Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 46 (1920)

Heft: 1

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-35743

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: 09.12.2025

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

leurlimite de 450. On voit donc qu'avec cette solution des turbines Francis on pourra admettre des unités de 4000 chevaux sous 130 mètres de chute, tournant à des vitesses aussi élevées que l'on voudra au-dessus de 300 tours. Le choix entre les turbines Pelton à 2 roues et 4 jets à 300 tours et les turbines Francis avec nombre de tours situé au-dessus de 300 sera alors dicté par d'autres considérations. Si par exemple on a de l'eau fortement chargée de sable, il ne faudra pas hésiter à choisir les turbines Pelton.

Chutes moyennes.

Supposons une chute de 40 mètres avec des unités de 2800 chevaux. Dans ce cas le graphique fig. 23 indique une vitesse un peu inférieure à 500 tours. En tenant compte du fait cité plus haut relativement à ce graphique, on voit que l'on pourra s'écarter sensiblement et dans les deux sens de ce chiffre de 500 tours, à condition de rester dans les limites extrêmes du n_s des turbines Francis.

Basses chutes.

Supposons une chute de 4,50 mètres et des unités de 1600 chevaux. Le graphique fig. 24 montre que le nombre de tours admissible dans ce cas est de 75. On peut, pour augmenter la vitesse, admettre des turbines Francis multiples à axe horizontal c'est-à-dire avec 2, 3, 4 ou même plus *roues-turbines* calées sur le même axe. L'usine d'Augst sur le Rhin, par exemple, comprend des groupes à 4 roues. Dans notre cas, nous aurions alors avec 4 roues 400 chevaux par roue, et le nombre de tours pourrait être poussé jusqu'à 125.

Cette solution des turbines multiples à axe horizonta ne peut guère être appliquée pour des chutes inférieures à 4 mètres à cause de la hauteur d'eau minimum nécesau-dessus des distributeurs. Dans les installations hydro électriques à basses chutes les plus modernes, on a généralement adopté la solution d'une turbine Francis à une seule roue, à axe vertical. Ainsi à l'usine d'Olten-Gösgen, sur l'Aar, on a des unités de 8000 chevaux, 93 tours, sous 10 mètres de chute, ce qui correspond à un n_s de 470, valeur un peu supérieure au chiffre de 450 que nous avons indiqué comme maximum.

On voit donc que, dans un projet hydro-électrique, le choix du système des unités, de leur grandeur, et de leur nombre de tours, n'est pas toujours chose aisée. Et, en consultant plusieurs maisons spécialistes de la construction des turbines, on sera souvent étonné de constater que leurs renseignements et leurs opinions sont loin d'être concordants. En tout état de cause, l'ingénieur-hydraulicien qui s'occupe d'un tel projet devra pouvoir se faire une opinion raisonnée sur la valeur des solutions qui lui sont proposées, et si les notes qui précèdent peuvent dans ce cas lui être de quelque utilité, le but que nous nous étions proposé en les publiant sera atteint.

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

par Ed. Carey, ingénieur à Marseille.

(*Suite*[1])

Comme exemple numérique, nous traçons (fig. 4) la courbe du coup de bélier au vannage pour une fermeture en $2\theta'$ secondes, calculée pour une conduite dont les éléments sont :

$L = 1200^m \quad \gamma_0 = 510^m \quad V' = 6^m,50 \quad T = 6,54$ sec.

$l' = 666^m \quad a' = 1220$ m/sec. $\quad d' = 0^m,50 \quad r' = 0,122$

$l' = 534^m \quad a'' = 980$ m/sec. $\quad d'' = 0,70 \quad \theta' = 1,09$

on aura : $\alpha = 0,41$ et $\mu = 0,418$; $\varphi'_0 = 2.166$

d'où $\quad B_2 = +170^m \quad B_5 = +175^m,3$

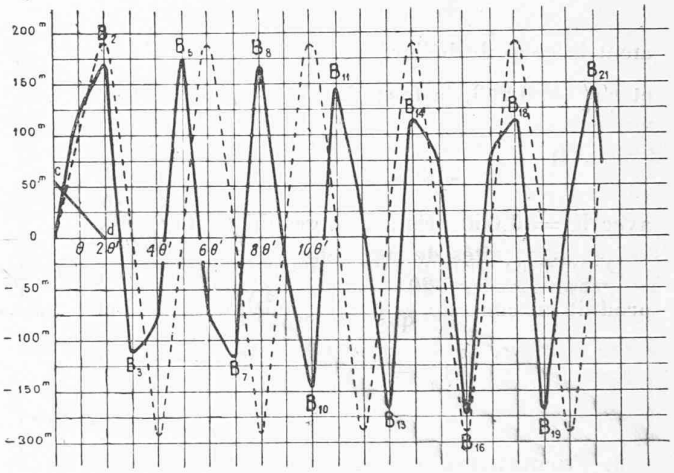

Fig. 4. — Conduites en deux tronçons.
Coup de bélier au vannage pour fermeture complète *cd*

en $\frac{4l'}{a'} = 2,18$ sec.

$\varphi' = 2^m,17$; $\frac{d'}{d''} = \frac{5}{7}$; $\mu = 0,418$.

-------- Courbe correspondante de la conduite moyenne.

La conduite moyenne a pour éléments :

$a = 1100$ m/sec. $\quad V = 5,086 \quad D = 0,565$

$r = 0,11 \quad \theta = 2,18$

La courbe du coup de bélier de fermeture en $\frac{2L}{a}$ à partir de $\varphi_0 = 1^m,695$, dans la conduite moyenne, est indiquée en pointillé sur la figure ; son maximum sera de :

$$\xi = \frac{a'\varphi'_0}{g} \cdot \left(\frac{1+\alpha}{2}\right) = 190^m,11 \text{ (Michaud)}$$

il est donc plus fort que le coup de bélier réel (170) au même moment et le facteur de réduction est $b = 0,893$.

Avec les formules générales on obtient immédiate-

[1] Voir *Bulletin technique* 1919, p. 281.

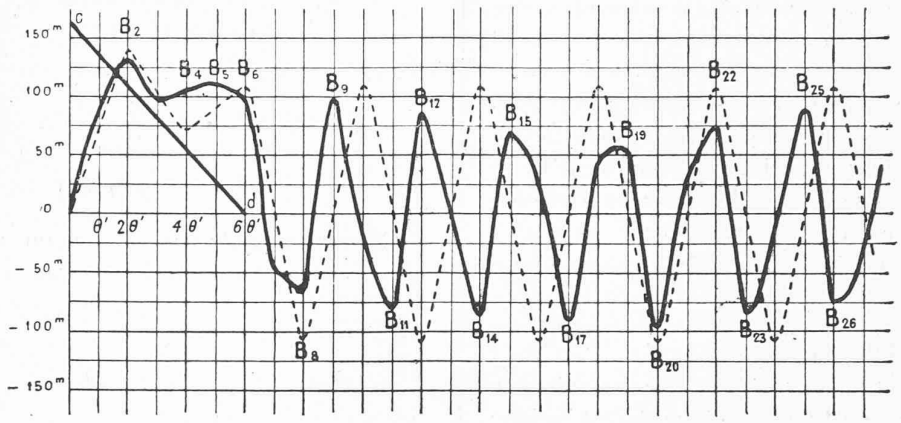

Fig. 5. — Conduites en deux tronçons. — Coup de bélier au vannage pour fermeture com *cd* en 6,54 sec.

$v' = 6{,}50$ m. ; $\frac{d'}{d''} = \frac{5}{7}$; $\mu = 0{,}418$.

..... Courbe correspondante de la conduite moyenne.

ment le coup de bélier réel de fermeture ; T étant $> \frac{4l'}{a'}$ et $r'v'_0 = 0{,}263$, la formule 14 donne :

$$B_m = \frac{4 \times 666 \times 6{,}50}{9{,}8 \times 6{,}54} \cdot 0{,}650 = 176^m$$

avec K = 0,650 pris sur le graphique figure 3.

D'après ce graphique, la fermeture en $\frac{2l'}{a'}$ secondes produit un coup de bélier un peu inférieur, donné par :

$$B_m = \frac{4l'V'}{gT} \frac{f}{2} = 161^m$$

3. Fermetures en un temps plus long que la période de la conduite entière.

Dans les conduites formées de deux tronçons avec $\theta' = \theta''$, on retrouve les mêmes résultats généraux que dans les conduites à caractéristique unique.

Dans le cas des *hautes chutes* avec, $\frac{a'v'_0}{2gy_0}(1+\alpha) < 1$, ce qui correspond à $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$ dans la conduite moyenne correspondante, le coup de bélier maximum paraît être donné à la fin de la deuxième période θ', soit au temps $2\theta'$, pour autant que le mouvement de fermeture a dépassé ce temps. Il est, en admettant une fermeture linéaire :

$$(22) \qquad B_2 = \frac{a'}{g} \frac{v'_0 - v'_2}{1 + r'v'_2} \left(1 - \frac{\mu}{1 + r'v'_1}\right)$$

ou, en remplaçant v'_0, v'_1 et v'_2 en fonction de V' et T :

(23)

$$B_m = \frac{4l'V'}{gT} \frac{1}{1 + \frac{a'V'}{2gy_0} - \frac{2l'V'}{gy_0T}} \left(1 - \frac{\mu}{1 + \frac{a'V'}{2gy_0} - \frac{l'V'}{gy_0T}}\right)$$

Pour une conduite dans laquelle ou ferait varier seulement le diamètre d'' du tronçon supérieur, en laissant constant le rapport $\frac{l''}{a''}$, μ étant seule variable, l'importance de B_m diminue lorsque μ augmente, c'est-à-dire que les diamètres deviennent très différents.

Le coup de bélier B_2 est inférieur au coup de bélier correspondant de la conduite moyenne et la différence augmente avec $(d'' - d')$. démonstration ?

La figure 5 donne la courbe du coup de bélier de fermeture complète de V' à zéro avec les données suivantes :

L = 1200m y_0 = 510m T = 6,54 sec. V' = 6m,50
tronçon inférieur l' = 666m, a' = 1220 m/sec., d' = 0m,50
tronçon supérieur l'' = 534m, a'' = 980 m/sec., d'' = 0m,70
$\alpha = 0{,}41$ et $\mu = 0{,}418$

on a, formule 23 :

$$B_2 = \frac{270}{1{,}529} \left(1 - \frac{0{,}418}{1{,}661}\right) = 131^m{,}60$$

Calculé avec la conduite moyenne, ce coup de bélier, indiqué en pointillé sur la figure, serait de

$$\xi^{(1)} = \frac{135 \times 1{,}418}{1 + 1{,}418 \times 0{,}265} = 138^m{,}50$$

L'examen des graphiques des figures 2, 4 et 5 montre que la période apparente est profondément modifiée par les deux tronçons, comparée à l'onde régulière donnée par la conduite moyenne ; l'onde apparente est plus courte et il serait difficile de retrouver exactement les valeurs θ' et $2\theta'$ sur un diagramme, sans l'aide de la méthode de la dépression brusque ou de la petite perturbation. On remarque encore, particulièrement sur les graphiques 4 et 5, qu'en dehors des ondes de période $\frac{4l'}{a'}$ sec., il se produit un balancement de l'ensemble de celle-ci, formant une onde générale de période

(1) $$\xi = \frac{2l'V'}{gT} \frac{1 + \alpha}{1 + (1 + \alpha)\left(\frac{a'V'}{4gy_0} - \frac{V'l'}{gTy_0}\right)}$$

très longue, semblable à celle que l'on rencontre dans les conduites munies de cheminées d'équilibre.

Dans le cas des *basses chutes*, les résultats donnés par la conduite moyenne restent exacts même si μ est petit, puisqu'il s'agit ici de fermetures effectuées au bout d'un grand nombre de périodes.

On pourra donc utiliser la formule générale des conduites à caractéristique unique qui s'écrira :

$$(24) \qquad B_m = \frac{2l'V'}{gT} \; \frac{1+\alpha}{2 - \frac{l'V'}{gT\gamma_0}(1+\alpha)}$$

Les cas particuliers se retrouvent généralement dans les conduites en deux tronçons à condition de prendre, pour la vitesse, celle qui correspond au cas particulier de la conduite à caractéristique unique.

Pour la fermeture à partir de $\frac{a v_0}{2g\gamma_0} = 1$ on aura la même forme de courbe que celle de la conduite moyenne, en effectuant la fermeture à partir de $v' = \frac{2g\gamma_0}{a'(1+\alpha)}$, mais l'arrêt de la fermeture à $v'_0 = \frac{4g\gamma_0}{a'(1+\alpha)}$ ne donnera plus un coup de bélier s'éteignant complètement, comme dans le cas $\frac{a v_0}{2g\gamma_0} = 1$ des conduites à caractéristiques uniques ; cependant, l'ondulation est très faible et l'allure générale de la courbe est bien la même.

4. Ouverture en $\frac{2l'}{a'}$ secondes à partir de la vanne fermée.

Le coup de bélier *négatif* maximum d'ouverture se produit à la fin de la première période, au temps $\frac{2l'}{a'}$ secondes. D'après les formules générales de M. de Sparre, il a pour valeur, en admettant toujours $\theta' = \theta''$:

$$(25) \qquad B_1 = \frac{a'v'_1}{g} \; \frac{-1}{(1+r'v'_1)} = \frac{a'v'_1}{g}\eta_1$$

ou, en fonction de V' et T, pour des ouvertures à la vitesse $\frac{V'}{T}$ mètres par seconde :

$$(26) \qquad B_1 = \frac{2l'V'}{gT} \; \frac{-1}{1 + \frac{l'V'}{gT\gamma_0}}$$

Si on prend la valeur théorique et limite : $r'v'_1 = 0$, le coup de bélier négatif d'ouverture sera $-\frac{a'v'_1}{g}$ et subira la majoration f, comme pour les fermetures ; la courbe $-f$ formera donc l'enveloppante du coup de bélier maximum négatif d'ouverture ; cette majoration diminue rapidement et devient nulle pour $r'v'_1 = 0{,}05$ avec $\mu > 0{,}5$.

En ne considérant que le maximum possible du coup de bélier négatif, celui-ci se produira toujours après une fermeture complète effectuée en un temps $\leqq \frac{2l'}{a'}$ sec. et non après une ouverture, car le premier atteindra

$$B_1 = -\frac{a'v'_1}{g} f$$

et le second

$$B_1 = -\frac{a'v'_1}{g} \; \frac{1}{1 + r'v'_1}$$

Le coup de bélier *positif* consécutif à la dépression sera théoriquement maximum pour $r'v'_1 = 0$ et atteindra $\frac{a'v'_1}{g} f$; la courbe f formera encore l'enveloppante maximum. Dès que $r'v'_1$ augmente de valeur, le coup de bélier positif diminue ; il est maximum au temps $2\theta'$ sec. lorsque μ est voisin de 1, puis au temps $5\theta'$ sec. pour μ voisin de 0,7 et enfin au temps $3\theta'$ sec. pour les valeurs de $\mu < 0{,}65$. C'est donc ce dernier cas qui sera le plus fréquent ; l'intensité de ce maximum positif est donnée par la formule :

$$(27) \qquad B_3 = \frac{a'v'_1}{g}\left\{\frac{1 - r'v'_1}{(1+r'v'_1)^2} - \frac{2\mu}{1+r'v'_1}\left[\frac{2\mu - (1+r'v'_1)}{(1+r'v'_1)^2}\right]\right\} = \frac{a'v'_1}{g}\eta_3$$

ou, en fonction de V' et T pour des ouvertures à l'allure $\frac{V'}{T}$ mètres par sec.

$$(28) \qquad B_3 = \frac{2l'V'}{g}\eta_3 \quad \text{avec } T \geqq \frac{2l'}{a'}$$

tandis qu'au temps $2\theta'$ sec. on aura :

$$(29) \qquad B_2 = \frac{a'v'_1}{g}\left[\frac{2\mu - (1+r'v'_1)}{(1+r'v'_1)^2}\right] = \frac{a'v'_1}{g}\eta_2$$

(A suivre).

Concours d'idées pour la construction de nouvelles maisons ouvrières au « Pré d'Ouchy »

Le Jury se réunit à la Salle Jean Muret. Les projets y seront exposés du samedi 6 au lundi 15 septembre compris.

Le Jury, réuni le 4 septembre à 8 h. 1/2 du matin, constate que 13 projets ont été remis en temps utile et remplissent les conditions du programme.

Le Jury procède individuellement à l'examen des projets ; il décide de baser son jugement en tenant compte des points suivants : valeur esthétique des envois et distribution des appartements, le tout conformément au programme.

Au premier tour sont éliminés, comme insuffisants dans le sens de ce qui est dit ci-dessus, les projets suivants : N° 2. — « Qui sait ? » ; N° 6. — « 166 Pièces » (a eu tort, en outre, de prévoir des courettes intérieures, dispositif indésirable au premier chef pour des constructions de ce genre) ; N° 9. — « Self » ; N° 12. — « 1919 » ; N° 13. — « Dernière Minute », (a également prévu des courettes).

Le Jury procède à un second tour d'élimination et écarte les projets suivants : N° 3. — « Angle A 19° » ; N° 7. — « Travail » ; N° 8. — « Léman » (petites lettres) ; N° 11. — « La Rive ».