

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 45 (1919)
Heft: 26

Artikel: Calcul du coup de bélier dans les conduites formées de deux ou de trois tronçons de diamètres différents
Autor: Carey, Ed.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-34946>

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: 26.01.2026

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

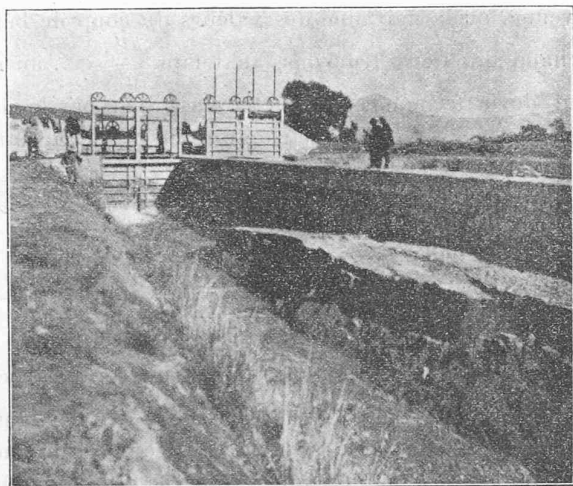


Fig. 1 a. — Aspect d'un bassin pendant le lavage du dépôt d'alluvions.

professeur L.-W. Collet, citée plus haut, le volume des alluvions en suspension dans l'eau de la Drance à Martigny-Bourg fut pour les mois de juillet et août 1909 en moyenne $4,07 \text{ cm}^3$ avec un maximum journalier d'environ 22 cm^3 par litre. L'eau de la Borgne à Bramois est encore plus chargée puisqu'elle contenait en juillet et août 1909 en moyenne $5,6 \text{ cm}^3$ avec un maximum d'environ $23,4 \text{ cm}^3$ par litre. Le 17 juin 1918, jour de pluie, nous avons trouvé dans l'eau de la Saltine à Brigue $4,2 \text{ cm}^3$ par litre.

Ces chiffres ont une très grande importance pratique, car ils permettent de calculer à l'avance la quantité d'alluvions qui passeront par les turbines d'une usine que l'on veut construire. Si l'on prend par exemple une teneur en alluvions de 4 cm^3 par litre et un débit de 5 m^3 par seconde, on obtient pour 24 heures :

$$\frac{4 \cdot 5 \cdot 1000 \cdot 3600 \cdot 24}{1000 \cdot 1000} = 1728 \text{ m}^3$$

ou :

$$\frac{1728 \cdot 1,5 \cdot 1000}{10 \cdot 1000} = 259 \text{ wagons de 10 tonnes.}$$

On est en droit de s'étonner que les turbines puissent résister pendant plusieurs mois d'été à l'action destructive de pareilles masses d'alluvions. Ces chiffres montrent aussi nous semble-t-il l'impossibilité de lutter efficacement contre les alluvions avec des bassins ou chambres de décantation ordinaires sans écoulement automatique des alluvions éliminées.

Les alluvions trouvées dans les bassins de Florida-Alta consistaient en sable dont le diamètre des plus gros grains ne dépassait guère 5 mm. , en limon et en une boue de couleur rougeâtre. Seuls quelques fragments isolés de lave volcanique atteignaient 10 et 20 millimètres de diamètre.

Ces constatations permettaient de conclure sans aucun doute, que l'usure des turbines était un phénomène absolument naturel et indépendant de leur type et de leur qualité.

L'examen plus approfondi des alluvions trouvées

dans l'eau nous fit voir que les éléments dont la vitesse de précipitation, dans un tube rempli d'eau, était inférieure à 30 mm. par seconde, vitesse correspondant à un diamètre des grains allant jusqu'à $0,4 \text{ mm.}$ paraissaient, vu leurs petites dimensions et leur nature en partie plus tendre, être peu dangereuses pour les turbines.

Le problème qui se posait était donc : trouver un dispositif capable d'éliminer de l'eau motrice, tous les troubles dont le diamètre des grains dépassait $0,4 \text{ mm.}$ et permettant l'évacuation rapide et peu coûteuse des quantités considérables de sables et limons auxquelles il fallait s'attendre. (A suivre.)

Calcul du coup de bélier dans les conduites formées de deux ou de trois tronçons de diamètres différents

par ED. CAREY, ingénieur à Marseille.

(Suite¹)

2. Fermeture complète en $2\theta'$ secondes = $4 \frac{l'}{a'}$ correspondant à la période de la conduite entière.

Si la conduite est formée de deux tronçons pour lesquels on suppose toujours $\theta' = \theta''$, le coup de bélier sera au temps $2\theta'$, soit à la fin de la deuxième période θ' pour laquelle $v'_2 = 0$:

$$(12) \quad B_2 = \frac{a'}{g} v'_0 - 2\mu B_1 = \frac{a'}{g} v'_0 \left(1 - \frac{2\mu}{2 + r'v'_0} \right)$$

car $v'_1 = \frac{v'_0}{2}$ pour une fermeture linéaire, ou :

$$(13) \quad B_2 = \frac{a'v'_0}{g} K \quad \text{en posant } K = 1 - \frac{2\mu}{2 + r'v'_0}$$

ou encore, en fonction de V' et T , pour une fermeture régulière à la vitesse $\frac{V'}{T} \text{ m/sec.}$ et pour $T \geq \frac{4l'}{a'}$, avec

$$v'_0 = \frac{V'}{T} \frac{4l'}{a'} :$$

$$(14) \quad B_2 = \frac{4l'V'}{gT} \left(1 - \frac{2\mu}{2 + r'v'_0} \right) = \frac{4l'V'}{gT} K$$

Dans laquelle $r'v'_0$ peut s'écrire :

$$(15) \quad r'v'_0 = \frac{2l'V'}{gT\gamma_0} = \frac{4l'V'}{gT} \cdot \frac{1}{2\gamma_0}$$

Le coup de bélier est diminué par l'augmentation de la différence des diamètres ; il diminue encore, toutes choses égales, avec le terme $r'v'_0$ pour la même valeur de μ ; la diminution est donc plus forte dans les basses chutes que dans les hautes chutes.

Lorsque la différence des diamètres est grande avec $\mu > \frac{1 + r'v'_0}{2}$, le coup de bélier passe pendant la fermeture par un maximum au temps $\frac{2l'}{a'}$ sec.

Après la fermeture, on constate encore une majoration assez sensible du coup de bélier, pour μ très grand

¹ Voir Bulletin technique 1919, p. 243.

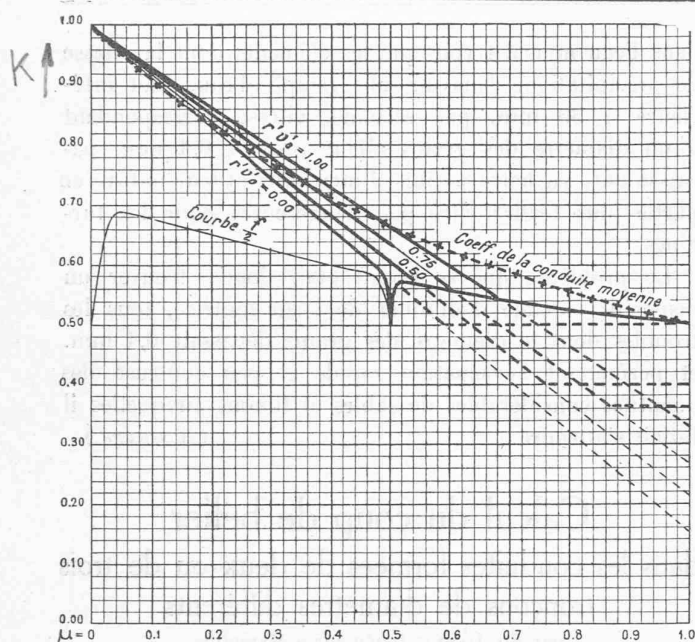


Fig. 3. — Conduites en deux tronçons.

Coefficient K du coup de bélier maximum de fermeture complète à l'allure $\frac{V'}{T}$ m/sec.

$$B = \frac{4l'V'}{gT} K, \text{ avec } r'v'_0 = \frac{2l'V'}{gTy_0}$$

et $r'v'_0$ petit. Par exemple avec $\mu = 0,85$ et $r'v'_0 = 0$ la valeur théorique de K passe de 0,15 au temps $\frac{4l'}{a'}$ à 0,283 à la fin de la quatrième période, mais, dans ce cas, K reste inférieur, au temps $\frac{4l'}{a'}$ sec., à la valeur 0,50 par laquelle il passe, pendant la fermeture, au temps $\frac{2l'}{a'}$. Le coefficient K est tracé sur la figure 3, pour quelques valeurs de $r'v'_0$, en tenant compte de la majoration qui peut se produire.

Comparons maintenant le coup de bélier réel avec celui donné par la *conduite moyenne* à caractéristique unique, pour la fermeture complète en $\frac{2L}{a}$ sec. Dans cette dernière on aura :

$\xi = \frac{a}{g} v_0$ ou $\xi = \frac{2LV}{gT}$ (Michaud) pour $T \geq \frac{2L}{a}$ sec. ou, en fonction des éléments de la conduite en deux tronçons :

$$(16) \quad \xi = \frac{a'}{g} v'_0 \left(\frac{1 + \alpha}{2} \right)$$

Inversement on aura pour B_2 , dans la conduite en deux tronçons, en remplaçant dans le premier terme de la formule 12 : a' par $\frac{2l'a}{L}$ et v'_0 par $\frac{v_0 L}{L(1 + \alpha)}$:

$$(17) \quad B_2 = \frac{a}{g} v_0 \frac{2}{1 + \alpha} \left(1 - \frac{2\mu}{2 + r'v'_0} \right) = \frac{2LV}{gT} \frac{2}{1 + \alpha} \left(1 - \frac{2\mu}{2 + r'v'_0} \right)$$

Le coup de bélier Michaud, $\frac{2LV}{gT}$, de la conduite

moyenne, ou la moyenne des valeurs du coup de bélier Michaud des deux tronçons, au temps $\frac{4l'}{a'}$ sec., au moment de la fermeture complète, n'est donc pas le coup de bélier réel, car il doit être multiplié par le facteur b .

$$(18) \quad b = \frac{2}{1 + \alpha} \cdot \left(1 - \frac{2\mu}{2 + r'v'_0} \right) = \frac{2K}{1 + \alpha}$$

et on aura pour $T \geq \frac{2L}{a}$ sec. :

$$(19) \quad B_2 = \frac{2LV}{gT} \cdot b.$$

La courbe $\frac{1 + \alpha}{2}$ (formule 16) qui représente le coefficient donnant la valeur du coup de bélier Michaud dans la conduite moyenne, est tracée sur la figure 3; elle montre que dans les conduites de diamètres peu différents, avec $\mu < 0,3$ et $r'v'_0 < 0,5$, le coup de bélier Michaud correspond sensiblement à la valeur réelle, mais, lorsque μ est $> 0,3$, le coup de bélier réel est inférieur au $\frac{2LV}{gT}$ de la conduite moyenne.

EN RÉSUMÉ, on peut utiliser les formules simples qui suivent pour déterminer au vannage la valeur du coup de bélier maximum de fermeture dans les conduites en deux tronçons tels que $\theta' = \theta''$ secondes :

1° Fermeture complète en $\frac{2l'}{a'} = \theta'$ secondes :

$$(20) \quad T \leq \frac{2l'}{a'} : B_m = \frac{a'V'}{g} f.$$

$$(8) \quad T \geq \frac{2l'}{a'} : B_m = \frac{2l'V'}{gT} f = \frac{4l'V'}{gT} \cdot \frac{f}{2}$$

2° Fermeture complète en $\frac{4l'}{a} = 2\theta'$ secondes :

$$(21) \quad T = \frac{4l'}{a'} : B_m = \frac{a'V'}{g} \cdot K$$

$$(14) \quad T \geq \frac{4l'}{a'} : B_m = \frac{4l'V'}{gT} \cdot K$$

avec $r'v'_0 = \frac{2l'V'}{gTy_0}$.

Les valeurs de f et K sont données par les graphiques des figures 1 et 3.

En comparant ces formules pour fermetures en θ' et $2\theta'$ secondes, on voit que le coup de bélier maximum de fermeture brusque de V' à zéro sera toujours produit par la fermeture effectuée en un temps $\leq \frac{2l'}{a'}$ sec. et sera donné par la formule 20, car

$$f > K.$$

Pour les fermetures effectuées à la même allure $\frac{V'}{T}$ mètres par seconde, le coup de bélier maximum est donné par les formules 8 et 14; il sera produit par la fermeture complète en $\frac{2l'}{a'}$ secondes lorsque

$$\frac{f}{2} > K$$

ou par la fermeture complète en $\frac{4l'}{a'}$ secondes lorsque

$$K > \frac{f}{2}.$$

Ce dernier cas est celui des conduites formées de tronçons de diamètres peu différents.

La courbe $\frac{f}{2}$ est aussi tracée sur la figure 3, courbe en dessous de laquelle les valeurs de K donnent un coup de bélier inférieur à celui de la fermeture en $\frac{2l'}{a'}$ secondes; elle fait ressortir pour quelles valeurs de μ et de $r'\rho'_0$ se produit ce fait important.

En admettant un fonctionnement normal du régulateur, le coup de bélier maximum sera donc donné par les formules 8 ou 14, mais si on peut craindre une fermeture complète de V' à zéro en un temps $\leq \theta'$ sec., il faudra utiliser la formule 20 et le graphique n° 1.

Remarquons que la valeur de $r'\rho'_0$ doit être $< 0,50$ pour que $\frac{a'\rho'_0}{g}$ reste inférieur à γ_0 , condition posée pour l'application des formules de M. de Sparre. Si nous voulons que le coup de bélier $\frac{a'\rho'_0}{g}$ majoré de 38 % reste inférieur à γ_0 , $r'\rho'_0$ devra être $< 0,37$.

D'autre part, la figure 3 montre que les courbes $r'\rho'_0 = 0$ et $r'\rho'_0 = 0,50$ sont très rapprochées et nous pourrions admettre cette dernière courbe pour le calcul du coup de bélier maximum sans commettre une erreur sensible; nous aurons ainsi le graphique 3 bis qui donne

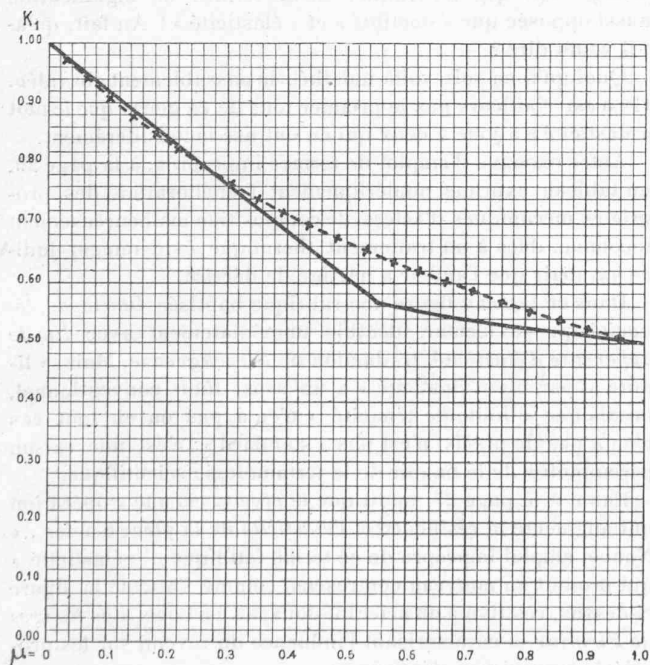


Fig. 3 bis. — Conduites en deux tronçons.
Coefficient K_1 du coup de bélier maximum de fermeture complète

à l'allure $\frac{V'}{T}$ m/sec.

$$B = \frac{4l'V'}{gT} K_1.$$

— + — + — Coefficient correspondant de la conduite moyenne.

immédiatement le coefficient K_1 du coup de bélier maximum de fermeture dans les conduites formées de deux tronçons tels que $\theta' = \theta''$ pour toutes les fermetures à l'allure $\frac{V'}{T}$ m/sec. Ce maximum est donné par la formule unique, indépendante de $r'\rho'_0$:

$$(21 \text{ bis}) \quad B = \frac{4l'V'}{gT} K_1$$

il est produit par les fermetures en $2\theta'$ sec. lorsque μ est $< 0,55$ et par les fermetures en θ' sec. lorsque μ est $> 0,55$.

Sur le même graphique 3 bis, nous avons reporté la courbe du coup de bélier correspondant dans la conduite moyenne.

Ce graphique montre aussi qu'au point de vue du coup de bélier, il n'est pas intéressant d'augmenter trop le diamètre du tronçon supérieur, car pour $\mu > 0,55$ le coefficient K_1 diminue très peu.

(A suivre).

Du danger de l'impropriété des termes.

La *Revue B. B. C.* qui, par ses articles de toute première main a pris place aux premiers rangs de la presse technique, publiée, avec à-propos, dans son numéro 1-2 de 1919, sur le *traitement thermique des pièces forgées*, une note illustrée de belles micrographies, mais malheureusement déparée par l'emploi de termes si impropres qu'ils produisent de véritables contresens. A l'heure où on n'entend parler que d'unification, de normalisation, de standardisation, etc., les rédacteurs d'une publication aussi en vue que la *Revue B. B. C.*, où paraissait récemment un appel¹ en faveur de la normalisation, devraient s'abstenir de torturer le vocabulaire technique dont la fixité est une condition de toute normalisation. Voici un exemple de ces défaillances.

A la page 25 du numéro en question, nous lisons: « Les qualités de l'acier varient entièrement suivant son refroidissement. Un refroidissement lent assure une *plus grande élasticité* au détriment de la résistance, un refroidissement rapide est suivi de l'effet contraire... » Voyons un peu cela: pour commencer, remplaçons le défini par la définition et rappelons que l'*élasticité* est la propriété des corps de pouvoir emmagasiner, sous forme d'énergie potentielle interne, le travail de déformation et de le restituer lorsque la cause des déformations cesse d'agir. Par exemple, dans le cas d'un barreau d'acier soumis à un effort d'extension une mesure de cette élasticité sera l'allongement élastique communiqué à l'unité de longueur du barreau par un accroissement de la tension égal à une unité. Pratiquement, on substitue à cette mesure celle de la tension maximum que le métal supportera sans présenter d'allongement permanent plus grand que tel allongement donné, 0,01 % par exemple: cette tension maximum est dénommée *limite d'élasticité*. Or, dans l'hypothèse où le rédacteur de la *Revue B. B. C.* prendrait le terme d'« élasticité » sous l'acception de « limite d'élasticité » la règle qu'il édicte serait fautive, car bien loin d'être élevée par un refroidissement lent cette limite est abaissée².

¹ Voir *Bulletin technique* du 4 octobre 1919, p. 213.

² Il y a exception toutefois pour certains aciers très spéciaux tels que l'acier à 25 % et plus de nickel que la trempe adoucit, c'est-à-dire qu'elle en abaisse la limite élastique tandis que l'allongement augmente.