

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 45 (1919)
Heft: 13

Artikel: Note sur le calcul du coup de bélier dans les conduites sous pression (suite)
Autor: Carey, Ed.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-34900>

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](#)

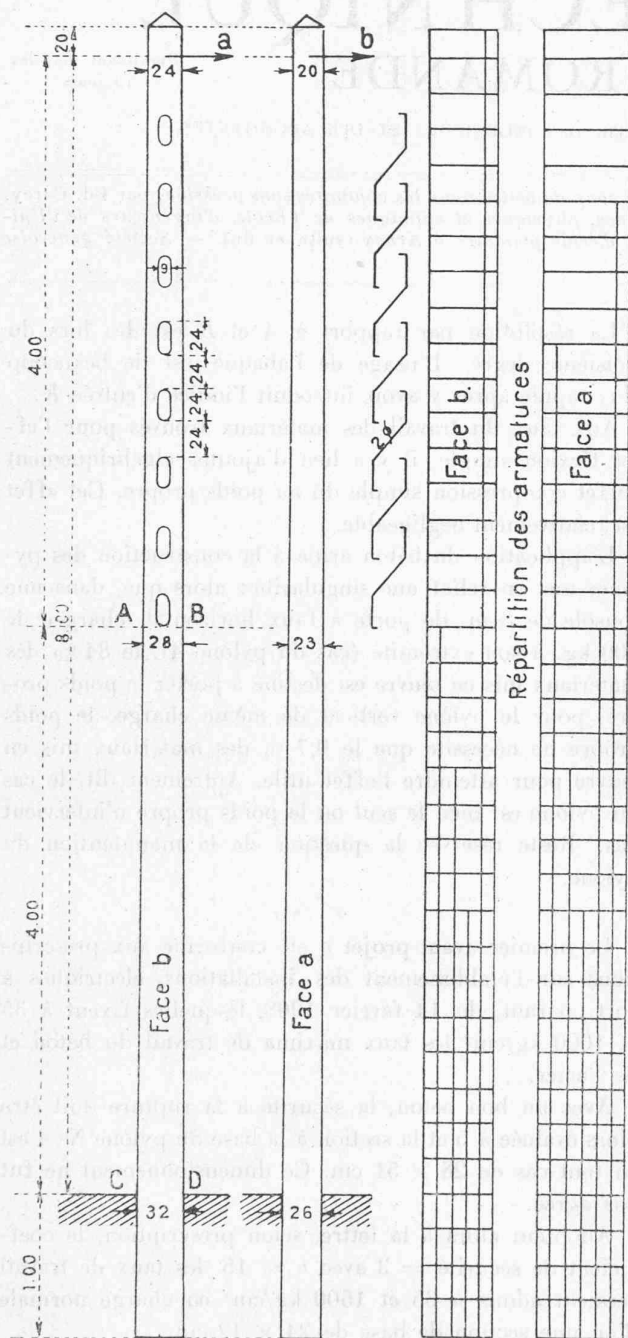
Terms of use

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>

ÉLECTRIFICATION DES CHEMINS DE FER FÉDÉRAUX



Types 1.2.3 & 4

Echelle 1 : 50.

Note sur le calcul du coup de bélier dans les conduites sous pression

par Ed. CAREY, ingénieur à Marseille.

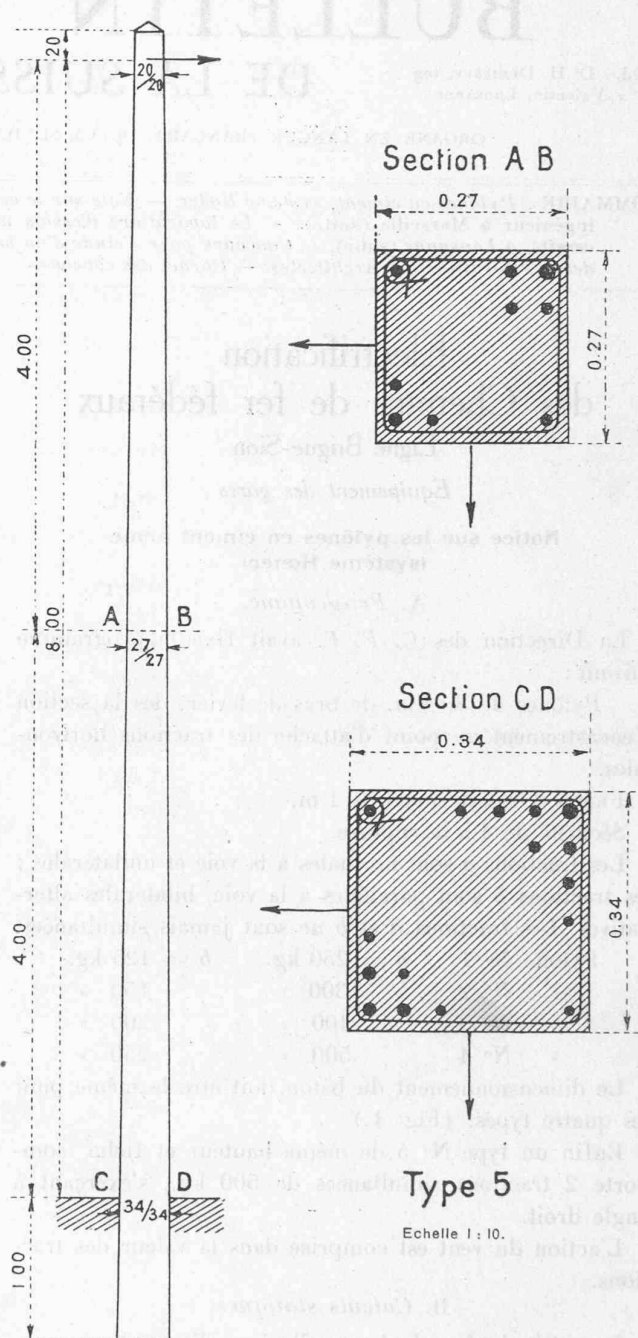
(Suite.)¹

E) RÉSONANCES

M. de Sparre a montré l'effet produit par les résonances dans les deux cas suivants²:

¹ Voir Bulletin technique 1918, p. 102.

² La Houille blanche 1907, Nos 9 et 12.



Type 5

Echelle 1 : 50.

Fig. 1. — Pylônes système Haeter.

1° Supposons le distributeur ouvert. Pendant la première période $\frac{2L}{a}$ on le ferme progressivement de telle manière qu'à la fin de la période il soit fermé de $\frac{1}{p}$. Pendant la période suivante, on l'ouvre progressivement pour obtenir la pleine ouverture au bout du temps $\frac{4L}{a}$; puis on le referme de $\frac{1}{p}$ progressivement jusqu'au temps $\frac{6L}{a}$ et ainsi de suite. En admettant que le coup de bélier

maximum ne dépasse pas $\frac{\gamma_0}{2}$, le coup de bélier de résonance pourra atteindre.

$$\alpha = \frac{\gamma_0}{p} \left(\frac{1}{1 - \frac{1}{2p}} \right) = \frac{2\gamma_0}{2p - 1} \quad (17)$$

p devra être supérieur à 2 pour que α soit $< \frac{\gamma_0}{2}$ et le terme $\left(\frac{1}{1 - \frac{1}{2p}} \right)$ restera inférieur à $\frac{4}{3}$. On peut dire approximativement que le coup de bélier produit par ces résonances est sensiblement égal à $\frac{\gamma_0}{p}$; en effet si $p = 3$ on a $\alpha = \frac{\gamma_0}{2,5}$, et, pour $p = 10$, $\alpha = \frac{\gamma_0}{9,8}$. Au bout de la 10^{me} période le coup de bélier sera déjà très près de $\frac{\gamma_0}{p}$. Cette valeur peut être sensiblement supérieure au coup de bélier de fermeture.

2° Supposons maintenant que l'on ferme brusquement et complètement le vannage au début de la première période et qu'on le laisse fermé jusqu'à la fin de celle-ci, puis qu'au début de la deuxième période on l'ouvre brusquement de la quantité dont on vient de le fermer et qu'on le laisse ouvert jusqu'à la fin de la période, puis qu'on le referme brusquement au début de la troisième période et ainsi de suite. Dans ce cas, le coup de bélier peut atteindre par suite des résonances les $\frac{9}{8}$ de γ_0 , c'est-à-dire être sensiblement égal à γ_0 ; nous admettons toutefois que le coup de bélier primitif $\frac{a\gamma_0}{g} < \gamma_0$.

Le coup de bélier sera, à la période 2_{n+1} :

$$(18) \quad B_{2n+1} = \gamma_0 \left[1 + \frac{(1 - \varepsilon)\varepsilon}{(n + \varepsilon)^2} \right]; \quad n = \frac{g\gamma_0}{a\gamma_0} - \varepsilon$$

ε étant compris entre 0 et 1, le maximum a lieu pour $\varepsilon = \frac{n}{2n + 1}$ et la valeur correspondante sera:

$$B_m = \gamma_0 \left[1 + \frac{1}{4n(n + 1)} \right]$$

n étant entier et au moins égal à 1

$$B_m = \gamma_0 \left(1 + \frac{1}{8} \right) = \frac{9}{8} \gamma_0$$

prenons l'exemple donné par M. de Sparre:

$$\gamma_0 = 800 \quad v_0 = 1 \quad g = 9,8 \quad a = 1000$$

$$\frac{g\gamma_0}{a\gamma_0} = 7,848, \text{ donc } n = 7 \text{ et } \varepsilon = 0,848; \quad 2n + 1 = 15$$

à la 15^{me} période, on aura:

$$B_m = 800 \left[1 + \frac{0,848(0,152)}{(7,848)^2} \right] = 801^m,60$$

Le coup de bélier devient donc légèrement supérieur à γ_0 . Ces deux cas de résonances montrent l'importance des oscillations des régulateurs et les surpressions qu'ils peuvent occasionner ¹.

* * *

Pour terminer ce chapitre nous résumerons les résultats de l'étude de M. de Sparre (*Houille blanche* 1905, N° 5) sur l'influence des cheminées d'équilibre qui sont de précieux auxiliaires dans les basses chutes.

Cheminées d'équilibre.

Les cheminées d'équilibre, placées sur les longues conduites des basses chutes pour parer aux efforts des coups de bélier, sont très utiles à condition d'être d'un diamètre suffisant. Le coup de bélier $\frac{a\gamma_0}{g}$ produit par une fermeture brusque devient:

$$B = \frac{a\gamma_0}{g} \frac{1}{1 + \frac{s}{S}}$$

avec une cheminée d'équilibre de longueur l et de section s , S étant la section de la conduite de longueur L . Ce coup de bélier durera seulement $\frac{2l}{a}$ secondes. Pendant les périodes suivantes, le coup de bélier diminuera rapidement d'intensité suivant la formule

$$B = \frac{a\gamma_0}{g} \frac{1}{1 + \frac{s}{S}} \left(\frac{1 - \frac{s}{S}}{1 + \frac{s}{S}} \right)^{n-1} \quad (19)$$

Si nous supposons, sur une conduite de section S , une cheminée de section $s = \frac{S}{2}$ et de longueur $l = 30^m$, placée à côté du vannage, nous aurons: $\frac{s}{S} = \frac{1}{2}$. Prenons encore $a = 1200$, $v_0 = 1^m$ et $g = 10$, pour simplifier; le coup de bélier, pour une fermeture instantanée sans cheminée, sera $\frac{a\gamma_0}{g} = 120^m$; avec la cheminée indiquée ci-dessus, cet effort sera au moment de la fermeture brusque du vannage $B = 120 \frac{2}{3} = 80^m$ pendant toute la première période où $n = 1$ et durera $\frac{2,30}{1200} = \frac{1}{20}$ de seconde.

Au début de la troisième période $\frac{2l}{a}$, soit au bout de $\frac{1}{10}$ de seconde, $n = 3$, le coup de bélier ne sera plus que

$$B = 120 \frac{2}{3} \left(\frac{1}{3} \right)^2 = 9^m$$

¹ L'ouvrage de MM. Gariel, Camichel et Eydoux renfermera d'ailleurs de très nombreuses expériences sur la résonance du coup de bélier fondamental et de ses harmoniques.

enfin, au commencement de la cinquième période, soit au bout de $\frac{1}{5}$ de seconde dès l'origine, le coup de bélier n'est plus que de

$$B = 120 \frac{2}{3} \left(\frac{1}{3}\right)^4 = 1^m \text{ environ}$$

Si, au lieu de donner une grande section à la cheminée d'équilibre, celle-ci est choisie trop petite, son utilité diminue considérablement et son effet est presque nul avec $\frac{s}{S} = \frac{1}{10}$. L'effet maximum est donné pour $\frac{s}{S} = 1$. Dans ce dernier cas, le coup de bélier est réduit de moitié $\frac{av_0}{g} \cdot \frac{1}{2}$; et ne durera que $\frac{2l}{a}$ secondes pour s'annuler complètement au début de la deuxième période, comme cela ressort de la formule précédente.

* * *

Observation. — L'étude précédente admet que la conduite considérée est de diamètre et d'épaisseur constants.

Les formules trouvées se sont montrées exactes dans les essais effectués sur des conduites de hautes chutes d'un diamètre unique mais formées de plusieurs tronçons d'épaisseur variable.

Quant aux conduites formées de diamètres différents et d'épaisseurs variables, c'est un cas spécial plus difficile à traiter; les essais et études tendent à démontrer que le coup de bélier $\frac{2LV}{gT}$ d'une conduite formée de deux tronçons de longueurs et de diamètres différents, a pour valeur la somme des $\frac{2LV}{gT}$ de chaque tronçon. On peut adopter ce mode de calcul sans crainte de commettre une erreur sensible.

CHAPITRE II

Dans le chapitre précédent sont résumées la théorie et les formules fondamentales, vérifiées par les essais de MM. Gariel, Camichel et Eydoux pour le calcul du coup de bélier maximum dans les conduites. Ces ingénieurs ont limité leurs études et expériences aux fermetures et ouvertures complètes, c'est-à-dire, allant jusqu'à la vanne complètement fermée ou partant de cette position. Ces essais étaient seuls nécessaires pour vérifier les formules donnant les efforts maxima qui intéressent tout particulièrement les constructeurs des conduites.

En partant des formules générales de M. de Sparre, nous nous proposons d'étudier dans ce chapitre, toujours pour des conduites à caractéristique unique, la forme de la courbe du coup de bélier au vannage dans les diverses périodes, les fermetures et ouvertures partielles, laissées jusqu'à présent de côté par les divers auteurs; d'examiner ensuite les divers cas particuliers, puis chercher la loi de la variation de vitesse produisant un coup de bélier donné pour un temps de fermeture minimum.

I. Etude de la courbe du coup de bélier au vannage.

A) FERMETURE COMPLÈTE EN UN TEMPS $\leq \frac{2L}{a}$.

Si nous reprenons les formules générales, nous voyons que pendant la première période allant jusqu'au temps $\frac{2L}{a}$ secondes, le coup de bélier pour une fermeture complète, effectuée pendant cette période, est donné par :

$$B_1 = + \frac{av_0}{g};$$

pendant la deuxième période, la vanne restant fermée, la formule 3 nous donne :

$$B_2 = - \frac{av_0}{g}$$

puis, pendant la troisième période,

$$B_3 = + \frac{av_0}{g}$$

et ainsi de suite. La courbe du coup de bélier pour une fermeture complète en un temps $\frac{2L}{a}$ est donc une série

d'ondes tantôt positives et tantôt négatives, avec $\frac{4L}{a}$ pour période, ondes ayant la même valeur, car les formules fondamentales ont été établies sans tenir compte de la viscosité et du frottement. Ces deux facteurs atténuent petit à petit les oscillations, mais la perturbation produite dure très longtemps dans la conduite, si la vanne reste hermétiquement fermée.

Nous traçons comme exemple (figure 5) la courbe du coup de bélier de fermeture complète en un temps $\frac{2L}{a}$, d'une conduite de longueur $L = 1200^m$ avec $a = 1200^m$, $V = 4^m$, $T = 4 \text{ sec.}$, $J_0 = 500^m$.

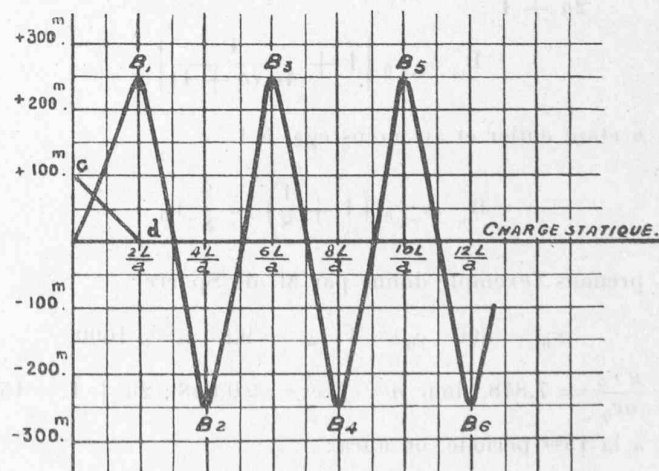


Fig. 5. — Fermeture complète en $\frac{2L}{a} = 2^m$ à 0^m en $\frac{2L}{a} \text{ sec.}$

Pour une diminution linéaire de vitesse de $\frac{V}{T} = 1^m$ par seconde, le coup de bélier est :

$$\frac{av_0}{g} \text{ ou } \frac{2LV}{gT} = \frac{2400,4^m}{9,8,4} = 245^m$$

correspondant à une fermeture de $v_0 = 2^m$ à zéro en $\frac{2L}{a} = 2$ secondes.

Le graphique montre que les oscillations, par rapport à la charge statique, sans tenir compte de la perte de

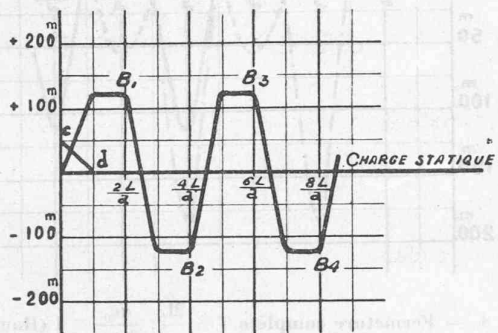


Fig. 6. — Fermeture complète cd de $V = 1^m$ à 0^m en $\frac{L}{a}$ sec.

charge, auront les amplitudes suivantes au vannage :

temps	0	charge statique	= 500 ^m
»	$\theta = 2$ sec.	$500 + 245 = 745^m$	
»	$2\theta = 4$ sec.	$500 - 245 = 255^m$	
»	$3\theta = 6$ sec.	$500 + 245 = 745^m$	
	etc.		

Si, au lieu de fermer la vitesse $v_0 = \frac{2LV}{aT}$ pendant le temps $\theta = \frac{2L}{a}$, nous fermons la vitesse $\frac{v_0}{n}$ pendant le temps $\frac{\theta}{n}$, la courbe du coup de bélier prendra une autre forme, car la surpression restera constante au vannage dès la fermeture complète jusqu'à la fin de la période, soit entre le temps $\frac{\theta}{n}$ et θ .

Effectuons comme exemple, avec les données précédentes, une fermeture $\frac{v_0}{2}$ pendant le temps $\frac{\theta}{2}$ soit de 1^m à zéro en une seconde; nous aurons la courbe de la figure 6 et l'intensité maximum du coup de bélier sera :

$$B = \frac{1200,4}{9,8} = 122^m,50$$

Produit en un temps $\frac{\theta}{2}$ la surpression de $122^m,50$ se transmettra en vraie grandeur le long de la conduite jusqu'à la distance $l = \frac{L}{2}$ du vannage; dès ce point elle se répartira linéairement jusqu'à la chambre de mise en charge, comme le montre la figure 4.

B) FERMETURE COMPLÈTE EN TEMPS $T > \frac{2L}{a}$ sec.

Nous avons vu que le coup de bélier maximum se produisait au temps θ et avait pour valeur

$$B_1 = \frac{a}{g} \frac{(v_0 - v_1)}{1 + \frac{av_1}{2gy_0}}$$

Si le mouvement de fermeture n'est pas terminé à la fin de la deuxième période, le coup de bélier sera au temps 2θ , en posant $\frac{a}{2gy_0} = r$:

$$B_2 = \frac{a}{g} \frac{(v_1 - v_2)}{1 + r \cdot v_2} = B_1 \frac{1 - rv_1}{1 + rv_2}$$

si le mouvement de fermeture continue au delà de 3θ nous aurons encore

$$B_3 = \frac{a}{g} \frac{(v_2 - v_3)}{1 + rv_3} = B_2 \frac{1 - rv_2}{1 + rv_3}$$

et ainsi de suite, jusqu'à la fermeture complète.

Nous avons vu aussi que les valeurs B_2, B_3 , etc. étaient toutes $< B_1$ qui donne le maximum de la courbe. On peut démontrer aussi que le minimum a lieu au temps $2\theta = \frac{4L}{a}$ avec la valeur B_2 . Après ce minimum la courbe remonte en B_3 , redescend en B_4 , remonte en B_5 , etc. les différences $B_1 - B_2, B_2 - B_3$, etc. allant toujours en diminuant comme cela ressort des formules ci-dessus.

Si la fermeture complète a lieu à la (n^e) période, le coup de bélier sera donné dans cette période pour $v_n = 0$, par

$$B_n = \frac{a}{g} (v_{n-1}) - B_{n-1} (1 - rv_{n-1})$$

et dans la $(n + 1)^e$ période et les suivantes par

$$\begin{aligned} B_{n+1} &= -B_n \\ B_{n+2} &= -B_{n+1} = +B_n \\ B_{n+3} &= -B_{n+2} = -B_n \end{aligned}$$

et ainsi de suite, mouvement périodique oscillatoire tantôt positif, tantôt négatif, qui s'éteindra par l'effet du frottement et de la viscosité dont il n'a pas été tenu compte dans les formules.

Le coup de bélier de fermeture reste positif tant que dure la fermeture effectuée suivant une loi linéaire.

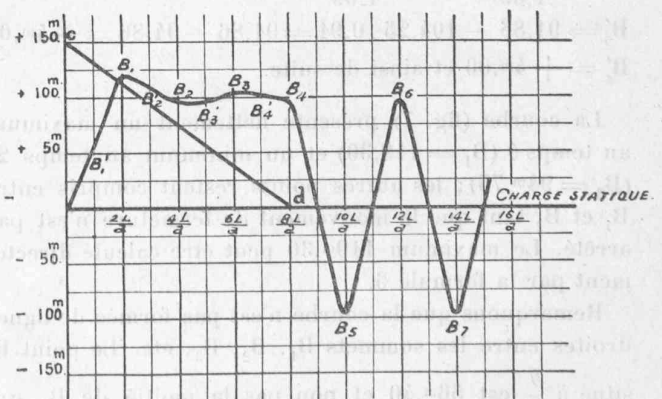


Fig. 7. — Fermeture complète cd de $v_0 = 6^m$ à 0^m en 8 sec.

$$T > \frac{2L}{a}; \frac{av_0}{2gy_0} < 1 \text{ (Hautes chutes).}$$

$$\text{CAS } \frac{av_0}{2gy_0} < 1.$$

Prenons maintenant un exemple qui nous permettra de discuter la courbe du coup de bélier de fermeture obtenue au vannage. Nous donnerons le calcul complet de cette courbe, par points, pour montrer l'utilisation des formules générales; soit la conduite :

$$L = 1200^m \quad \gamma_0 = 510^m \quad V = 6^m \quad T = 8 \text{ secondes} \\ a = 1200 \text{ m/sec.}$$

nous aurons :

$$r = \frac{a}{2gy_0} = \frac{1200}{2 \cdot 9,8 \cdot 510} = 0,12; \quad rV = 0,72 \text{ donc } < 1$$

$$\theta = \frac{2 \cdot 1200}{1200} = 2 \text{ sec.} \quad v_0 - v_1 = 2 \cdot \frac{6}{8} = 1^m,50.$$

Calcul des points B_1, B_2, B_3, \dots à $\frac{2L}{a}, \frac{4L}{a}, \frac{6L}{a}, \dots$, etc. pour une fermeture de $V = 6^m$ à $V = 0$ en $T = 8$ sec.
 $v_0 = 6^m \quad v_1 = 4,50 \quad v_2 = 3,00 \quad v_3 = 1,50 \quad v_4 = 0.$

$$B_1 = \frac{a(v_0 - v_1)}{g(1 + rv_1)} = \frac{1200}{9,8} \cdot \frac{1,50}{1 + 0,12 \cdot 4,50} = \frac{183,75}{1,54} = 119^m,30$$

$$B_2 = \frac{a(v_1 - v_2)}{g(1 + rv_2)} - B_1 \frac{1 - rv_1}{1 + rv_2} = \frac{183,75}{1,36} - 119,30 \frac{0,46}{1,36} = 135,10 - 40,35 = 94^m,75.$$

$$B_3 = \frac{183,75}{1,18} - 94,75 \frac{0,64}{1,18} = 155,70 - 51,39 = 104^m,31$$

$$B_4 = 183,75 - 104,31 \cdot 0,82 = 183,75 - 85,53 = 98^m,22$$

$$B_5 = -98^m,22$$

$$B_6 = +98^m,22, \text{ etc.}$$

Calcul des points intermédiaires à $\frac{L}{a}, \frac{3L}{a}, \frac{5L}{a}, \dots$, etc.

$$v_0 = 6^m \quad v_1 = 5,25 \quad v_2 = 3,75 \quad v_3 = 2,25 \quad v_4 = 0,75 \quad v_5 = 0$$

$$B'_1 = \frac{a}{g} \frac{6 - 5,25}{1 + 0,12 \cdot 5,25} = \frac{91,90}{1,63} = 56^m,40$$

$$B'_2 = \frac{183,75}{1,45} - 56,40 \frac{0,37}{1,45} = 126,72 - 14,39 = 112^m,33$$

$$B'_3 = \frac{183,75}{1,27} - 112,33 \frac{0,55}{1,27} = 144,70 - 48,65 = 96^m,05$$

$$B'_4 = \frac{183,75}{1,09} - 96,05 \frac{0,73}{1,09} = 168,58 - 64,33 = 104^m,25$$

$$B'_5 = 91,86 - 104,25 \cdot 0,91 = 91,86 - 94,86 = -4^m,00$$

$$B'_6 = +4^m,00 \text{ et ainsi de suite.}$$

La courbe (fig. 7) présente nettement un maximum au temps θ ($B_1 = 119,30$) et un minimum au temps 2θ ($B_2 = 94^m,75$); les autres points restent compris entre B_1 et B_2 tant que le mouvement de fermeture n'est pas arrêté. Le maximum $119^m,30$ peut être calculé directement par la formule 6.

Remarquons que la courbe n'est pas formée de lignes droites entre les sommets B_1, B_2, B_3, \dots . Le point B'_1 situé à $\frac{\theta}{2}$ est $56^m,40$ et non pas la moitié de B_1 qui serait $59^m,65$. La ligne AB_1 est une courbe concave; il s'en suit que le point correspondant B'_2 au temps

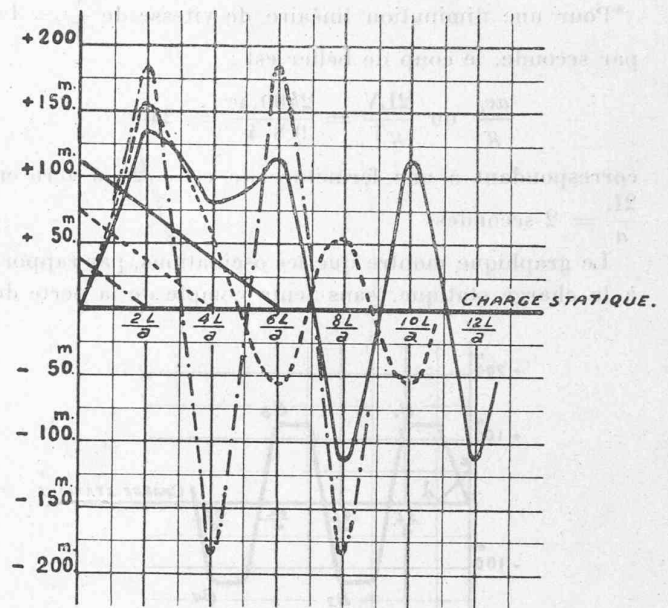


Fig. 8. — Fermeture complète $T > \frac{2L}{a}$; $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$ (Hautes chutes)

de $V = 4^m,50$ à 0 en $6''$ —
 de $V = 3^m,00$ à 0 en $4''$ —
 de $V = 1^m,50$ à 0 en $2''$ —

$\frac{\theta}{2} + \theta$ fera saillie sur la ligne $B_1 B_2$ qui sera une courbe convexe.

Dès que la fermeture est complète, au temps 4θ , la courbe donne des oscillations égales, négatives et positives.

Si, au lieu de commencer la fermeture à partir de $V = 6^m$, nous fermons, toujours avec la même vitesse $\frac{V}{T} = \frac{6^m}{8''} = 0^m,75$ par seconde, en partant d'une ouverture plus petite, nous aurons une courbe plus accentuée; B_1 augmentera et B_2 diminuera. Sur la figure (8) nous avons tracé les courbes du coup de bélier correspondant aux fermetures complètes à partir de $v_0 = 4,50$ et $v_0 = 3^m$. Le maximum B_1 de chacune de ces courbes est donné directement par la formule (6).

Sur la même figure, nous avons aussi tracé la courbe correspondant à la fermeture pendant le temps θ , soit de $v_0 = 1^m,50$ à zéro en 2 secondes.

Toutes ces courbes montrent l'importance des coups de bélier des petites fermetures et l'importance des oscillations qui suivent la fermeture de la vanne au temps θ .

L'amplitude des oscillations après la fermeture étant égale à la valeur du coup de bélier au moment de l'arrêt, celles-ci sont maximum pour les fermetures complètes aux temps impairs $\theta, 3\theta, 5\theta$ et minimum pour les fermetures aux temps pairs $2\theta, 4\theta, 6\theta$, etc.

Indépendamment de la vitesse V , nous remarquons que les différences $B_1 - B_2, B_2 - B_3$, etc. s'accroissent avec le rapport $\frac{\gamma_0}{L}$ et seront maximum pour $\gamma_0 = L$, c'est-à-dire pour une conduite verticale pour

laquelle la valeur $\frac{a}{2g\gamma_0}$ est minimum. Nous avons, en effet, démontré dans le premier chapitre que la différence $B_1 - B_2$ est d'autant plus grande que $\frac{a\gamma_0}{2g\gamma_0}$ est plus petit et par conséquent que γ_0 sera grand par rapport à L . Par contre, si nous augmentons l'ouverture à partir de laquelle commence la fermeture, nous diminuerons les différences $B_1 - B_2$, $B_2 - B_3$, etc., car $\frac{a\gamma_0}{2g\gamma_0}$ s'approche alors de 1 valeur pour laquelle $B_1 = B_2$. Pour $1 < \frac{a\gamma_0}{2g\gamma_0}$ nous aurons $B_1 < B_2$, comme c'est le cas dans les basses chutes.

Prenons le cas d'une conduite verticale et faisons $\gamma_0 = L = 1200^m$ dans l'exemple précédent; nous aurons pour une fermeture de $V = 6^m$ à zéro, en $T = 8''$, r devenant égal à 0,051 :

$$B_1 = \frac{183,75}{1,229} = 149^m,50$$

$$B_2 = \frac{183,75}{1,153} - 149^m,50 \frac{0,771}{1,153} = 59^m,36$$

$$B_3 = \frac{183,75}{1,076} - 59^m,36 \frac{0,847}{1,076} = 124^m,05$$

La différence $B_1 - B_2$ atteint ici 90^m environ alors qu'elle n'était que de $119,30 - 94,75 = 24^m,55$ avec $\gamma_0 = 510^m$. (A suivre.)

Le laboratoire d'essais mécaniques, physiques et chimiques

de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université, à Lausanne.

(Suite)¹

Mesure de la résilience par la méthode Charpy.

Soit une éprouvette entaillée conformément à la figure 25, reposant sur deux appuis et soumise à un effort de flexion par choc au moyen d'un couteau frappant sur la face opposée à l'entaille: la *résilience* est le *travail*, rapporté au centimètre carré de la section utile, mis en œuvre pour produire la rupture de l'éprouvette, en un seul choc. Ce choix d'une unité de surface pour définir la résilience n'est pas heureux, parce que la grandeur qui en découle, un « travail par unité de surface » n'est pas nommée, et il eût été préférable d'adopter une unité de volume qui eût donné à la résilience les dimensions d'une « action moléculaire », comme la tension, la pression, etc.

La résilience mesure une propriété qui n'est pas décelée par les épreuves statiques usuelles: la *fragilité*. On s'en convaincra par l'examen du tableau suivant relatif à deux échantillons d'acier.

	Limite élastique	Résistance à la traction	Allongement	Contraction	Résilience
A	34.9	61.1	22.7	59.4	60.2
B	28.0	59.6	24.0	59.5	10.9

Ainsi, voilà deux aciers qui, soumis à l'essai de traction, présentent une similitude très étroite, tandis que la résilience

LE LABORATOIRE D'ESSAIS DE L'ÉCOLE D'INGÉNIEURS DE LAUSANNE

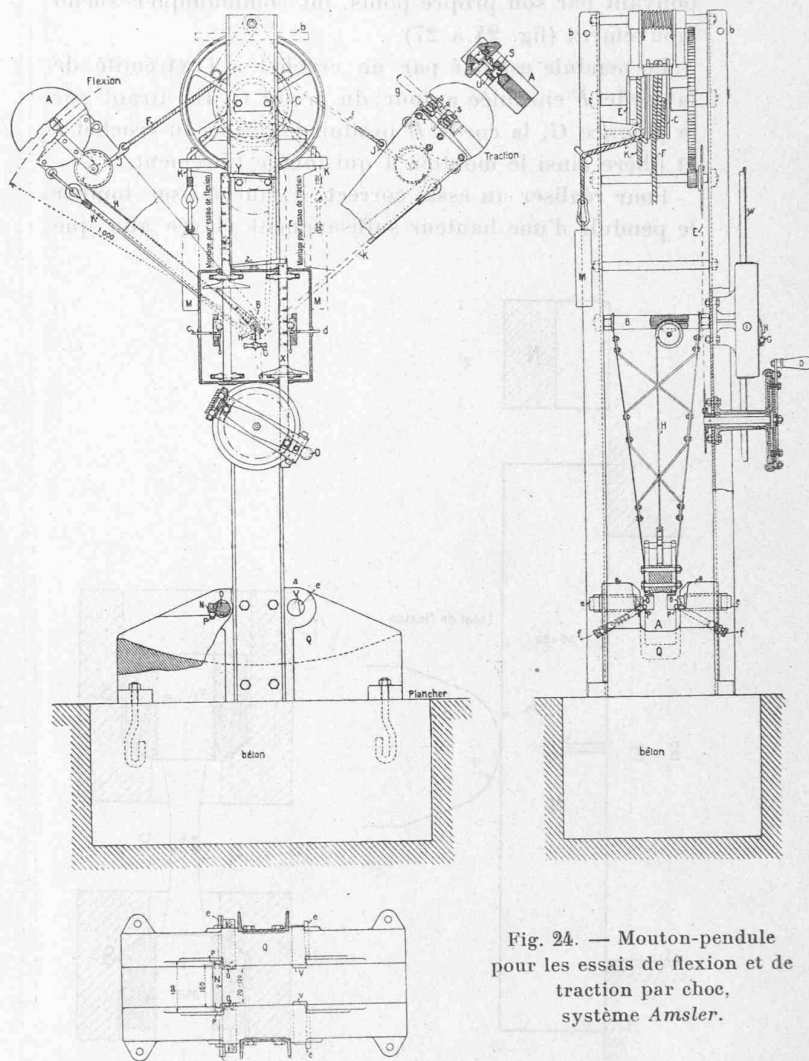


Fig. 24. — Mouton-pendule pour les essais de flexion et de traction par choc, système Amsler.

varie, de l'un à l'autre, dans le rapport de 60 à 11, variation qui dénote une grande différence de fragilité entre les deux échantillons et qui eût passé inaperçue si on se fût borné à l'essai de traction. L'appareil que nous allons décrire est du type *Charpy*: le choc est produit par la chute d'une masse animée d'un mouvement pendulaire d'amplitude réglable.

Mouton-pendule de 75 kgm. pour essais de choc, à la flexion et à la traction.

Le A est relié rigidement, par deux plaques de tôle, à l'axe B. Ces organes forment donc un pendule qui peut être soulevé au moyen du treuil C soit à gauche pour des essais à la flexion, soit à droite pour des essais à la compression. La commande du treuil se fait au moyen de la manivelle D. La chaîne E transmet le mouvement de la manivelle au treuil. La manivelle D agit sur la commande du treuil par l'intermédiaire d'un embrayage à friction qui permet de soulever le pendule à droite et à gauche et de l'arrêter dans une position quelconque, simplement en lâchant la manivelle D qui ne peut se déplacer que lorsqu'elle est sollicitée à la main; le pen-

¹ Voir Bulletin technique 1949, p. 144.