

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 62 (1936)
Heft: 11

Artikel: Considérations sur le coup de bélier
Autor: Schnyder, O.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-47579>

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: 15.03.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

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.

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'École d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'École 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 le coup de bélier*, par le Dr O. SCHNYDER, à Klus. — *Concours pour l'aménagement de la propriété du Château de Beaulieu, à Lausanne* (suite et fin). — *Auscultation des barrages par « témoins sonores »*. — *Un quart de siècle de fructueuse activité*. — *Econométrie et malthusianisme économique*. — *La documentation de l'architecte*. — *En faveur des relations économiques de la Suisse avec la République russe des Soviets*. — *Nécrologie: Gustave Juvet*. — *Société suisse des ingénieurs et des architectes*. — BIBLIOGRAPHIE. — SUPPLÉMENT COMMERCIAL.

Considérations sur le coup de bélier,

par le Dr O. SCHNYDER, à Klus.

Si, pendant longtemps, la théorie du coup de bélier ne dut son importance qu'à ses applications dans les installations hydrauliques de production d'énergie et de pompage, on se rend compte, aujourd'hui, de sa grande utilité dans d'autres domaines de l'industrie.

Il arrive souvent, par exemple, que les variations de pression dans les conduites de distribution des presses hydrauliques aient une influence sur les produits à fabriquer. Un fait semblable a pu être constaté dans une fonderie de tuyaux, où les dispositifs de moulage sont commandés hydrauliquement pendant la coulée¹.

Des problèmes de coups de bélier d'un genre spécial se présentent aussi dans les réseaux de distribution d'eau, où il importe d'éviter non seulement les ruptures de tuyaux, mais aussi tout bruit désagréable dans les conduites à l'intérieur des bâtiments. Les chauffages centraux, et plus encore les installations de chauffage à distance, peuvent être le siège de violents coups de bélier. D'autre part, l'écoulement irrégulier dans les conduites d'huile sous pression mérite, par suite de la plus grande élasticité de cette dernière relativement à l'eau, une attention spéciale. Plus les variations de vitesse sont brusques, plus le réglage perd de sa rapidité d'action².

Le calcul analytique des chocs qui peuvent se produire dans des installations de ce genre est fort compli-

qué; par contre, une méthode graphique permet de déterminer de façon commode les coups de bélier qui se présentent dans les conditions les plus diverses, tout au moins si l'écoulement reste parallèle à l'axe de la conduite.

Cette méthode consiste d'une part à déterminer quelles variations de pression et de vitesse sont possibles aux extrémités, indépendamment de l'écoulement variable le long de la conduite et d'autre part quelles variations de régime celle-ci peut permettre.

Supposons, par exemple, qu'à l'extrémité d'une conduite se trouve une pompe; la pression et la vitesse ne pourront varier que suivant une loi découlant des caractéristiques de cette dernière. Avec une tuyère débitant à l'air libre, la pression sera une fonction quadratique de la vitesse.

Nous désignerons, dans ce qui suit, ces relations régnant aux extrémités de la conduite par « caractéristiques d'extrémité ».

L'écoulement stationnaire dans une conduite est déterminé par le régime qui satisfait aux deux caractéristiques d'extrémité. Si l'on représente ces dernières par un diagramme « pression-vitesse », on obtient deux courbes qui ne sont autres que les lignes figuratives de variation de régime aux deux extrémités, et dont l'intersection correspond au régime permanent.

Une rupture d'équilibre vient-elle à se produire à un bout ou aux deux simultanément, le régime le long de la conduite ne correspond alors plus aux caractéristiques d'extrémité. Si l'eau était incompressible et la conduite absolument rigide, la vitesse devrait, tout le long de cette dernière, rester, à un moment donné, invariable. L'accélération ou le ralentissement de la masse d'eau ne

¹ Annacker : « Das Ahrengissverfahren », S. B. Z., 1927, B 89/21.

² Voir *Revue technique Sulzer*, n° 1, 1936. *VDI. Forschungsheft*, mars 1936. E. Blaum : « Der Einspritzvorgang bei raschlaufenden Dieselmotoren ».

provoqueraient qu'une variation de pression et les points représentatifs des régimes aux deux extrémités se trouveraient, dans le diagramme « pression-vitesse », sur la même ordonnée. Mais en réalité l'élasticité de l'eau et des parois de la conduite entraîne aussi une variation de la vitesse.

Il est facile de trouver une relation simple entre les variations de vitesse et de pression le long d'une conduite en ne considérant pas le régime en deux points au même moment, mais bien à deux instants séparés par le temps nécessaire à une perturbation pour se propager d'un point à l'autre : on trouve ainsi que la variation de pression est toujours proportionnelle à celle de la vitesse, selon les équations :

$$(1) \quad H_{x_1} - H_{x_1 t_1} = -\frac{a}{g} (C_{x_1} - C_{x_1 t_1})$$

$$(2) \quad H_{x_2} - H_{x_2 t_2} = \frac{a}{g} (C_{x_2} - C_{x_2 t_2})$$

où H_{x_1} représente la hauteur manométrique, C_{x_1} la vitesse en un point quelconque x de la conduite, tandis que $H_{x_1 t_1}$ et $C_{x_1 t_1}$, de même que $H_{x_2 t_2}$ et $C_{x_2 t_2}$ se rapportent à deux régimes bien définis de part et d'autre du point x . On emploiera l'équation (1) ou l'équation (2) selon que le sens positif correspond à celui de l'écoulement ou lui est opposé.

Si le régime en un point est déterminé, il ne peut plus, en un autre, être quelconque ; dans la représentation graphique, les variations de régime possibles ne peuvent se trouver que sur une droite de surpression ou de dépression selon les équations (1) ou (2).

En particulier, les régimes aux extrémités de la conduite sont, sur les courbes d'extrémité, représentés par deux points qui se trouvent aussi sur la même droite de surpression.

Les principes fondamentaux de cette méthode générale ont été indiqués par l'auteur, puis développés et complétés par des exemples, dans la revue « Wasserkraft und Wasserwirtschaft »¹. Knapp² et Augus³ l'ont décrite en anglais, tandis que Bergeron⁴, ainsi que Calame et Gaden⁵, la faisaient connaître sous une forme quelque peu différente. Nous rappelons aussi la méthode graphique de Wood et Lowy⁶, de même que nos précédentes études sur les coups de bélier dans les conduites de pompage. Un procédé mi-analytique mi-graphique a été indiqué par Jæger⁷ et nous devons à Kreitner une autre représentation nomographique des coups de bélier dans les conduites à écoulement libre. Si la méthode graphique est spécialement indiquée pour l'étude détaillée de cas concrets — raison pour laquelle nous avons rappelé la littérature qui s'y rapporte, — elle n'en convient pas

moins aux considérations générales, et c'est ce domaine que nous nous proposons de traiter ici.

Il est utile de se rappeler aussi l'analogie avec le phénomène des coups de béliers et celui des chocs des corps élastiques, et même avec la propagation des ondes électromagnétiques.

Si l'on donne, par exemple, dans les équations (1) et (2) à H la signification d'une tension élastique et si l'on remplace le coefficient $\frac{a}{g}$ par $\gamma \frac{a}{g}$, on obtient les équations de la propagation des chocs longitudinaux dans une barre :

$$H_{x_1} - H_{x_1 t_1} = \mp \gamma \frac{a}{g} (C_{x_1} - C_{x_1 t_1})$$

dans lesquelles la vitesse de propagation d'une onde possède la valeur

$$a = \sqrt{\frac{E}{\gamma}}$$

Hirschka nous indique dans son livre « Druckleitungen der Wasserkraftwerke » l'analogie avec les ondes électromagnétiques. En ce cas, il faut considérer dans les équations (1) et (2) : H comme la tension, c comme l'intensité du courant, $\frac{l}{g}$ comme l'inductance et a comme la vitesse des ondes.

Il en résulte, comme M. Bergeron l'a déjà mentionné, que la méthode graphique peut être aussi employée pour traiter ces problèmes. L'opportunité de cette méthode dépend, dans chaque cas concret, des conditions d'extrémité.

Rôle des caractéristiques d'extrémité dans le phénomène du coup de bélier.

I. Caractéristiques d'extrémité fixes.

Nous employons ce terme lorsque la pression et la vitesse sont liées entre elles par une fonction indépendante du temps.

Le cas le plus simple est celui d'une conduite fermée à une extrémité ou encore une conduite s'ouvrant dans un bassin de grande capacité.

Une autre caractéristique d'extrémité fixe est celle d'une tuyère de section invariable, dont l'équation est, en posant $\nu = \frac{c}{\varphi}$, φ étant le rapport de la section de la tuyère à celle de la conduite,

$$H = \frac{c^2}{2g} \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right).$$

Il est fort important de déterminer si l'écoulement dans une conduite définie par deux caractéristiques d'extrémité reste valable ou non, et nous avons donné, dans la « Wasserkraft und Wasserwirtschaft » de 1932, un critérium pour la détermination des petites variations de régime. L'inclinaison des lignes d'extrémités y joue un rôle capital, comme nous allons le montrer par deux exemples tirés de la pratique :

¹ « Wasserkraft und Wasserwirtschaft », du 15 février et 3 mars 1932 1934/5 juin 1935.

² « Symposium on Water Hammer », 1933.

³ « The Engineering Journal », février et mai 1935.

⁴ « Revue générale de l'Hydraulique », 1935, « La Technique moderne », mars 1935.

⁵ « Bulletin technique de la Suisse romande » du 23 novembre 1935 et 29 février 1936.

⁶ Druckschwankungen in Druckrohrleitungen. Edition Springer, 1928.

⁷ « Revue générale de l'électricité », mars 1934.

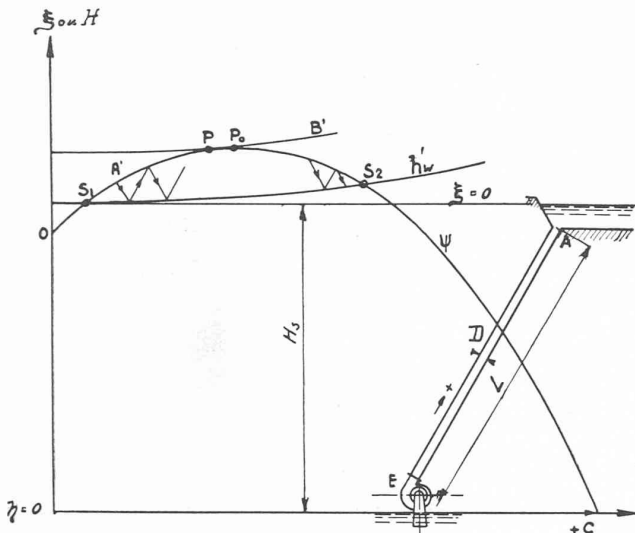


Fig. 1. — Conduite avec une caractéristique d'extrémité instable.

Exemple 1. Une pompe en service à vitesse constante nous donne, entre le débit et la hauteur de refoulement, une relation bien définie, représentée sur la figure 1 par la courbe ψ . Si l'on suppose la perte de charge w , que représente la courbe h_{sw} , concentrée à l'extrémité de sortie, la caractéristique d'extrémité en A a la forme :

$$H = H_s + h_{sw} = H_s + \lambda \frac{L}{D} \frac{c^2}{2g}$$

Les points d'intersection s_1 et s_2 de ces deux courbes donnent les deux régimes d'écoulement, mais desquels seul le second est stable ; le premier, comme le montre la figure, est instable. La hauteur de refoulement statique est-elle variable, la branche OP de la courbe de fonctionnement représente la région où le régime de la pompe est toujours instable. Si la conduite ne présente pas de frottements, cette région se prolonge jusqu'au sommet P_o . Par l'influence des pertes de charge, la limite de l'écoulement instable se déplace vers P ; les résistances à l'écoulement ont donc un rôle stabilisateur. Tous les efforts des constructeurs doivent naturellement tendre à réduire ce régime instable.

Exemple 2. L'oscillation de certains organes de fermeture des conduites est aussi, en pratique, de haute importance. Si un obturateur est trop élastique, la pression de la conduite peut provoquer une variation de la section de passage f , d'après la relation :

$$f = f_o \pm w_o \frac{H}{H_o}$$

où w_o est la variation de section due à la pression statique H_o . La caractéristique d'extrémité à la sortie est alors :

$$H = \left\{ \left(\frac{F}{F_o \pm w_o \frac{H}{H_o}} \right)^2 - 1 \right\} \frac{C^2}{2g}$$

Si la déformation a pour effet de réduire la section de passage, nous obtenons, au lieu de la parabole R d'extré-

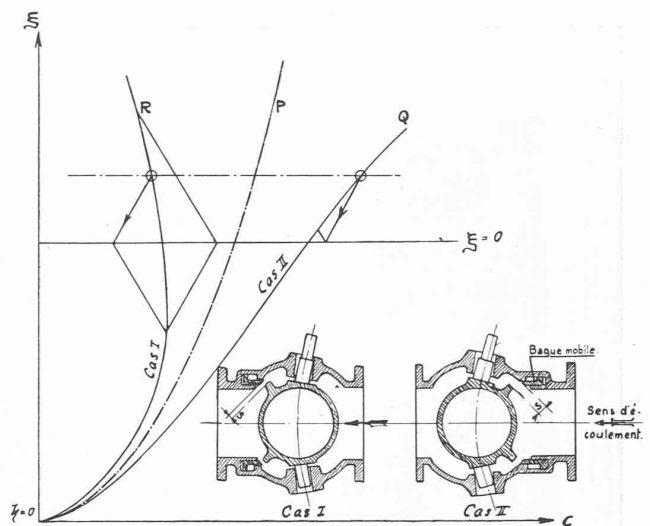


Fig. 2. — Représentations d'une caractéristique d'extrémité stable et instable, engendrée par une vanne flexible.

mité primitive, une courbe R de la figure 2. Si au contraire, la déformation augmente la section, la courbe Q représente les caractéristiques d'extrémité dans ce cas, où les oscillations du régime s'amortissent plus rapidement que si l'obturateur ne présentait aucune élasticité. Dans le premier cas, par contre, la flexion de l'obturateur tend à amplifier les coups de bélier dans une proportion qui peut devenir dangereuse, suivant les conditions particulières. C'est ce qu'on a pu observer à plus d'une reprise, par exemple, sur des vannes sphériques, lorsque le fléchissement dépassait le tiers de la lumière s .

L'importance de ces deux exemples réside surtout dans le fait qu'ils montrent à quel point une conduite peut, sans cause extérieure, être le siège de coups de bélier amplifiés, si les caractéristiques d'extrémité sont défavorables.

Les orifices compensateurs de turbines, de même que les soupapes de sûreté ou de réduction, peuvent aussi provoquer des phénomènes de ce genre, s'ils ne sont pas construits avec suffisamment de soin.

(A suivre.)

Concours pour l'aménagement de la propriété du Château de Beaulieu, à Lausanne.

(Suite et fin)¹

En conclusion, le jury estime qu'il y aurait lieu d'observer les principes suivants, lors de l'aménagement de la propriété du château de Beaulieu :

1. Le parc, à l'est du château, avec les beaux arbres qui l'ombragent, doit être conservé libre de constructions.
2. Le café-restaurant est bien placé actuellement, à l'angle nord-ouest de la propriété, et il est tout indiqué de le construire, comme l'ont prévu plusieurs concurrents, à cet emplacement.
3. L'implantation des maisons de rapport dans la partie sud du terrain devrait être faite en rangées orientées du nord au sud, pour ménager le plus possible la vue que l'on peut avoir de la terrasse du château. La hauteur des constructions sera limitée pour éviter un contraste de proportions avec le château.

¹ Voir Bulletin technique du 25 avril 1936, page 101.