

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

**Band:** 44 (1918)

**Heft:** 23

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

**Autor:** Carey, Ed.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-34060>

### **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:** 12.01.2025

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : D<sup>r</sup> H. DEMIERRE, ing.  
2, Valentin, Lausanne

Paraissant tous les  
15 jours

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : Note sur le calcul du coup de bélier dans les conduites sous pression, par Ed Carey, ingénieur à Marseille. — Moulages en acier dur. — Du développement de l'architecture ecclésiastique en Suisse alémanique au cours des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, par le D<sup>r</sup> K. Moser, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale (suite). — Société vaudoise des Ingénieurs et des Architectes. — Société des Arts. — Société suisse des Ingénieurs et des Architectes. — Bibliographie. — Carnet des concours.

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

par ED. CAREY, ingénieur à Marseille.

Le *Bulletin technique* a déjà publié divers articles sur ce sujet; le plus ancien est probablement celui de M. J. Michaud, ingénieur, qui, en 1903, donne la formule  $B = \frac{2LV}{gT}$  pour la surpression produite par une variation de vitesse de V à zéro pendant le temps T, L étant la longueur de la conduite et  $g = 9,81$  la gravité en m/sec<sup>2</sup>.

Cette formule a été longtemps utilisée pour la détermination des surpressions dans les conduites sous pression. Mais, lors des essais effectués à la réception des usines hydro-électriques, on constatait que le coup de bélier produit par la fermeture complète et simultanée, à partir de la pleine charge, de toutes les turbines alimentées par la conduite était inférieur au coup de bélier calculé. C'est pourquoi la formule Michaud ne fut plus guère en usage après la publication des études d'Alliévi en 1904, reprises en 1905 par le Comte de Sparre, professeur à Lyon.

La théorie et les formules d'Alliévi n'étaient pas consacrées par des essais. Le professeur Neeser a donné, dans le *Bulletin technique* de janvier 1910, le résultat des essais qu'il a effectués en 1906 et ceux qui ont été relevés par la Maison Piccard, Pictet et C<sup>ie</sup> à l'usine de Viège, pour vérifier directement la vitesse  $a$  de propagation de l'onde du coup de bélier. Ces essais n'ont pas été concluants, car l'onde apparente, relevée par le tambour enregistreur, ne donne pas exactement la longueur de l'onde réelle. D'autres essais ont été effectués en Suisse et en France sans beaucoup plus de succès.

Tout dernièrement, en France, MM. Gariel, directeur des Ateliers Neyret-Beylier et Piccard-Pictet à Grenoble, Camichel, professeur à Toulouse, Eydoux, ingénieur à Toulouse, ont entrepris des études théoriques et des essais très complets et très soigneusement effectués, tant sur des conduites industrielles (usine de Soulom dans les Pyrénées), que sur des conduites installées spécialement à cet effet à l'Institut Electrotechnique de Toulouse. Ces essais, qui ont comporté plus de 3000 expériences, ont prouvé l'exactitude rigoureuse des formules d'Alliévi et de celles de M. de Sparre concernant les conduites

d'épaisseur variable. De ces essais et de l'étude de ces formules ils ont tiré des résultats intéressants qui ont fait l'objet de communications à l'Académie des Sciences de Paris; ils sont brièvement résumés dans la *Revue Générale des Sciences* (Nos 20 et 21 de 1917), en attendant la publication du mémoire complet actuellement à l'impression. Nous devons à l'amabilité de M. Gariel, qui a bien voulu nous communiquer le manuscrit des chapitres qu'il a rédigés pour cet ouvrage, de pouvoir donner aux lecteurs du *Bulletin technique* un aperçu de ces travaux et des résultats obtenus, que nous accompagnerons de quelques considérations pratiques. Ces résultats fixent d'une manière définitive les formules à employer pour déterminer les surpressions maxima qui peuvent se produire dans les conduites sous pression, surpressions dont il faut tenir compte dans le calcul de ces installations.

Pour être complet, nous rappellerons brièvement les formules de la théorie d'Alliévi, puis celles du Comte de Sparre sans entrer dans le détail, renvoyant les lecteurs que cela intéresse aux articles déjà parus.

#### Formules d'Alliévi.

##### 1<sup>o</sup> Vitesse $a$ de propagation de l'onde du coup de bélier.

Toute variation de vitesse d'un liquide dans une conduite, produite par une modification du vannage, détermine une surpression ou une dépression, appelée coup de bélier, qui se propage le long de la conduite avec une vitesse  $a$ . Alliévi en donne la valeur suivante :

$$a = \sqrt{\frac{g}{\omega}} \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon} + \frac{1}{E} \frac{D}{e}}}$$

En remplaçant pour l'eau :  $\omega = 1000$ , poids spécifique ou liquide,  $\varepsilon = 2,07 \cdot 10^8$  coefficient de compressibilité et  $\frac{1}{E}$  (E module d'élasticité des parois en kg/m<sup>2</sup>),

par  $K = \frac{10^{10}}{E}$ , Alliévi<sup>1</sup> met la valeur de  $a$  sous la forme simple :

$$(1) \quad a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}}$$

dans laquelle K est un coefficient proportionnel au

<sup>1</sup> Théorie générale du mouvement varié de l'eau dans les tuyaux de conduite, par M. L. Alliévi, 1904.

module d'élasticité des parois de la conduite; pour le fer et l'acier,  $K = 0,5$ ; pour la fonte,  $K = 1$ ; pour le plomb,  $K = 5$ ; pour le ciment armé,  $K = 5$  en admettant un module d'élasticité de  $200.000 \text{ kg/cm}^2$ , etc.  $D =$  diamètre de la conduite,  $e =$  épaisseur des parois de la conduite.

L'épaisseur des tôles et la rigidité des conduites augmentant avec la hauteur de chute, la vitesse  $a$  de propagation de l'onde du coup de bélier augmente avec la hauteur de chute; elle est aussi plus grande dans une conduite en ciment armé que dans une conduite en tôle. Si la conduite est rigide (module  $E = \infty$ ),  $K$  est 0, la vitesse  $a$  atteint le maximum de  $1425 \text{ m.}$  à la seconde, correspondant à la vitesse du son dans l'eau, vitesse connue, qui a permis à Alliévi de déterminer, pour ce liquide, la valeur de  $\varepsilon$  à  $2,07.10^8$ .

En supposant l'épaisseur des tôles constante tout le long de la conduite et en admettant que cette épaisseur soit calculée pour la pression moyenne à raison d'un travail de  $8 \text{ kgs}$  par  $\text{mm}^2$ , la vitesse  $a$  est de  $680 \text{ m/sec.}$  pour une chute de  $100 \text{ mètres}$  et de  $1225 \text{ m/sec.}$  pour une chute de  $1000 \text{ m.}$

La vitesse de propagation des pulsations du cœur dans les vaisseaux sanguins, est voisine de  $20 \text{ m.}$  à la seconde. L'arrêt du cœur, ou une brusque impulsion donnée à celui-ci par une frayeur, peut produire une brusque variation de vitesse, occasionnant, comme nous le verrons plus loin, un coup de bélier dangereux, fatal aux personnes dont les artères sont devenues moins souples.

Partant du vannage où elle se produit, l'onde du coup de bélier parcourt la conduite à la vitesse  $a$ ; arrivée à la chambre de mise en charge au bout du temps  $\frac{L}{a}$ , elle est réfléchiée et revient changée de signe au vannage, qu'elle atteint au temps  $\vartheta = \frac{2L}{a}$ .

La vitesse  $a$  calculée avec la formule (1), a été vérifiée par MM. Gariel, Camichel et Eydoux au moyen de la méthode de la dépression brusque imaginée par M. Camichel et qui consiste à placer à l'extrémité aval de la conduite un petit robinet qui est brusquement ouvert puis fermé pendant une durée très faible par rapport au temps  $\vartheta = \frac{2L}{a}$ . Le manomètre enregistre une brusque dépression, suivie, au temps  $\frac{2L}{a}$  suivant, d'une brusque surpression, et ainsi de suite. Le graphique représente une série d'encoches positives et négatives (c'est-à-dire au-dessus et au-dessous de la ligne de pression statique). L'enregistreur tournant à une vitesse connue, la distance entre les encoches détermine exactement le temps  $\vartheta$  mis par l'onde à parcourir la conduite aller et retour. Cette méthode ne donne des résultats rigoureusement exacts que si la conduite est complètement purgée d'air.

Lorsque la méthode de la dépression brusque ne peut être appliquée, on détermine la valeur de  $\vartheta$  d'après le

graphique d'un coup de bélier en considérant, non pas l'onde apparente, mais un petit accident dans la courbe, accident qui se retrouvera changé de signe au temps  $\frac{2L}{a}$  suivant.

Avec ces méthodes, MM. Gariel, Camichel et Eydoux ont vérifié la valeur de  $a$  à l'usine de Soulom et au laboratoire de Toulouse avec une approximation de 2 à 3 pour mille, ce qui démontre l'exactitude de la formule d'Alliévi.

Les conduites industrielles étant généralement formées de tronçons dont l'épaisseur augmente avec la pression, il convient de calculer la valeur de  $a$  pour chaque tronçon de longueur  $l$ ; la valeur de  $\vartheta$  sera  $2 \sum \frac{l}{a}$  et la valeur de  $a = \frac{L}{\sum \frac{l}{a}}$ .

## 2° Equation du coup de bélier.

Alliévi a donné en 1904 les équations suivantes pour le calcul de la courbe du coup de bélier :

$$1^{\text{re}} \text{ période} \quad T \leq \frac{2L}{a}$$

$$Y^2 - 2Y \left( Y_0 + \frac{av_0}{g} + \frac{a^2 \psi^2(t)}{g} \right) + \left( Y_0 + \frac{av_0}{g} \right)^2 = 0$$

$$\text{Le coup de bélier } B_1 = Y - Y_0$$

$$2^{\text{e}} \text{ période} \quad \frac{2L}{a} < T \leq \frac{4L}{a}$$

$$Y^2 - 2Y \left( Y_0 + \frac{av_0}{g} + \frac{a^2 \psi^2(t)}{g} - 2B_1 \right) + \left( Y_0 + \frac{av_0}{g} - 2B_1 \right)^2 = 0$$

$$\text{Le coup de bélier } B_2 = Y - Y_0$$

$$n^{\text{e}} \text{ période} \quad \frac{2(n-1)L}{a} < T \leq \frac{2nL}{a}$$

$$Y^2 - 2Y \left[ Y_0 + \frac{av_0}{g} - 2(B_1 + B_2 + \dots + B_{n-1}) + \frac{a^2 \psi^2(t)}{g} \right] + \left[ Y_0 + \frac{av_0}{g} - 2(B_1 + B_2 + \dots + B_{n-1}) \right]^2 = 0.$$

$$B_n = Y - Y_0.$$

Dans ces formules :

$Y =$  pression totale en m. d'eau derrière la vanne, comprenant le coup de bélier.

$Y_0 =$  pression statique au vannage, c'est-à-dire avant tout mouvement;

$v_0 =$  vitesse initiale de l'eau dans la conduite;

$g = 9,81$ ;

$\psi(t) =$  rapport  $\frac{s}{S}$  de la section variable d'écoulement

à la section constante  $S$  de la conduite au temps  $t$ .

La courbe du coup de bélier se trace en prenant pour axe des temps la ligne horizontale représentant la charge statique et se calcule comme suit :

Un premier point  $B_1$  est déterminé dans la 1<sup>re</sup> période, au temps  $t < \frac{2L}{a}$ ; puis, un deuxième point  $B_2$  correspondant au premier, au temps  $t + \frac{2L}{a}$ , dans la 2<sup>e</sup> période allant du temps  $\frac{2L}{a}$  au temps  $\frac{4L}{a}$ ; puis un 3<sup>e</sup> point  $B_3$  au temps  $t + \frac{4L}{a}$  dans la 3<sup>e</sup> période etc... On détermine ensuite une autre série de points  $B'_1, B'_2, B'_3 \dots$  aux temps  $t', t' + \frac{2L}{a}$  etc... Après avoir calculé suffisamment de points on les joint pour obtenir la courbe de la variation de pression produite dans la conduite par la variation de vitesse.

L'exactitude de cette formule a été démontrée dans les nombreux essais effectués à Soulom; bien que les conduites utilisées soient à caractéristiques variables, c'est-à-dire formées de tronçons d'épaisseurs différentes, la plupart des courbes calculées se rapprochent tellement de celles des graphiques relevés pendant les essais qu'il n'a pas toujours été possible de les tracer toutes les deux.

L'Equation d'Aliévi est malheureusement d'une application assez longue, et ne se prête pas à une discussion facile des divers cas qui peuvent se présenter.

(A suivre).

### Moulages en acier dur.

Les établissements italiens *Gio Ansaldo & Co* sont une des plus puissantes entreprises métallurgiques de l'Europe. Fondés en 1853 par Cavour, l'illustre ministre de Victor-Emmanuel II, ils sont constitués, depuis 1904, en une Société anonyme dont le capital social est de 500 millions de lire entièrement versés.

Cette Société construit des machines marines, des locomotives, des canons à Sempierdarena et produit des plaques de blindage dans son aciérie de Cornigliano-Ligure; elle possède une fonderie d'acier, de bronze, de métal Delta et des ateliers de constructions électromécaniques à Cornigliano-Ligure, une fonderie de fonte à Pegli, une fabrique de tubes et de cartouches à Fegino, des chantiers navals pour la construction de navires de guerre et marchands à Sestri Ponente et à Voltri, une usine électrométallurgique, une aciérie et des

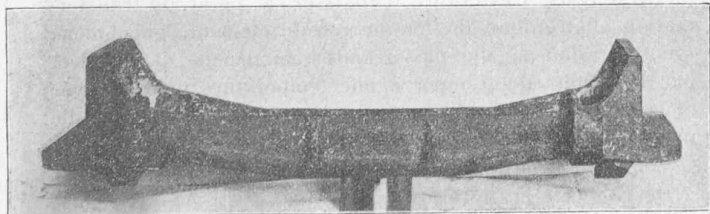


Fig. 1.

laminoirs à Aoste; des ateliers de munitions, des ateliers de construction et des terrains d'essai d'aéroplanes; des gisements de lignite à Grosseto et de minerais à Cogne.

A ce tableau des établissements que la Société possède en propre, il faut ajouter les entreprises qu'elle « contrôle »

ou auxquelles elle « participe », notamment les Chantiers navals Ansaldo San Giorgio, à Spezia, les Ateliers Cupelli pour la construction de pompes et de turbines, à Spezia, les Ateliers de construction de moteurs à combustion interne Ansaldo San Giorgio, à Turin (capital social total des trois

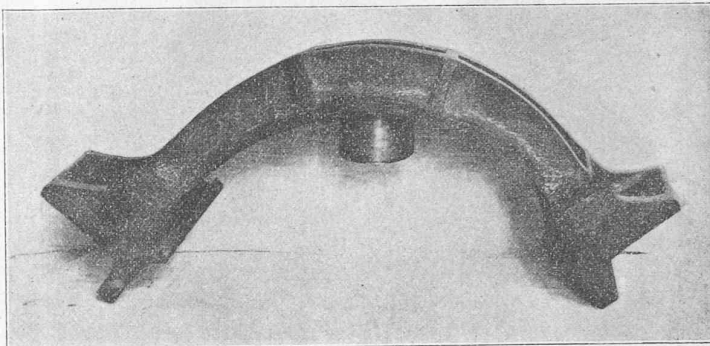


Fig. 2.

sociétés 23 500 000), la Società nazionale di navigazione, à Gênes (capital 150 millions de lire), les Chantiers et ateliers navals Savoia, à Cornigliano-Ligure (capital 3 000 000 de lire), enfin la *Compania transatlantica italiana* (capital 30 000 000 de lire) Au total, 27 établissements occupant 50 000 personnes.

La Société Ansaldo a, à sa tête, avec le titre de directeur général, un illustre chimiste, le Dr F. Giolitti, dont les travaux dans le domaine de la métallographie sont aujourd'hui classiques. Répudiant les recettes et les tours de main, M. Giolitti s'attacha à appliquer les lois rigoureuses de la physico-chimie à l'étude des processus métallurgiques et son effort, poursuivi avec une ténacité et un esprit de méthode admirables, le conduisit à des résultats qui modifièrent profondément la technique de certains procédés. A titre d'exemple, nous citerons ses recherches sur la cémentation des aciers, qui entraînèrent la substitution aux vieilles pratiques, si aléatoires et souvent si défectueuses, d'une méthode comportant le dosage précis du degré de carburation en fonction de la profondeur de la couche de cémentation et, par suite, réduisant énormément les risques d'écaillage, toujours redoutable, des pièces cémentées<sup>1</sup>.

C'est évidemment à ce souci de rigueur scientifique dans l'expérimentation qu'est dû un autre progrès, non moins éclatant, réalisé par M. Giolitti, après plusieurs années d'études, dans la préparation des moulages d'acier dur. Ceux de nos lecteurs qui ont une idée des difficultés qu'affrontent les constructeurs de pièces en acier moulé admireront les exemples illustrés par les figures 1 à 9 de cette notice, dont les photographies nous ont été très obligeamment communiquées par M. Giolitti.

Tous ces objets — nous insistons sur cette particularité capitale — sont en acier dur présentant une limite élastique et une résistance à la rupture par traction supérieures, celle-là, à 50 kg/mm<sup>2</sup> et celle-ci à 75 kg/mm<sup>2</sup>. Eh bien! en dépit de cette « nuance » qui, selon la doctrine, ne devrait pas se prêter à l'obtention de moulages déformables sans accident, la pièce moulée de la figure 1, soumise à l'action d'une presse hydraulique agissant, au moyen d'un dispositif approprié, sur l'extrémité des têtes, a été cintrée, sous un effort de 16 1/2 tonnes, et a pris la forme représentée par la figure 2 sans

<sup>1</sup> Ces recherches sont décrites dans l'ouvrage du Dr F. Giolitti : *La cementazione dell'acciaio*. (Unione tipografico Editrice, Turin), dont il existe une traduction française (Paris, Hermann, éditeur.)