

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande

**Band:** 45 (1919)

**Heft:** 2

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

**Autor:** Carey, Ed.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-34871>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.03.2025

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

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

par ED. CAREY, ingénieur à Marseille.

(Suite<sup>1</sup>)

2<sup>e</sup> CAS :  $\frac{av_0}{2gy_0} > 1$  (basses chutes)

tant que  $\frac{av}{2gy_0}$  sera  $> 1$ , les valeurs de B (formules 2 et 3) resteront positives et augmenteront; la vitesse continuant à diminuer, B cessera de croître lorsque dans la n<sup>e</sup> période  $\frac{av_{n-1}}{2gy_0}$  sera égal à 1 et donnera alors la valeur maximum du coup de bélier.

La formule 3 bis devient pour  $\frac{av_{n-1}}{2gy_0} = 1$  :

$$B_n = \frac{g}{a} \frac{v_{n-1} - v_n}{1 + \frac{av_n}{2gy_0}}$$

c'est la valeur maximum vers laquelle tend le coup de bélier. La différence ( $v_{n-1} - v_n$ ) étant comme précédemment égale à  $\frac{2LV}{aT}$ , remplaçons les valeurs de  $v_{n-1}$  et  $v_n$  par :  $v_{n-1} = \frac{2gy_0}{a}$  et  $v_n = \frac{2gy_0}{a} - \frac{2LV}{aT}$ ; nous aurons la valeur de B maximum en fonction de V et du temps  $T > \frac{2L}{a}$  nécessaire pour la fermeture totale :

$$B_m = \frac{2LV}{gT} \cdot \frac{1}{2 \left(1 - \frac{LV}{2gTy_0}\right)} \quad (7)$$

Comme pour le cas  $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$ , ce coup de bélier est inférieur à la valeur  $\frac{2LV}{gT}$ , car  $\frac{LV}{2gTy_0}$  est  $< \frac{1}{2}$ ; si cela n'était pas, le coup de bélier deviendrait supérieur à  $\frac{2LV}{gT}$  et serait  $> 2y_0$ , car  $\frac{LV}{2gTy_0} > \frac{1}{2}$  donne  $\frac{2LV}{gT} > 2y_0$ .

Pour que  $B_m$  soit  $\leq y_0$  il faut que  $\frac{LV}{2gTy_0} \leq \frac{1}{3}$ .

Si nous limitons  $\frac{2LV}{gT}$  à la valeur de  $y_0$ , le maximum de  $B_m$  par rapport à  $y_0$  sera  $B_m = \frac{2}{3} y_0$  et la valeur  $\frac{LV}{gTy_0}$ , qui n'est autre que  $\frac{av_0}{2gy_0}$  au temps  $\theta$ , sera toujours plus petite que  $\frac{1}{2}$ .

Le rapport  $\frac{V}{T}$ , de la formule 7, étant constant pour une fermeture linéaire,  $B_m$  reste ainsi constant et nous pouvons dire :

Tant que l'ouverture à partir de laquelle on com-

mence à fermer satisfait à la relation  $\frac{av_0}{2gy_0} > 1$  le coup de bélier  $B_m$  reste constant (formule 7).

Lorsque l'ouverture à partir de laquelle on commence à fermer correspond à une vitesse  $v_0$  telle que  $\frac{av_0}{2gy_0} = 1$ , les deux formules 6 et 7 donnent toutes deux la valeur

$$B = \frac{LV}{gT} \frac{1}{1 - \frac{L}{aT}} \quad (8)$$

Si nous effectuons maintenant la fermeture pendant un temps  $> \frac{2L}{a}$ , en partant d'une ouverture encore plus petite,  $\frac{av_0}{2gy_0}$ , peut devenir  $< 1$  et nous retombons dans le cas des hautes chutes; en diminuant V, le coup de bélier continuera à croître et le maximum sera toujours atteint pour une fermeture en un temps  $\frac{2L}{a}$ ; il aura pour valeur :

$$B_m = \frac{2LV}{gT} \quad \text{avec} \quad T \geq \frac{2L}{a}$$

Donc, dans le cas  $\frac{av_0}{2gy_0} > 1$ , le coup de bélier est constant et  $< \frac{2LV}{gT}$ ; en diminuant l'ouverture à partir de laquelle on commence la fermeture, on peut produire un coup de bélier maximum  $\frac{2LV}{gT}$  pour une fermeture en un temps  $\frac{2L}{a}$ .

EN RÉSUMÉ, que  $\frac{av_0}{2gy_0}$  soit  $<$  ou  $>$  1, nous pouvons dire :

1<sup>o</sup> Le coup de bélier produit par une fermeture linéaire en un temps  $T > \frac{2L}{a}$  est toujours plus petit que le coup de bélier produit par une fermeture complète en un temps  $\frac{2L}{a}$ .

2<sup>o</sup> Le coup de bélier est maximum pour une fermeture complète en un temps  $\frac{2L}{a}$ .

Ce maximum est donné par la formule :

$$B_m = \frac{2LV}{gT} \quad (5)$$

ou

$$B_m = 0,204 \cdot \frac{LV}{T},$$

dans laquelle le temps de fermeture T doit être  $\geq \frac{2L}{a}$ .

Cette remarque très importante est due à M. Gariel qui rétablit ainsi la formule donnée précédemment par M. Michaud et dont l'usage avait été abandonné.

Cette formule, si simple, a le grand avantage de ne dépendre que de la longueur L de la conduite, de la vitesse V et du temps de fermeture T, pendant lequel on peut faire varier la vitesse de V à 0, toutes quantités données; elle est indépendante de la nature et de l'épaisseur des parois et ne nécessite pas le calcul de a.

Le coup de bélier maximum se calcule donc avec la

<sup>1</sup> Voir Bulletin technique 1918, p. 225.

même formule pour n'importe quelle conduite, qu'elle soit en tôle, en fonte ou en ciment armé.

Ajoutons qu'il est toujours possible de produire le coup de bélier  $\frac{2LV}{gT}$  dans une installation; il est absolument nécessaire d'en tenir compte dans le calcul des conduites sous pression si des appareils spéciaux: déchargeurs automatiques, déviation du jet, déflecteurs, etc..., à fonctionnement sûr, ne viennent pas supprimer ou atténuer l'effet du coup de bélier.

L'étude montre aussi que l'onde du coup de bélier de fermeture reste toujours positive, tant que le mouvement de vannage n'est pas arrêté et que la courbe présente un minimum au temps  $2\theta$ , pour autant que la durée de fermeture est supérieure à  $\frac{4L}{a}$ .

Notons en passant que le coup de bélier de fermeture donné par la formule Michaud-Gariel peut être dépassé dans certaines conditions par suite des résonnances dont l'effet peut doubler la pression statique au distributeur si la conduite ne contient pas de poche d'air et l'augmenter davantage s'il y en a.

Avant d'entreprendre l'étude des coups de bélier d'ouverture, nous donnerons deux exemples numériques de l'application des formules précédentes.

*Exemple de haute chute avec  $\frac{av_0}{2g\gamma_0} < 1$ .*

Supposons

$$L = 800^m \quad \gamma_0 = 250^m \quad a = 1000^m \quad V_0 = 4^m \\ g = 9,8 \quad T = 5''$$

nous avons

$$\frac{av_0}{2g\gamma_0} = 0,816 \quad \theta = \frac{2.800}{1000} = 1'',6$$

1° fermeture totale de  $V = 4^m$  à zéro en 5 secondes; le coup de bélier sera (formule 6)

$$B = \frac{2 \times 800 \times 4}{9,8 \times 5} \frac{1}{1 + \frac{1000 \times 4}{2 \times 9,8 \times 250} - \frac{800 \times 4}{9,8 \times 5 \times 250}} = \\ = \frac{130,60}{1,555} = 83^m,99$$

2° fermeture de  $V = 2^m$  à zéro en 2''5, la même formule donnera :

$$B = \frac{130,60}{1,147} = 113^m,86$$

3° enfin, fermeture en temps  $\theta = \frac{2L}{a}$  soit  $\frac{1600}{1000} = 1''6$  avec

$$v_0 = \frac{2LV}{aT} = \frac{2.800.4}{1000.5} = 1^m,28$$

soit une fermeture de  $1^m,28$  à zéro en 1''6; en appliquant la formule Michaud-Gariel en fonction de  $V = 4^m$  et  $T = 5''$ , la valeur du coup de bélier correspondant sera :

$$B_m = \frac{2LV}{gT} = \frac{130^m,60}{9,8} \quad \text{ou} \quad \frac{av_0}{g} = \frac{1000.1,28}{9,8} = 130^m,60$$

C'est le maximum possible pour une diminution régulière de vitesse de  $\frac{4}{5} = 0^m,80$  par seconde.

On voit par cet exemple que le coup de bélier augmente beaucoup à mesure que diminue la vitesse  $V$  à partir de laquelle commence la fermeture. Le maximum est donné au temps  $\theta$  par la formule Michaud-Gariel; sa valeur est de 55 % plus élevée que celle du coup de bélier 83<sup>m</sup>,99 produit par la fermeture de toute la charge, faisant varier la vitesse de son maximum 4<sup>m</sup> à zéro, en 5 secondes, avec la même vitesse de fermeture.

*Exemple de chute moyenne avec  $\frac{av_0}{2g\gamma_0} > 1$ .*

Supposons

$$L = 500^m \quad \gamma_0 = 100^m \quad T = 5 \text{ sec.} \quad \theta = \frac{2 \times 500}{1000} = 1 \text{ sec.} \\ a = 1000. \quad V = 4^m \quad g = 9,8$$

nous avons

$$\frac{av_0}{2g\gamma_0} = 2,04$$

1° Le coup de bélier de fermeture totale de 4<sup>m</sup> à zéro en 5 secondes sera (formule 7)

$$B = \frac{81,60}{1,59} = 51^m,32$$

2° Fermons de 1<sup>m</sup>,96 à zéro en 2''45 (même vitesse); dans ce cas  $\frac{av_0}{2g\gamma_0} = 1$ ; le coup de bélier (formule 8) sera encore  $B = 51^m,32$ .

3° Diminuons encore la valeur de  $V$ ; nous passerons alors dans le cas  $\frac{av_0}{2g\gamma_0} < 1$ ; prenons:  $V = 1^m,50$ ,  $T$  sera :

$$\frac{5'' \times 1^m,50}{4^m} = 1''87$$

La formule 6 donne :

$$B = \frac{81,60}{1 + 0,76 - 0,44} = 60,44$$

4° Enfin si nous fermons en temps  $\theta = \frac{2L}{a}$ , soit 1 seconde, la formule Michaud-Gariel donnera la valeur du coup de bélier maximum pour cette vitesse de fermeture qui est de  $\frac{4}{5} = 0^m,80$  par seconde.

$$B_m = \frac{2LV}{gT} = 81^m,60$$

soit une augmentation de 59 % sur le coup de bélier de 51<sup>m</sup>,32 produit par la fermeture totale en un temps  $T = 5$  secondes.

Ces deux exemples prouvent que le constructeur aurait grand tort de calculer ces 2 conduites sous pression pour le coup de bélier produit par la fermeture simultanée de toutes les turbines pendant le temps  $T$  secondes. La fermeture en un temps  $\theta$  donnant un coup de bélier de 55 et 59 % plus élevé. Ce cas peut se produire facilement, par exemple, lors de la mise en parallèle de 2 usines, amenant souvent la fermeture simultanée des turbines non encore chargées. Dans le pre-

mier exemple, le coup de bélier maximum se produira pour la fermeture complète qui peut être effectuée en  $\frac{2L}{a} = \frac{2 \cdot 800}{1000} = 1,6$  seconde, et dans le deuxième exemple en  $\frac{2 \cdot 500}{1000} = 1$  seconde.

(A suivre).

### L'écroissage des métaux.

En manière de complément aux considérations que M. A. Paris a développées dans le dernier numéro de ce journal sur l'emploi de l'acier doux et de l'acier<sup>1</sup> dur pour l'armature du béton, nous signalons les très intéressantes recherches exécutées par M. van den Bræk, à l'Université de Michigan. Cet expérimentateur a constaté que la substitution à l'acier ordinaire d'acier doux étiré à froid, c'est-à-dire écroi, entraînait une augmentation de 80 % de la résistance des poutres en béton armé. Cette résistance a été accrue de 35 % lorsqu'il substitua aux barres d'acier doux à section carrée des barres d'acier doux à section carrée mais préalablement écroi, non par traction, comme tout à l'heure, mais par torsion, le rapport entre la quantité de métal et celle du béton étant, bien entendu, le même dans les deux cas comparés. Ces expériences ont été entreprises par M. van den Bræk dans le dessein d'appliquer à un problème de la pratique courante les résultats de ses travaux sur les variations de la limite élastique de l'acier doux en fonction de l'écroissage. Bauschinger avait déjà observé, vers 1886, qu'à la suite de l'étirage à froid d'un barreau d'acier la limite élastique était considérablement abaissée, parfois même

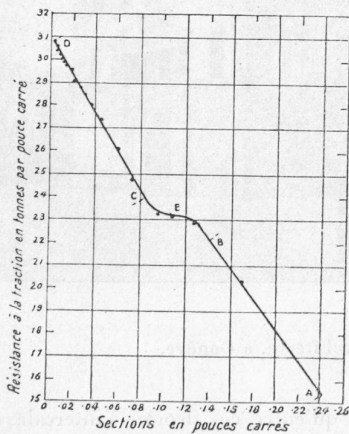


Fig. 1.

au point de s'annuler, mais qu'elle se relevait progressivement et spontanément pour atteindre, au bout d'un certain laps après que l'effort eut été supprimé, une valeur égale à celle de cet effort et même la dépasser si la période de « maturation » était suffisamment longue. Le grand mérite de M. van den Bræk est d'avoir poursuivi systématiquement les recherches de Bauschinger et, surtout, d'avoir mis en lumière que cette maturation par le temps, souvent

<sup>1</sup> Parmi les tentatives de substitution à l'acier doux de l'acier à haute limite d'élasticité, citons celles dont M. W. Shelf a rendu compte dans les *Transactions of the Society of Engineers* (1917, page 131) et d'où il conclut que les barres d'acier à limite d'élasticité élevée coûtent 30 shillings de plus par tonne que celles d'acier doux, mais que 80 tonnes de cet acier dur équivalent à 100 tonnes d'acier doux, à égalité de résistance du béton armé.

fort longue, cent jours et plus, des propriétés élastiques de l'acier écroi pouvait être remplacée par un simple revenu d'une quinzaine de minutes dans l'eau bouillante : c'est là un fait dont l'importance pratique n'échappera à personne.

Par limite élastique il faut entendre le point où la ligne représentative de l'effort en fonction de la déformation

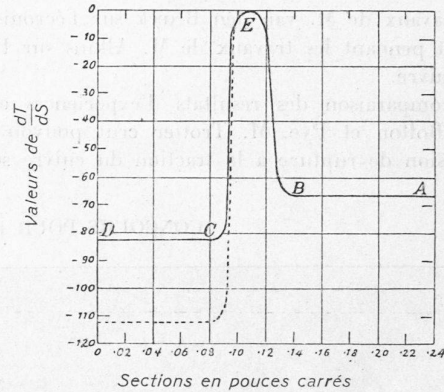


Fig. 2.

cesse d'être une droite. Cette limite est souvent confondue, en raison d'une homonymie déplorable, avec la limite *apparente* d'élasticité c'est-à-dire avec le commencement des grands allongements permanents qui se traduit sur le diagramme, pour les aciers, par un point de rebroussement ou un palier. De plusieurs centaines d'expériences sur l'écroissage de l'acier doux, décrites dans le numéro du 26 juillet 1918 de l'*Engineering*, M. van den Bræk a tiré des conclusions que nous allons résumer, après avoir arrêté une convention de signes en vue d'abrégier le discours : nous dirons que des sollicitations à l'extension et à la compression sont de même direction mais de sens contraires, que des sollicitations à la torsion et à la traction ou à la compression sont de directions différentes, enfin qu'une torsion sinistrorsum a la même direction qu'une torsion dextrorsum mais un sens opposé. Cela admis, voici les conclusions :

1. Si un acier doux a été soumis à un traitement mécanique à froid dans une direction et un sens quelconques et qu'il soit ensuite sollicité dans une direction et un sens quelconques, *avant d'avoir* été soumis à la maturation par le temps ou à un revenu, on observe que la limite élastique originale s'est abaissée et souvent est tombée à zéro.

2. Si un acier doux a été soumis à un traitement mécanique à froid, de direction et de sens déterminés (traction, par exemple) et qu'il soit ensuite sollicité suivant la même direction et le même sens (traction), *après* maturation par le temps ou revenu, on constate que la limite élastique originale s'est élevée de plus de 100 % et même de 10 ou 20 % au-dessus de la tension maximum produite par le traitement mécanique, le métal conservant une bonne ductilité (par exemple : coefficient de contraction 65 %).

3. Si un acier doux a été soumis à un traitement mécanique à froid, de direction et de sens déterminés (traction, par exemple) et qu'il soit ensuite sollicité, *après* maturation par le temps ou revenu, dans la même direction *mais* suivant un sens opposé (compression), on constate que la limite élastique n'a pas varié mais que la limite *apparente* d'élasticité (point de plasticité) s'est élevée.

4. Si un acier doux a été soumis à un traitement mécanique à froid, dans une direction (traction, par exemple) et qu'ensuite il soit sollicité, *après* maturation par le temps ou