Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 57 (1931)

Heft: 26

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

Autor: Bois, L. du

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-44184

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: 12.07.2025

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

57e année 26 décembre 1931 N° 26

BULLETIN TECHNIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. Demierre, ing. Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN

ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE TECHNIQUE SANITAIRE

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Répartition du coup de bélier le long d'une conduite hydraulique en pression* (suite et fin), par M. L. Du Bois, ingénieur. — *Nouveaux véhicules de chemins de fer.* — *Conditionnement de l'air.* — Chronique : *L'A³. E². I. L. au sommet de la tour de Bel-Air.* — *Le prochain annuaire de l'A³. E². I. L.* — *A propos de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne.* — *Nouvelles en quelques lignes.* — *Paradoxe.* — *Programmes de grands travaux publics.* — *IIIme Congrès international de technique sanitaire et d'hygiène urbaine.* — Bibliographie. — Carnet des concours. — *Le nouveau syndic de Lausanne.*

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

par M. L. DU BOIS, ingénieur.

(Suite et fin.) [1]

Période.

Si l'on considère maintenant le coup de bélier non plus en fonction du chemin parcouru par la masse liquide mais en fonction du temps, on voit que Michaud avait établi que la courbe des surpressions et dépressions était une sinusoïde dont il avait déterminé l'expression de la période comme suit :

$$\tau = 2\pi\sqrt{\frac{L\,l}{g\,h}}$$

Les relations que nous avons établies ci-dessus entre la théorie d'Alliévi et celle de Michaud vont nous permettre de comparer cette formule avec celle d'Alliévi qui est $\tau = 4\ L/a$.

Nous avons établi la relation $a = L/t'$ ou $t' = L/a$. t' ayant la valeur $\sqrt{\frac{L\,l}{g\,h}}$. Avec l'hypothèse de la chambre élastique également répartie, nous devons mettre

$$t' = \sqrt{\frac{2\,L\,l}{g\,h}}$$

Nous n'avons qu'à introduire cette valeur de L/a ou t' dans l'expression d'Alliévi, ce qui nous donne pour la période Alliévi avec les notations Michaud

$$\tau' = 4\sqrt{\frac{2\,L\,l}{g\,h}} = 5{,}7\sqrt{\frac{L\,l}{g\,h}}$$

C'est la même expression que celle de M. Michaud sauf que le coefficient devant la racine est de 6,28 dans la formule Michaud et 5,7 dans la formule Alliévi.

A Fully, on a observé une période de 13 secondes. Voyons un peu comment concorde cette observation avec les formules.

[1] Voir *Bulletin technique* du 12 décembre 1931, page 317.

Le tableau des calculs pour la répartition du coup de bélier va nous permettre tout d'abord de déterminer la période sans nous servir des deux formules ci-dessus.

Nous avons porté dans la colonne n° 21 les valeurs $\Delta l = l\,\frac{\Delta\beta}{h}$ pour les différents tronçons.

Ce sont les allongements partiels que subissent les chambres élastiques sous l'effet du coup de bélier. Nous obtenons comme somme de ces allongements :

1. pour le tronçon supérieur de 0,60 m de diamètre 0,874 m
2. pour le tronçon inférieur de 0,50 m de diamètre 1,016 m

Dans le tronçon supérieur la course de 0,874 m sera parcourue dans un temps de 0,874 / 0,44 = 1,985 sec. et dans le tronçon inférieur, la course de 1,016 sera parcourue dans un temps de 1,016/0,635 = 1,60 seconde.

La somme de ces deux temps soit 1,985 + 1,60 = 3,585 sec représentera le 1/4 de la période, c'est-à-dire le moment où le coup de bélier positif atteint sa valeur maximum. On obtient donc avec ce calcul une période de $T = 4 \times 3{,}585 = 14{,}34$ secondes au lieu des 13 secondes observées.

L'écart n'est pas très grand.

Pour comparer les formules Michaud et Alliévi de la période, nous devons admettre les mêmes bases de calcul, comme nous l'avons fait pour le coup de bélier, c'est-à-dire admettre une conduite de diamètre constant soit 0,55 m, une épaisseur moyenne également constante de 26 mm et une longueur de 4650 m.

Nous avons avec la formule Alliévi : $a = 1290$ m.

$$\text{Période Alliévi : } \tau = \frac{4\,L}{a} = \frac{4.4650}{1290} = 14{,}4 \text{ sec.}$$

Avec la formule Michaud, nous avons pour la longueur de la chambre élastique $l = 23{,}0$ m et nous obtenons :

$$\tau = 2.\pi.\sqrt{\frac{4650\,.\,23}{9{,}81\,.\,1630}} = 16{,}2 \text{ sec.}$$

Si nous voulons avoir une valeur plus approchée avec la formule Michaud, nous prendrons pour l la valeur exacte

de la chambre élastique telle qu'elle ressort du tableau I, colonne 12 soit 19,57, ce qui nous donnera

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{4650 . 19{,}57}{9{,}81 . 1630}} = 15 \text{ sec.}$$

Toutes ces valeurs obtenues par différentes méthodes sont un peu trop élevées, puisque la période réellement observée est de 13 secondes.

Une première raison de ce fait c'est très probablement le renforcement de la conduite par des brides dont on ne tient pas compte dans le calcul de la chambre élastique, ce qui fait que la longueur réelle de cette chambre est certainement plus faible que ce que l'on calcule. Avec des tuyaux rivés, il y a, en plus, toutes les rivures transversales où l'épaisseur est double, ce qui accentue encore le renforcement. Nous avons pu le constater d'une manière frappante avec la conduite de Vouvry où la période observée était de 5,2 secondes et surtout avec la conduite d'Orlu (période observée 4,33 sec) où on a des tuyaux rivés jusqu'à 20 mm d'épaisseur.

Dans ces deux cas, les périodes calculées sont nettement supérieures à celles observées.

Une seconde raison de cet écart, à Fully, résiderait-elle dans le fait de la conduite à deux diamètres ? Voici un raisonnement quelque peu intuitif qui me paraît toutefois assez logique : Les oscillations élastiques d'une masse liquide enfermée dans une conduite sont très comparables à celles d'un pendule. Or on sait qu'un pendule matériel oscille comme un pendule théorique ayant toute sa masse concentrée au centre de gravité de la masse. Nous avons déterminé le centre de gravité de la conduite (voir épure fig. 9) de Fully qui est en S et qui n'est pas au point milieu de la conduite, mais plus haut. Nous faisons alors le raisonnement suivant :

Une conduite de 4650 m de longueur, de deux diamètres, obéira aux mêmes lois d'oscillations qu'une conduite ayant un diamètre constant correspondant à la même masse totale, et ayant une longueur L' de 4220 m telle que le point S (centre de gravité) soit au milieu.

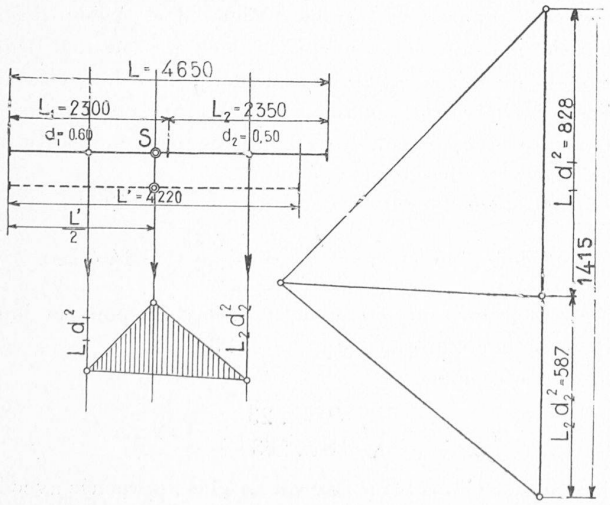

Fig. 9.

Mais, une telle conduite de longueur L' aura aussi une chambre élastique proportionnellement plus courte soit

$$l' = 19{,}57 . \frac{4220}{4650} = 17{,}75 \text{ m.}$$

Avec ces deux valeurs nous pouvons calculer la période

$$\tau' = 2\pi \sqrt{\frac{4220 . 17{,}75}{9{,}81 . 1630}} = 13{,}6 \text{ sec.}$$

Cette valeur se rapproche beaucoup de la période observée qui est de 13 sec.

Il serait intéressant de pouvoir vérifier ce raisonnement dans d'autres cas.

Fermeture lente ou rapide.

Nous avons dit que la première formule de Michaud

$$\beta = \frac{2 L v}{g T}$$

dans laquelle T désigne le temps de fermeture, devait être employée pour les cas de fermetures lentes et l'on sait que par là on entend une fermeture dans un temps $T > 2L/a$.

Nous allons voir rapidement que ce temps peut être déterminé à l'aide des deux formules Michaud, pour le coup de bélier sans passer par la notion de la vitesse de propagation de l'onde. Nous n'avons qu'à faire le rapport des expressions de Michaud : β pour fermeture lente et β' pour fermeture rapide :

$$\frac{\beta}{\beta'} = \frac{2 L v}{g T . v \sqrt{\frac{L h}{g l}}} = \frac{2}{T} \sqrt{\frac{2 L l}{g h}}$$

Mais nous avons vu que l'expression $\sqrt{\frac{2 L l}{g h}}$

n'était autre que le temps que nous avons désigné par la lettre t' et qu'il était égal à L/a. De sorte que

$$\frac{\beta}{\beta'} = \frac{2 t'}{T} = \frac{2 \frac{L}{a}}{T}$$

Donc, lorsque T est égal à $2\,t'$ ou à

$$2 \sqrt{\frac{2 L l}{g h}}$$

ou encore à $2\,L/a$ les deux valeurs du coup de bélier sont les mêmes. Si T est situé entre zéro et $2\,t'$ il est évident que le coup de bélier ne peut pas dépasser la valeur β' du coup de bélier dû à une fermeture instantanée.

Voici l'application numérique de ces formules à l'exemple de Fully. Nous devons admettre comme précédemment, le diamètre moyen de 0,55 m, l'épaisseur moyenne de 26 mm et la longueur de la chambre élastique qui en résulte soit 23,00, qui s'écarte sensiblement de la valeur réelle, ce qui n'a pas d'importance puisque nous ne voulons qu'établir des chiffres comparatifs.

Alors nous avons tout d'abord :

$$2\,t' = 2\sqrt{\frac{2\,.\,4650\,.\,23}{9{,}81\,.\,1630}} = 7{,}32 \text{ sec}$$

ou avec la formule Alliévi :

$$\frac{2\,L}{a} = \frac{2\,.\,4650}{1290} = 7{,}2 \text{ sec}$$

chiffre très peu différent du précédent.

Coup de bélier d'après la première formule Michaud : en admettant une vitesse initiale de 1 m/sec. et avec le temps de fermeture de 7,32 sec.

$$\beta = \frac{2\,.\,4650\,.\,1}{9{,}81\,.\,7{,}32} = 129{,}5 \text{ m}$$

avec la seconde formule Michaud :

$$\beta' = 1\sqrt{\frac{4650\,.\,1630}{2\,.\,9{,}81\,.\,23}} = 129{,}7 \text{ m.}$$

Les deux valeurs obtenues correspondent bien, et c'est donc bien le temps $2\,t' = 7{,}32$ sec au-dessus duquel il faut employer la formule 1 (Michaud) pour fermetures lentes tandis que pour $2\,t' < 7{,}32$ il faut employer la formule 2 du coup de bélier pour fermeture instantanée.

Conclusions. — De tout ce qui précède on peut tirer les conclusions suivantes :

1° En plus du retour à la première formule Michaud pour fermertures lentes

$$\text{I)} \qquad \beta = \frac{2\,Lv}{gT}$$

un retour à la seconde formule Michaud pour le coup de bélier dû à une fermeture rapide, paraît indiqué.

Cette formule est la suivante :

II) $\beta' = v\sqrt{\frac{Lh}{gl}}$ si la chambre élastique est concentrée au point bas de la conduite

III) $\beta'' = v\sqrt{\frac{Lh}{2\,gl}}$ si la chambre élastique est également répartie sur toute la longueur de la conduite.

Cette dernière formule est exactement l'équivalente de la formule Alliévi

$$\text{IV)} \qquad \beta = \frac{av}{g}$$

Les formules précédentes supposent une conduite à diamètre constant, un profil rectiligne et une épaisseur de tôle moyenne également constante.

2° Pour le cas général d'une conduite à plusieurs diamètres, à profil non rectiligne et à épaisseur de tôle variable, la formule III (Michaud) transformée permet, en divisant la conduite en un certain nombre de tronçons, de calculer la répartition du coup de bélier suivant la longueur de la conduite, ce que la formule IV (Alliévi) ne permet pas du tout.

Cette formule III transformée est la suivante :

$$\text{V)} \qquad \beta = \sqrt{\frac{h\Sigma\,(L'\,.\,d^2\,v^2)}{g\Sigma\,(l'\,d^2)}}$$

Dans cette formule L' désigne la longueur d'un tronçon de conduite, h est la pression au milieu de ce tronçon et l' la longueur de la chambre élastique de ce tronçon.

3° Par fermeture lente, on entend une fermeture qui se produit en un temps :

$$\text{VI)} \qquad T > 2\sqrt{\frac{2\,Ll}{gh}}$$

qui est l'équivalent de la formule Alliévi

$$\text{VII)} \qquad T > \frac{2\,L}{a}$$

Par fermeture rapide on entend une fermeture se produisant dans un temps plus petit que celui exprimé par les formules VI ou VII.

4° Période : La période telle qu'elle a été déterminée par Michaud est exprimée par la formule :

$$\text{VIII)} \qquad \tau = 2\,\pi\sqrt{\frac{L\,.\,l}{gh}}$$

d'après Alliévi elle est exprimée par :

IX) $\tau' = \frac{4\,L}{a}$ ou avec les notations Michaud : $5{,}7\sqrt{\frac{L\,.\,l}{gh}}$

Ces deux valeurs diffèrent d'environ 10 %.

Les deux formules paraissent donner en général des valeurs trop élevées. Nous avons indiqué un moyen d'arriver à une valeur plus rapprochée de la vérité pour les conduites à plusieurs diamètres en déterminant le centre de gravité de la masse liquide et en substituant des valeurs L' et l' rectifiées aux valeurs réelles.

Toutes ces concordances entre les résultats de la théorie primitive telle qu'elle a été établie par Michaud en 1878 et les nombreux travaux plus complets et plus savants qui ont vu le jour depuis lors, sont vraiment remarquables, et il serait injuste de les attribuer simplement à « l'heureuse intuition des premiers chercheurs ». La vérité est que Michaud a d'emblée posé et résolu le problème correctement. La seule différence avec les théories récentes, c'est qu'il a supposé la chambre élastique concentrée au point bas de la conduite, alors que Alliévi et ses successeurs l'ont répartie sur toute la longueur de la conduite, ce qui est certainement plus exact et ce qui les a amenés à la notion de la vitesse de propagation de l'onde. Il ne faut pas oublier que cette vitesse de propagation de l'onde, *n'est qu'une conséquence* de l'élasticité de la conduite et de la colonne liquide. La base des calculs est donc cette élasticité et non pas la vitesse de propagation de l'onde qui en découle. C'est pour cela que la formule Michaud II et les formules III et V qui en sont tirées permettent d'étudier le phénomène de la répartition du coup de bélier suivant la longueur de la conduite.

C'est ce que nous avons cherché à montrer par les notes qui précèdent.