette de dire ici, que le ton et l'ampleur donnés par nos contradicteurs à une polémique très personnelle nous ont paru déplacés. La valeur scientifique d'un travail s'impose par elle-même et non par des polémiques. Si nos contradicteurs avaient apporté une contribution scientifique de valeur réelle, ils n'auraient pas eu à enfler la voix !

*
* *

En manière de clôture de cette controverse, nous publions la note que nous ont adressée MM. Calame et Gaden, à qui nous avons soumis les épreuves des « remarques » de M. Ch. Jæger. — Réd.

En publiant notre note sur « *L'influence des réflexions partielles...* », nous avons principalement voulu relever

[1] *Ch. Jæger :* « Revue générale de l'Hydraulique », n° 3, 1935 et Comptes rendus de l'Académie des Sciences du 27 février 1936 et 16 mars 1936.

[1] Voir les « Conclusions » de Billings, *Symposium on Water Hammer* p. 53, et *Bulletin technique* 1935 p. 256.

[2] Voir *Bulletin technique*, 26 octobre 1935, page 255.

[3] *Schnyder :* « Wasserkraft und Wasserwirtschaft », 17 février 1936.

différents résultats de M. Jæger dont nous continuons à considérer certains comme erronés, d'autres comme susceptibles d'être atteints beaucoup plus simplement. Nous n'avons pas l'intention de répondre en détail aux assertions formulées par M. Jæger et lui laissons le bénéfice de la « polémique tendancieuse », sur le compte de laquelle il reporte nos critiques. Ceux des lecteurs de ce journal que le problème intéresse apprécieront la réalité : cela nous suffit entièrement.

M. Jæger nous reproche de ne nous être arrêtés qu'aux exemples numériques. C'est pourtant par eux qu'il a donné la mesure de ses résultats et de leur différence avec ceux de ses prédécesseurs. C'est volontairement que nous avons laissé à M. Jæger le soin de rechercher dans ses équations les raisons de ces écarts. Nous constatons que, sauf sur un point, il ne l'a pas fait.

Nous regrettons de n'avoir pu, faute de place, publier la démonstration de nos formules (6) et (8) qui aurait encombré d'algèbre les pages du « Bulletin technique »[1]. Nous restons à la disposition de ceux des lecteurs qui désireraient en avoir communication à moins que, pour la formule (6), ils ne préfèrent s'en reporter à la démonstration donnée par M. Jæger pour sa formule (149) qu'il signale être la même, ce que nous avouons n'avoir pas su deviner. S'il en est vraiment ainsi, nous nous étonnons d'autant plus de la différence des résultats numériques.

DIVERS

Pour sauvegarder notre commerce extérieur.

Car on sait que notre pauvre commerce extérieur a grand besoin de sauvegarde, sous peine que notre exportation s'éteigne lentement, mais sûrement. Or, c'est à ce soin qu'entend se vouer la Société coopérative qui vient de se constituer sous la raison sociale « Corporation suisse privée pour le commerce extérieur » (siège à Zurich, Löwenstrasse, 17) dont le but, aux termes de ses statuts, est de « grouper tous les intéressés et de leur servir d'intermédiaire en vue du développement et de l'exécution de leurs affaires d'exportation et d'importation, en particulier d'affaires de compensation ».

Les initiateurs de cette coopérative — dont le président est M. *G. Duttweiler* et le directeur M. *F. Wüthrich*, ingénieur — se proposent d'atteindre le « but » défini par les statuts de ce groupement au moyen de méthodes essentiellement pratiques, en « mettant la main à la pâte », si l'on peut dire. Un exemple concret : à la page 3 du premier numéro de l'organe de la coopérative « S. C. Information » (bimensuel) et sous la rubrique « S. C. — Service », on lit : « Importante entreprise tessinoise dispose, pour l'Islande, d'ordres se montant à 70 000 couronnes, mais qui ne peuvent être exécutés que par voie de compensation. Les maisons intéressées à l'importation de produits islandais sont invitées à se faire connaître à la « Corporation suisse privée pour le commerce extérieur ».

Autre exemple : le numéro 2 de ladite « S. C. — Information » contient le bilan, au 23 mars 1936, du trafic de « clearing » entre la Suisse d'une part, l'Allemagne, l'Italie, la Hongrie, d'autre part et, en plus, une curieuse cote de ces monnaies plus ou moins fantomatiques, telles que l'« Effektensperrmark », le « Kreditsperrmark », l'« Auswanderermark », la lira, la peseta, le schilling, le pengö, etc., « intérieurs ».

Routes et autoroutes.

En septembre prochain, aura lieu, à Munich, un « Deutscher Strassenkongress », accompagné d'une « Kunstausstellung Die deutschen Autobahnen » et d'une « Strassenbaumaschinenausstellung ». Organisation par le Fachgruppe Aufbereitungs- und Baumaschinen, à Berlin W50, Marburgerstrasse, 3.

NÉCROLOGIE

Anthelme Boucher.

(Planche hors texte.)

Agé de quatre-vingts ans, M. Anthelme Boucher, ingénieur, vient de s'éteindre paisiblement, le 19 avril, à Prilly.

Nous devons un hommage de haute estime, d'admiration et de reconnaissance à la mémoire de ce technicien hors de pair, dont les œuvres aussi nombreuses qu'importantes demeurent et font honneur à la France, son pays d'origine, à la Suisse, son pays d'adoption, et à l'ancienne Faculté technique de l'Académie de Lausanne, où il avait obtenu son diplôme d'ingénieur, le 27 décembre 1880.

A regret, nous ne pouvons retracer ici sa biographie, bien que l'histoire de son activité débordante et incessante, de ses initiatives hardies, de ses luttes victorieuses contre les obstacles accumulés par la nature des choses et par l'inertie des hommes, constitue un haut enseignement. La simple énumération de ses principaux travaux est déjà éloquente. La voici :

1889-1890 : Construction des usines hydro-électriques et électrochimiques du Day, près Vallorbe (Vaud).
(Société d'Electro-Chimie.)

1893-1894 : Première usine de Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie).
(Société d'Electro-Chimie.)
Usine hydro-électrique de Notre-Dame-de Briançon (Savoie).
(Société d'Electro-Chimie.)

1896-1897 : Usine de Vuargny (Vaud).
(Société des Forces Motrices de la Grande-Eau.)

1901-1902 : Usine de Vouvry (Valais). Hauteur de chute : 920 m.
(Société des Forces Motrices de la Grande-Eau.)

1904-1906 : Usine des Farettes (Vaud).
(Société des Forces Motrices de la Grande-Eau.)

1904-1908 : Usines de Martigny-Bourg (Valais).
(Société d'Electro-Chimie.)

1907-1908 : Deuxième usine de Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie).
(Société d'Electro-Chimie).

1906-1909 : Usine de l'Ackersand (Viège de Saas, Valais).
(Société de la Lonza.)

1908-1909 : Forces motrices d'Orsières (Valais).
(The British Aluminium Cy.)

1907-1910 : Usine d'Orlu (Pyrénées). Hauteur de chute : 940 m.
(Société pyrénéenne d'énergie électrique.)

1910-1911 : Installations industrielles à la fabrique de chocolat d'Orbe (Vaud).
(Peter, Cailler, Kohler, Chocolats Suisses S. A.)

[1] Afin de désabuser ceux de nos lecteurs qui seraient enclins à ne voir dans ce calcul qu'un « jeu d'esprit », nous publierons prochainement, une étude dans laquelle M. le Dr O. Schnyder passe en revue quelques applications d'un caractère *tout à fait pratique* des théories modernes sur le coup de bélier. — *Réd.*