

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 29 (1903)
Heft: 4

Artikel: Intensité des coups de bélier dans les conduites d'eau (suite)
Autor: Michaud, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-23479>

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: 22.02.2026

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

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET ARCHITECTES. — Paraissant deux fois par mois.

Rédacteur en chef. M. P. HOFFET, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

SOMMAIRE : *Intensité des coups de bélier dans les conduites d'eau* (suite), par M. J. Michaud, ingénieur, à Vevey. — *Installations électriques de la Commune de Lausanne* (suite), planche 2, par M. A. de Montmollin, chef du Service de l'Electricité. — **Divers** : Excursion technique de l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne (suite), par un groupe d'élèves. II. Usines de la Société de Roll. — Tunnel du Simplon : Extrait du XVII^e rapport trimestriel sur l'état des travaux au 31 décembre 1902. Etat des travaux au mois de janvier 1903. — Kiosque des Tramways sur la place St-François, à Lausanne. — Société fribourgeoise des Ingénieurs et Architectes. Assemblée générale. — Société vaudoise des Ingénieurs et Architectes. 6^{me} séance ordinaire du 7 février 1903. — Ecole d'Ingénieurs de Lausanne. — Association des Anciens Elèves de l'Ecole des Beaux-arts de Paris. — Bibliographie: L'art de bâtir les villes, par Camillo Sitte.

Intensité des coups de bélier dans les conduites d'eau.

(Suite)¹.

Si la durée T de la fermeture n'est que la moitié de τ , le débit total OAD (fig. 2) multiplié par le coup de bélier minimum β est encore égal au surtravail qui suffit pour arrêter complètement le mouvement de l'eau. Mais le volume qui a OAD pour base et la surface sinusoïdale dont la trace est OMM pour limite supérieure, est plus petit que le prisme à base OAD avec hauteur constante β . Par conséquent, l'eau sortie à travers l'orifice n'a pas emmené un surtravail qui équivaille à la puissance vive de la colonne en mouvement. L'eau de la conduite est cependant immobile, puisqu'à ce moment il n'entre plus d'eau dans la chambre d'air, dont la pression reste stationnaire. C'est le surtravail développé par l'eau entrée jusqu'à ce moment dans la chambre d'air qui a complété le travail total nécessaire pour obtenir l'arrêt de la colonne liquide.

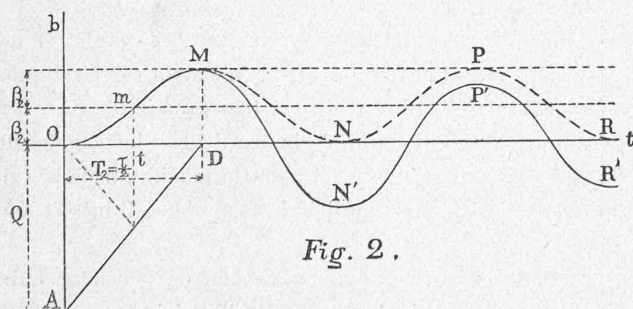


Fig. 2.

Après l'achèvement de la fermeture, l'eau entrée dans la chambre d'air en ressortira, en produisant dans la conduite une vitesse remontante qui abaissera la pression au-dessous de la normale avant de se détruire et fera naître ainsi une série d'oscillations $MN'P'R'$ que les frottements finissent par éteindre.

Sans entrer dans le détail, nous dirons que la puissance vive emmagasinée dans la chambre d'air par l'eau qui y est entrée, est un peu plus du tiers de la puissance vive de la colonne liquide à arrêter, ainsi qu'il est facile de s'en assurer.

¹ Voir N° du 10 février 1903, p. 35.

Enfin, si pour la même conduite et le même débit initial la durée T de la fermeture est égale à $\frac{\tau}{4}$, le coup de bélier minimum devient le double de ce qu'il était dans le cas précédent, et l'on obtient la figure 3 tracée à la même échelle que la figure 2.

On se rend compte assez facilement qu'au moment où la fermeture s'achève, plus d'un tiers de la puissance vive totale de la colonne liquide est entrée dans la chambre d'air comme dans le cas précédent, moins d'un tiers s'est échappé avec l'eau qui s'est écoulée par l'orifice ; enfin le reste, soit près du tiers, est resté dans la colonne dont le mouvement n'est pas encore éteint. Après l'achèvement de la fermeture l'eau continue à pénétrer dans la chambre d'air. Elle y élève la pression, mais sans atteindre le maximum indiqué par la formule 6, et en restant aussi au-dessous de la valeur qu'on obtient par une fermeture instantanée, formule 2.

En résumé, tant que la durée de la fermeture T est égale ou plus grande que la demi-période des oscillations

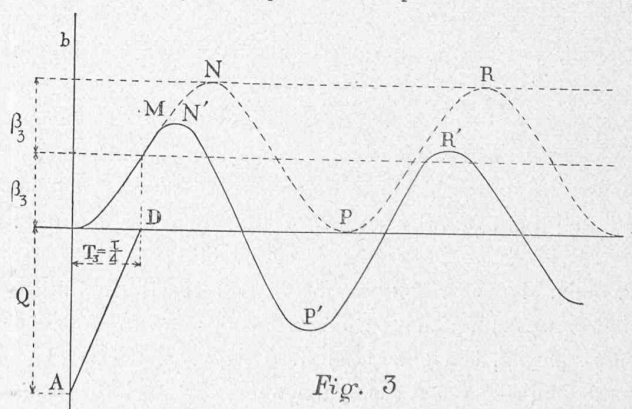


Fig. 3

de pression, le coup de bélier ou maximum de surpression est bien déterminé par la formule 6 :

$$B_T = \frac{2Lv}{gT},$$

c'est-à-dire qu'il est le double de ce qu'il serait sans l'élasticité.

Lorsque cette durée est plus courte, le coup de bélier réellement produit est moindre que la valeur calculée par cette formule 6. Il est, naturellement aussi, moindre que celui qui découlerait de la formule 2, puisque cette formule s'applique à la fermeture instantanée.

Exemple de l'application des formules.

La conduite qui alimente les turbines de l'usine de Vouvry, utilisant la force motrice du lac Tanay, se compose successivement, et abstraction faite des tunnels placés à l'origine, de :

1200 m. de tuyaux de 0^m,800 de diamètre.

635 » » » 0^m,500 » »

1300 » » » 0^m,315 » » moyen.

Les 1200 mètres de 0^m,800 de diamètre ont une pente totale de 12 mètres environ. Ils sont pourvus, vers leur extrémité, d'un tuyau évent de 0^m,400 de diamètre, remontant, avec une pente de 45° environ, suffisamment haut pour rester toujours ouvert à l'air libre. Grâce à cet évent, le coup de bélier qui se produit dans ce tronçon de conduite, est presque indépendant de la durée de la fermeture des orifices de turbine. Il est facile de voir que pour la vitesse de 0^m,41 qui était réalisée dans ce tronçon de conduite pendant les expériences, le coup de bélier était toujours moindre que 2 mètres à l'évent. La période des oscillations est différente, pour ce tronçon ouvert, de ce qu'elle est pour le reste. Nous avons négligé l'effet de cette portion de conduite dans nos calculs. L'erreur possible qui en résulte est inférieure à une fraction qui varie de $\frac{1}{20}$ à $\frac{1}{30}$ du total indiqué par l'expérience.

Les expériences dont les résultats sont indiqués plus loin, ont été faites le 24 juin 1902 avec l'aide de M. Thury, ingénieur de la Compagnie de l'Industrie électrique de Genève, dont la dextérité manuelle vient s'ajouter à tant d'autres qualités.

L'un des distributeurs de turbine étant ouvert en plein, on le refermait avec une vitesse plus ou moins grande, suivant l'expérience, mais toujours régulière. L'orifice en question est un orifice obturé par une languette, en sorte que le débit (abstraction faite de l'influence du coup de bélier lui-même) variait proportionnellement au temps, comme l'orifice lui-même, et réalisait les hypothèses qui ont servi de base à l'établissement des formules.

L'orifice, entièrement ouvert, débite 55 litres par seconde. Dans le tronçon de 0^m,500 la vitesse initiale était de 0^m,280. Dans le tronçon d'aval, de 0^m,315 de diamètre moyen, la vitesse atteignait 0^m,70.

Appliquée à ce cas particulier, la formule 6 bis devient :

$$BT = \frac{\sum Lv}{gT} = \frac{2 \times 635 \times 0,28 + 2 \times 1300 \times 0,70}{gT} = \frac{220}{T}$$

Ouverture.

Numéro de l'observation	Durée de l'ouverture	Dépression	
		calculée par $BT = \frac{220}{T}$	observée
		Mètres	Mètres
1	6"	37	43
2	5"	44	46
3	5"	44	66

Fermeture.

Numéro de l'observation	Durée de la fermeture	Surpression	
		calculée par $BT = \frac{220}{T}$	observée
		Mètres	Mètres
4	9"	24,4	27
5	5",2	42	43
6	4",8	46	44
7	3",8	58	54
8	3",5	63	64
9	2",5	88	95

Les expériences d'ouverture, faites les premières, ont été exécutées avec moins de soin que les autres. L'expérience de fermeture n° 9 n'est pas précisément une expérience, c'est plutôt l'observation heureusement assez exacte et précise, des résultats d'une manœuvre faite précipitamment par crainte d'un accident électrique.

Les résultats du calcul devraient être majorés de un ou deux mètres, pour tenir compte de l'effet du coup de bélier dans le tronçon supérieur de 800 mm. de diamètre, coup de bélier qui se répercute dans les tronçons inférieurs.

Ainsi majorés, les résultats du calcul sont plutôt supérieurs à ceux de l'observation, comme cela devait être, ainsi que nous l'avons vu, en raison de l'accroissement de débit dû au coup de bélier et que la formule 6 néglige.

Dans toutes les expériences 1 à 9 la formule 6 est bien applicable, puisque la durée T de fermeture est égale ou supérieure à la moitié de la période τ , qui est de 5",2 ainsi que nous allons le voir.

La concordance des résultats de l'expérience avec ceux du calcul nous paraît excellente. Elle prouve bien que, contrairement à ce que paraît croire M. Rateau¹, le coup de bélier réel qui se produit en l'absence de chambre d'air (comme du reste avec une petite chambre d'air) est bien le double du coup de bélier théorique β (formule 3) qui se produirait, si l'eau et les parois n'étaient pas élastiques.

Quand la chambre d'air est très grande, la durée de fermeture T a beaucoup de chance d'être plus courte que la moitié de la période τ , et alors le maximum de la surpression n'est plus donné par la formule 6, il lui est inférieur.

La concordance que nous venons de constater entre les résultats du calcul et ceux de l'expérience dans l'application de cette formule 6 n'existe plus au même degré, lorsqu'il s'agit de la période des oscillations de pression τ en l'absence de chambre d'air. Cela tient peut-être à ce que, dans l'établissement de la formule, on assimile complètement la chambre élastique répartie tout le long de la conduite, à la chambre d'air qui est concentrée à son extrémité.

Pour la conduite de Vouvry les formules donnent :

$$1) \quad l = \frac{L}{10\,000} \left(R + \frac{H}{40} \right) = 5^m,61$$

pour $L = 1935$ m. ; $R = 6$ kg. et $H = 920$ m.

¹ *Traité des turbo-machines*, page 252, lignes 13, 14 et 15.

On n'a pas à s'inquiéter ici de la variation de diamètre, puisque celui-ci ne paraît ni dans cette formule 1 qui donne la longueur de la chambre élastique, ni dans la formule 7 qui donne la période des ondulations de la pression :

$$7) \quad \tau = 2\pi \sqrt{\frac{Ll}{Hg}} = 2\pi \sqrt{\frac{1935 \times 5,61}{920g}} = 6'',8$$

tandis que l'observation fournit $\tau = 5'',2$.

Au chemin de fer Lausanne-Ouchy, où la chambre élastique totale comporte une chambre d'air importante, la concordance est bien meilleure, entre les résultats observés et les résultats calculés pour la détermination de la période τ des oscillations de pression.

J. MICHAUD.

Installations électriques de la Commune de Lausanne.

(Suite)¹.

Machines thermiques de réserve.

Appareils générateurs de vapeur. — Ces appareils consistent en quatre chaudières, dont trois de 275 m² de surface de chauffe, et la quatrième de 65 m². Cette dernière sert au chauffage à vapeur de l'usine. Des trois grandes chaudières, deux ont été fournies par les « Guillaume Werke », à Neustadt (Palatinat), et la troisième par MM. J. et A. Niclausse, à Paris. La chaudière de chauffe a été livrée par MM. Sulzer frères, à Winterthur.

Chaudières Guillaume. — Un point de première importance est de pouvoir obtenir rapidement la vapeur nécessaire, afin de limiter la durée des arrêts provenant d'une rupture ou d'un dérangement inattendu de la ligne de transport de St-Maurice à Lausanne. Les chaudières ordinaires à bouilleurs ou à foyer intérieur, demandant de deux à trois heures pour leur mise en pression, ne pouvaient convenir malgré leur grande simplicité et leur en-

tretien facile. D'un autre côté, les appareils à production de vapeur instantanée ont paru trop délicats, de sorte que l'on s'est arrêté à un moyen terme, en adoptant des chaudières à tubes d'eau, dont la mise en pression peut s'effectuer en une demi-heure si c'est nécessaire, et qui ne présentent aucune complication sérieuse comme construction ou entretien (fig. 35, 36, 37 et 39).

Le générateur Guillaume comprend un réservoir d'eau et de vapeur cylindrique, en tôle Siemens-Martin, d'un diamètre de 1^m,60 et d'une longueur de 6^m,50. Ce réservoir communique par sa partie antérieure avec une

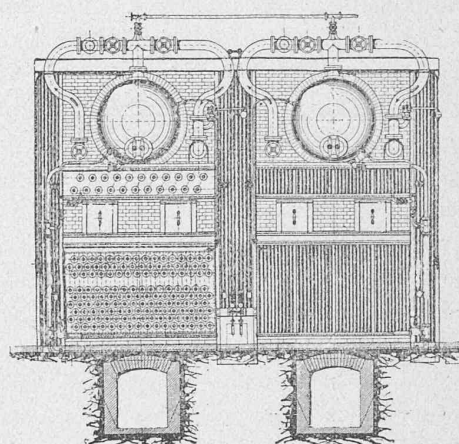


Fig. 36. — Chaudière Guillaume. — Face arrière.

chambre d'eau prismatique d'où partent des tuyaux en acier Mannesmann sans soudure, de 114 mm. de diamètre et de 5 m. de longueur. Ces tubes débouchent par leur autre extrémité dans une seconde chambre d'eau placée à l'arrière de la chaudière. Ils sont divisés en deux faisceaux, dont l'un comprend les trois rangées supérieures de 16 tubes, ayant pour but de transporter l'eau du réservoir de la chambre antérieure à la chambre postérieure. Le faisceau de tubes inférieurs, comprenant six rangées de 16 tubes, est exposé directement à la flamme; c'est donc dans l'intérieur de celui-ci que se forme la vapeur. La

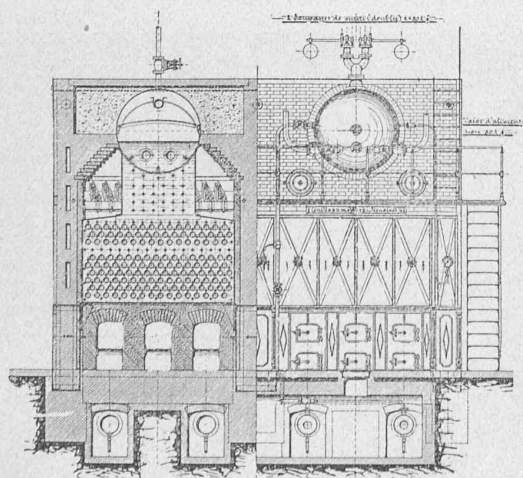


Fig. 35. — Chaudière Guillaume. — Face avant.

¹ Voir N° du 25 janvier 1903, page 21.

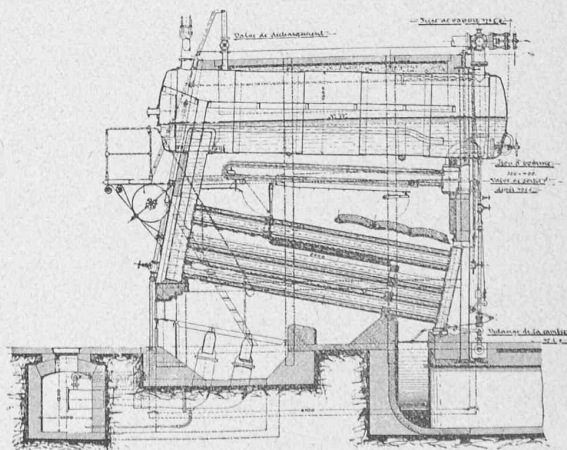


Fig. 37. — Chaudière Guillaume. — Coupe longitudinale.
Echelle : 1 : 133.