

# Répartition du coup de bélier le long d'une conduite hydraulique en pression

Autor(en): **Bois, L. du**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **57 (1931)**

Heft 23

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-44175>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Répartition du coup de bélier le long d'une conduite hydraulique en pression

par M. L. DU BOIS, ingénieur.

Dans l'ouvrage de M. D. Eydoux : « Hydraulique générale et appliquée », nous trouvons au chapitre II, (page 66 et suivantes) un exposé de toutes les études récentes sur le coup de bélier. Un paragraphe de ce chapitre (page 93) porte le titre : « Retour à la formule Michaud — Remarque de M. Gariel ».

Il s'agit du coup de bélier dû à une fermeture lente :

$$\beta = \frac{2 \cdot L \nu}{g \cdot T}$$

établie par Michaud en 1878 dans le « Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et architectes » (nos 3 et 4).

On s'est étonné quelque peu du retour à cette simple formule après tant de savants travaux et l'on a attribué cela à « l'heureuse intuition des premiers chercheurs ».

A ce jugement peu flatteur pour lui, Michaud, avec son bon sens habituel répondit : « La concordance des résultats obtenus avec ceux démontrés par Alliévi, est la meilleure preuve de la légitimité de cette substitution (il s'agit de la notion de la chambre élastique que nous examinerons plus loin) qui n'est pas, et ne doit pas être considérée comme une idée tombée du ciel au bénéfice des chercheurs ».

Les notes qui suivent pourraient porter en sous-titre : *Retour aux formules Michaud*, car ce n'est pas seulement l'expression du coup de bélier dû à une fermeture lente que Michaud a établie, mais encore celle du coup de bélier résultant d'une fermeture instantanée, ainsi que l'expression de la période.

Ce sera un hommage mérité, quoique un peu tardif, à la mémoire d'un ingénieur qui fut à plusieurs reprises collaborateur du *Bulletin Technique* et de son prédécesseur le « Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et architectes », et qui a laissé à tous ceux qui ont eu le privilège de le connaître, le souvenir d'un homme foncièrement bon et honnête, et aussi savant que modeste.

### Introduction.

Dans les années 1916 à 1918, une usine d'emboutissage fut installée à Fully (Valais), à proximité de l'usine hydro-électrique dont la description a paru dans le *Bulletin technique de la Suisse romande*, année 1922, nos 21, 22, 23 et 24 et année 1923, nos 1, 2 et 3, et qui utilise la force motrice du lac de Fully, sous une chute d'environ 1650 m. L'emboutissage s'opérait au moyen de presses hydrauliques qui furent branchées directement sur la conduite de l'usine hydro-électrique et travaillaient donc sous une pression de 165 atm. C'était la première fois, sauf erreur, qu'une telle solution était admise, car, dans les usines d'emboutissage, la pression hydraulique est produite habituellement au moyen de pompes refoulant

l'eau dans une conduite de distribution mise en pression artificiellement au moyen d'un accumulateur hydraulique. A Fully, le problème des coups de bélier provoqués par les presses était donc nouveau et passablement différent de celui du coup de bélier provoqué par les fermetures lentes des turbines.

Le fonctionnement des presses pour l'emboutissage à chaud doit être très rapide et l'arrêt à fond de course est presque instantané, de sorte qu'il s'agit bien de coups de bélier résultant de fermetures presque instantanées. Pour fixer les idées, nous mentionnerons qu'il y avait cinq groupes de presses ; chaque groupe comprenait une presse à poinçonner et une presse à étirer. L'allure de la fabrication était de une à deux opérations par minute pour chaque presse, avec marche continue de vingt-quatre heures. On marchait généralement avec trois groupes de presses et quelquefois avec quatre groupes. Le débit instantané était pour la presse à poinçonner, d'environ 17 l/sec et pour la presse à profiler, de 22 l/sec soit ensemble 39 l/sec.

Le débit maximum qui pouvait donc se produire avec la marche à 3 groupes était de  $3 \times 39 = 117$  l/sec, et avec 4 » » »  $4 \times 39 = 156$  l/sec.

La conduite de Fully a un diamètre de 0,60 m en haut et 0,50 m en bas ; le tronçon supérieur a 2300 m de longueur et le tronçon inférieur 2350 m. C'est donc des vitesses de 0,41 à 0,55 m/sec dans le tronçon supérieur et de 0,60 à 0,80 m/sec dans le tronçon inférieur, que l'on réduisait brusquement à zéro.

Afin de limiter dans une certaine mesure l'importance du coup de bélier, on avait d'emblée intercalé sur la conduite d'alimentation des presses un diaphragme d'étranglement qui, en cas de fonctionnement simultané de toutes les presses, produisait une baisse de pression et ralentissait automatiquement les mouvements des pistons. Malgré cela, étant données l'importance et la continuité des coups de bélier observés, on installa par la suite, des réservoirs à air cylindriques, placés verticalement et constituant une bonne chambre élastique. On envoyait de l'air de temps à autre dans la partie supérieure de ces cylindres au moyen d'un petit compresseur de manière à maintenir le niveau de l'eau à peu près au tiers de la hauteur. L'effet produit par ces chambres d'air fut excellent et l'intensité des coups de bélier diminua beaucoup, surtout dans les tronçons supérieurs.

Pendant la période de plusieurs mois qui précéda l'installation des réservoirs d'air, on eut l'occasion de faire de nombreuses observations, assez précises, des coups de bélier en trois points de la conduite et de se rendre compte de la répartition du coup de bélier suivant la longueur de la conduite. On en fit de même une fois les réservoirs d'air installés.

Ce sont ces observations qui sont à la base des présentes notes. On a cherché à déterminer par le calcul et par l'analyse la manière dont se produit ce phénomène de transmission du coup de bélier.

Les observations ont été faites simultanément en trois points :

- 1° à l'usine hydro-électrique ;
- 2° à la station de pompage de Sorniot, qui se trouve à environ 1270 m de la prise d'eau et où la pression statique est d'environ 140 m ;
- 3° à la chambre des vannes, distantes d'environ 400 m de la prise d'eau et où la pression statique est de 39 m.

Les résultats des observations sont consignés dans le tableau suivant :

1° Avant l'installation des chambres d'air :

	Maximums ordinaires	Maximums extraordinaires
Usine hydro-électrique . . . . .	80 m	110 m
Pompe Sorniot . . . . .	50 m	65 m
Chambre des vannes . . . . .	31,5 m	40 m

2° Après installation des chambres d'air :

Usine hydro-électrique . . . . .	50 m	70 m
Pompe Sorniot . . . . .	14 m	24 m
Chambre des vannes . . . . .	10 m	16 m

Les chiffres figurant dans ces tableaux sont des moyennes d'observations faites pendant des périodes assez prolongées.

Les turbines de l'usine hydro-électrique n'étaient pas en fonctionnement, la pompe de Sorniot ne marchait pas non plus, de sorte que les coups de bélier sont bien dus uniquement à la marche des presses seules. Lorsque les turbines étaient en marche, ainsi que la pompe de Sorniot, cela atténuait beaucoup la valeur des coups de bélier.

Les variations de pression se produisaient régulièrement suivant des courbes d'allure sinusoïdale dont la période était de 13 sec. Les dépressions avaient à peu près les mêmes valeurs que les surpressions. Les chiffres du tableau ne peuvent pas être considérés comme rigoureusement exacts, mais donnent néanmoins une image assez juste de la répartition du coup de bélier suivant la longueur de la conduite.

Nous avons porté dans la fig. 1 les valeurs du premier tableau (max. ordinaires) en ordonnées au-dessus du profil de la conduite supposé rectiligne (Profil AD). La

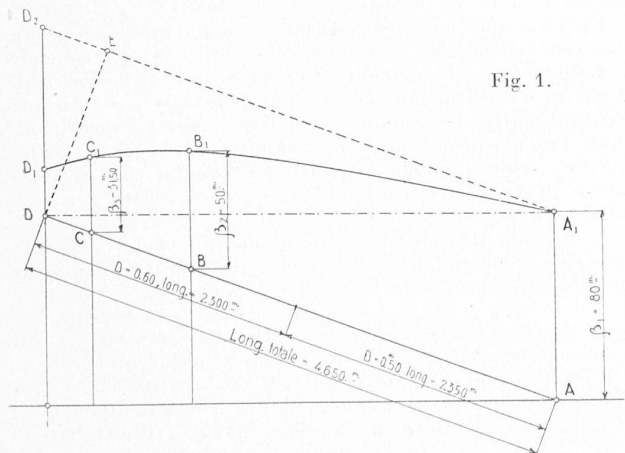


Fig. 1.

courbe  $D_1 C_1 B_1 A_1$  donne donc la répartition réelle du coup de bélier suivant la longueur de la conduite. Il est évident qu'il serait bon d'avoir un ou deux points supplémentaires entre  $B_1$  et  $A_1$  pour pouvoir affirmer qu'entre ces deux points elle est exactement telle que nous l'avons tracée.

Si nous nous reportons à l'ouvrage de M. D. Eydoux, « Hydraulique générale et appliquée », nous trouvons, à partir de la page 66, un exposé de la théorie des coups de bélier, résumant tous les travaux importants qui ont paru ces dernières années.

La question de la transmission du coup de bélier le long de la conduite est traitée dans les pages 81 et suivantes. Voici en résumé les conclusions de ce paragraphe :

1° Si la fermeture est instantanée, le coup de bélier se transmet intégralement du point bas au point haut de la conduite. Il serait donc représenté dans notre fig. 1 par la ligne droite  $A_1 D_2$  parallèle au profil de la conduite.

2° Le coup de bélier dû à une fermeture très rapide, en un temps  $T < L/a$ ,  $L$  étant la longueur de la conduite et  $a$  la vitesse de propagation de l'onde, se transmet intégralement le long de la conduite, de bas en haut, jusqu'à un point  $E$ , la distance  $D_2 E$  ayant la valeur

$$D_2 E = \frac{aT}{2}$$

à partir de ce point, le coup de bélier va en diminuant linéairement jusqu'à l'origine de la conduite.

Dans le cas de la conduite de Fully, la vitesse de propagation de l'onde est d'environ 1250 m/sec.

Le temps  $2L/a$  est égal à  $2 \times 4650/1250 = 7,4$  sec. Lorsque la conduite alimente uniquement des presses hydrauliques, les fermetures sont très rapides. Si nous admettons une seconde, par exemple, la longueur

$$D_2 E \text{ serait de } \frac{1250 \cdot 1}{2} = 625 \text{ m.}$$

C'est la longueur que nous avons portée sur la fig. 1. Donc nous aurions dans ce cas une répartition du coup de bélier suivant la ligne brisée  $A_1 E D$ .

3° Le coup de bélier dû à une fermeture lente, c'est-à-dire dans un temps  $T > 2L/a$  diminue progressivement de bas en haut et se répartit linéairement suivant la longueur de la conduite, pour aboutir à la valeur zéro à l'origine de la conduite. Il serait donc représenté dans la fig. 1 par la ligne droite  $A_1 D$ .

Or, nous voyons que la répartition réelle du coup de bélier telle qu'elle a été observée (ligne courbe  $A_1 B_1 C_1 D_1$ ) est complètement différente des trois cas cités ci-dessus.

Nous allons essayer d'établir par le calcul une répartition du coup de bélier qui se rapproche autant que possible de la réalité et pour cela nous aurons recours à la théorie établie en premier lieu par Michaud en 1878 (nos 3 et 4 du « Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et architectes »).

Il est intéressant de remarquer que dans l'ouvrage de M. Eydoux, nous trouvons à la page 93 un paragraphe

intitulé « *Retour à la formule Michaud — Remarque de M. Gariel* ».

Il s'agit de la formule  $\beta = 2 L \cdot v / gT$  pour fermetures lentes.

J'ai déjà signalé par une note du 29 janvier 1919, adressée au « Bulletin technique de la Suisse romande », qu'en plus de la formule ci-dessus Michaud avait également établi la formule du coup de bélier dû à une fermeture instantanée et que cette formule était l'équivalente de l'expression  $av_0/g$  établie par Joukowski en 1900, si l'on voulait bien se donner la peine de l'examiner d'un peu près. Michaud avait également établi la formule de la période des oscillations ; nous l'examinerons plus loin. Cette seconde formule de Michaud pour le coup de bélier dû à une fermeture instantanée est la suivante

$$\beta = v \sqrt{\frac{L \cdot h}{g \cdot l}} \text{ en mètres.}$$

$L$  est la longueur de la conduite, en m

$h$  la pression au point bas, en m

$v$  la vitesse de l'eau en m/sec avant la fermeture

$l$  la longueur de la chambre élastique en m ; nous verrons plus loin ce qu'il faut entendre par là

$g$  accélération due à la pesanteur = 9,81 m/sec.

C'est cette formule qui nous permettra d'analyser le problème de la répartition du coup de bélier.

Mais, afin d'y voir clair, et pour ne pas nous servir d'une formule comme d'une recette de cuisine, nous sommes obligés d'examiner de plus près comment elle a été établie, et ce que l'on peut en tirer.

Nous verrons que l'emploi rationnel de cette formule nous permettra de résoudre d'une façon simple le problème de la répartition du coup de bélier, même pour le cas d'une conduite dont le diamètre varie dans n'importe quelles proportions.

(A suivre.)

## CHRONIQUE

*La nouvelle bibliothèque nationale.* Commencé en 1929, le nouvel édifice de la bibliothèque nationale, à Berne, a été terminé il y a quelques semaines et inauguré le samedi 31 octobre dernier. Les architectes en furent MM. Oeschger, Kaufmann et Hostettler.

Ce vaste bâtiment (longueur 130 m, largeur 41 m, hauteur des magasins, plus de 20 m) est d'une architecture franchement moderne, qui ne plaira peut-être pas à tout le monde, mais dont les proportions sont harmonieuses et les lignes fort nettes. L'aménagement a été étudié avec un soin particulier et a fait l'admiration des spécialistes.

Les 500 000 volumes qui composent le trésor bibliophilique de la Nationale ont pu être déménagés en un mois environ, grâce aux précautions prises. On utilisa pour cela des caisses numérotées ayant la longueur d'un rayon de la bibliothèque.

Outre la bibliothèque, sont logés dans le nouvel édifice l'administration fédérale des blés, le bureau de la propriété intellectuelle, l'inspecteur fédéral des forêts, de la chasse et de la pêche, ainsi que le bureau des statistiques.

*Les nouveaux bâtiments universitaires de Berne.* Il en faut dire aussi quelques mots. Ils en valent bien la peine. Cons-

truits à la Muldenstrasse, sur un terrain offrant une déclivité au nord et à l'ouest, les nouveaux bâtiments abritent : le laboratoire du chimiste cantonal, l'Institut de pharmacie, celui de géologie et de minéralogie, et celui encore de médecine légale.

Les architectes, MM. Salvisberg et Brechbühl, réunirent ces différents instituts dans un seul bâtiment ayant une administration centrale, mais de façon à conserver aux services une indépendance suffisante.

Le bâtiment, d'une longueur de 200 m comprend cinq ailes, orientées au sud, en forme de cubes, avec des espaces réservés aux expériences à ciel ouvert, à un aquarium, à une collection de minéraux, etc. Derrière le bâtiment se trouve un jardin en terrasses.

La configuration du terrain nécessita l'apport de 17 000 m<sup>3</sup> de matériaux. On disposait, pour la construction de l'édifice, d'un crédit total de trois millions et demi.

*La prodigieuse activité du port de Bâle.* Malgré la crise qui fait partout sentir ses effets, le trafic du port de Bâle ne cesse d'augmenter, ce qui pourrait paraître paradoxal à ceux qui ignorent encore à quel point sont avantageux les transports par eau.

Deux chiffres seulement : Durant les neuf premiers mois de cette année, le mouvement total a porté sur 1,02 million de tonnes. Il ne fut que de 836 640 tonnes pendant la période correspondante de 1930.

*Encore un nouveau chemin de fer de montagne.* Davos construit le chemin de fer du Parsenn, funiculaire qui part à une altitude de 1556 m et aboutit au Parsenn, à une altitude de 2661 m. Pente maximum de la ligne : 47,4 %. Deux tunnels de 60 et 180 m de longueur. Longueur totale de la ligne : 4,1 km.

La première étape, qui va jusqu'à la station de Höhenweg, à 2215 m, sera inaugurée vers la mi-décembre.

*A l'Usine à gaz de Lausanne.* Le service du gaz de la Ville de Lausanne a créé à l'usine à gaz de Malley de nouvelles installations pour la fabrication du gaz à l'eau : un bâtiment à carcasse métallique contient les installations proprement dites — susceptibles d'un développement double — et une tour de 34 m de hauteur renferme le silo à coke. Cette tour est en béton armé. Etant donné la nature du sol, elle repose sur un radier. Elle a été exécutée par l'entreprise Gavillet et Delisle, avec M. C. Oyex comme ingénieur-conseil.

*Conception de l'Univers.* Il fut un temps, assez proche, où l'homme s'imaginait volontiers tout savoir. Les médecins, en brandissant leurs remèdes chimiques, étaient convaincus de leur action régulièrement certaine ; les savants charpentaient magnifiquement l'Univers et, parvenus au seuil des mystères, entrevoyaient le moment où l'humanité les posséderaient tous.

Les récentes découvertes ont modifié sur bien des points des conceptions que l'on croyait fort scientifiques, et qui l'étaient souvent sans doute, mais qui péchaient aussi, parfois, par excès de simplicité orgueilleuse.

En physique, la masse, considérée longtemps comme une propriété constante, invariable, des corps, est au contraire variable, comme l'a démontré l'expérience. Et la notion même d'espace s'est transformée. Il faut considérer que l'espace existant entre deux points n'est pas nécessairement constant. Les mathématiques ont fait intervenir l'espace-temps, qu'elles seules d'ailleurs rendent intelligible. Et certains, parmi les savants contemporains, aperçoivent l'Univers comme un tout organique.

Comme d'autre part la matière apparaît énergie, ou combinaison d'énergie, le vieux duel esprit-matière semble ne plus correspondre à grand'chose.

*Le Grand Théâtre de Lausanne.* De nouveaux crédits, qui porteront le total de ceux qui furent votés jusqu'à présent à 1,5 million environ, ont été nécessaires à la transformation du Grand Théâtre de Lausanne, lequel sera complètement modifié, considérablement agrandi, pourvu d'installations