Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 65 (1939)

Heft: 3

Artikel: Théorie des coups de bélier dans les conduites à caractéristiques linéairement variables le long de l'axe

Autor: Calame, Jules

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-49979

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

sont distants de 2 m les uns des autres ; les joints sont en béton coulé, jusqu'au niveau de l'eau, et en blocs artificiels au-dessus de celui-ci.

Quelques-uns des parements sous-marins des massifs mêmes étaient légèrement attaqués immédiatement au-dessous de l'eau et bon nombre de blocs constituant les parements au-dessus de l'eau étaient fissurés, mais sans qu'il semblât en résulter d'inconvénient. Surtout vers l'extrémité de la jetée les joints étaient en mauvais état. Leur remplissage avait disparu en partie jusqu'au niveau de la mer et il était visible qu'on ne les avait pas révisés depuis un certain temps. Le dessus des massifs, formé soit de béton, soit de maçonnerie de moellons, était très fortement délavé.

Conclusions.

Sur 12 jetées examinées, deux seules sont à paroi du large verticale. Ce nombre est trop restreint pour permettre de conclure en faveur de l'un ou l'autre système. Cependant, on ne saurait nier que les dégâts peu nombreux observés sur la vieille jetée de Valence étaient surtout imputables à un défaut d'entretien et que la jetée fortement battue de Dieppe ne présentait aucun dégât tandis que les moins exposées des jetées en talus témoignaient de l'attaque par la mer d'un grand nombre de leurs éléments. Ainsi que le lecteur peut s'en rendre compte par le choix restreint de photographies reproduites ci-devant, moins d'un an après l'achèvement de la jetée très exposée de Casablanca, aucun des blocs qui la constituent n'était resté intact.

Les observations faites sur les jetées en talus permettent de conclure ce qui suit :

1. Les blocs naturels sont préférables aux blocs artificiels, mais leur emploi n'est guère possible sur les grandes jetées, parce qu'on ne peut se procurer de blocs de grandeur ou de qualité suffisantes.

2. Partout où la qualité de la pierre disponible a permis de confectionner des blocs en maçonnerie de moellons, ceux-ci ont mieux résisté à l'action de la mer que ceux en béton. On ne saurait avoir recours à la maçonnerie de moellons s'il s'agit d'établir une jetée en peu de temps, seul l'emploi du béton permettant la fabrication de grosses quantités de blocs à l'allure de 1000 m³ ou plus par jour.

3. Si, pour une raison ou une autre, les blocs artificiels doivent être exécutés en béton, il sera indispensable de vouer le maximum possible de soins à leur confection. Il faudra non seulement éviter l'emploi de cailloux tendres ou attaquables par l'eau de mer, mais surveiller la granulométrie et prendre les mesures nécessaires pour réaliser un béton absolument homogène. On dispose, actuellement, d'appareils modernes, tels que les pervibrateurs qui permettent d'atteindre ce dernier résultat.

4. Les blocs qui satisferont à ces conditions seront peu vulnérables, même s'ils présentent quelque lésion au bardage. Pour éviter néanmoins ces dernières autant que possible, il sera bon de renoncer aux canaux de chaîne fermés et de réduire les dimensions des canaux ouverts au strict minimum. Il sera bon également d'éviter toute arête vive, de couper à 45° celles sur lesquelles passera la chaîne et d'y maintenir les coffrages de bois jusqu'après le bardage.

5. Il importe que tous les parements des blocs y compris le parement inférieur soient très lisses, sans avoir recours pour cela à l'application d'un enduit, qui ne procurera jamais qu'une protection factice. Les coffrages lisses indéformables et les moyens modernes de pervibration du béton permettront d'atteindre ce but.

6. L'emploi de ciments spéciaux inattaquables à l'eau de mer serait peut-être recommandable, quoique très onéreux, mais il est probable qu'on pourra l'éviter si on réalise un béton de la qualité indiquée.

7. Les dégâts dus aux mouvements locaux des blocs sont relativement plus importants sur la jetée de Casablanca que sur toutes les autres jetées observées, mais il serait erroné de ne mettre en cause que la faible résistance du béton. Il est vraisemblable que la jetée de Casablanca qui, pendant sa construction, a été battue en brèche deux fois, est constituée par des blocs trop légers. C'est précisement pour fixer la dimension de ces blocs que les essais au modèle rendront désormais de signalés services.

8. D'autre part les grands blocs sont plus sensibles au bardage et aux tassements inévitables que les petits et les difficultés de la mise en œuvre augmentent considérablement avec le poids des blocs. Il semble indispensable d'en tenir compte en interprétant les résultats des essais au modèle.

Théorie des coups de bélier dans les conduites à caractéristiques linéairement variables le long de l'axe.

Tel est le titre d'un important développement qu'a publié la *Revue générale de l'Hydraulique* au cours de ses six numéros (Nos 19 à 24) de 1938, dû à la plume du professeur *Henry Favre*, directeur-adjoint du Laboratoire de recherches hydrauliques de l'Ecole polytechnique fédérale, aidé de ses collaborateurs.

Quittant l'hypothèse de la conduite à diamètre, épaisseur, module d'élasticité constants ; renonçant tout autant à introduire des tronçons — en nombre forcément limité — à caractéristiques constantes, le Dr H. Favre étudie à nouveau complètement la propagation des ondes de pression dans une conduite forcée idéale, *très légèrement conique*, dont la section diminuerait *de l'amont vers l'aval : D, e* et *E* variant le long de l'axe de façon telle que *le diamètre intérieur* D, *et la vitesse* a *de propagation de l'onde, soient des fonctions linéaires de l'abscisse* x (remontant de l'aval et dont l'origine est choisie au sommet du cône fictif, en prolongement de la conduite elle-même).

D'après ce qu'on savait des théories précédentes, *la valeur absolue des maxima* du coup de bélier, produits, à

l'obturateur, par toutes les manœuvres de turbines ou de vannes, et qu'on a appelées les *manœuvres « lentes »* (en comparant le temps de manœuvre à la durée de la phase de la conduite) se calculent avec une exactitude pleinement suffisante, si l'on a soin de définir *des caractéristiques moyennes convenables*, que l'on admet comme constantes, et M. Favre le confirme à nouveau.

Mais il est évident que si, quittant le domaine de l'exploitation, on explore celui de l'expérience, l'analyse de *manœuvres très rapides* et même *« brusques »*, instantanées, montre, une fois de plus, l'importance qu'il y a à considérer *la variation des caractéristiques de la conduite*. La nouvelle hypothèse simplificatrice de M. Favre est, à ce point de vue-là, fort intéressante, puisqu'elle permet de pousser sensiblement plus loin qu'on ne l'avait fait jusqu'ici par le calcul l'analyse d'une conduite réelle, dans les conditions particulières des manœuvres *brusques*.

L'hypothèse, très ingénieuse, d'une conduite faiblement conique, dans laquelle D et a varient linéairement le long de l'axe, n'est certes pas de nature à simplifier le calcul des variations successives de la pression, mais M. Favre a su introduire dans son développement des termes correctifs appropriés, qu'il définit par

$$\mu = (D_A - D_o) : D_o = L : x_o \text{ et } \nu = (a_o - a_m) : a_m$$

l'indice A se rapportant à l'extrémité amont de la conduite,

l'indice o, à l'extrémité aval, à l'obturateur,

l'indice m, au milieu de la longueur développée L de la conduite réelle, x_o désignant la hauteur du cône fictif, à partir de l'obturateur.

Ces deux termes, par les transformations du calcul, apparaissent d'ailleurs finalement sous la forme d'un coefficient unique

$$\sigma = \left(1 + \frac{\nu}{2}\right)\left\{\mu\left(1 + \frac{\nu}{2}\right) + \nu\right\}$$

lequel, quand μ et ν sont très petits vis-à-vis de l, devient simplement

$$\sigma = \mu + \nu.$$

Il se pourrait faire d'ailleurs théoriquement, selon le choix du diamètre D, croissant de l'aval vers l'amont, et celui de l'épaisseur e, si elle croissait dans le même sens, que μ et ν soient très petits et de signe contraire. A égalité de valeur absolue, $\sigma = 0$, et la conduite se comporterait alors, à l'égard du coup de bélier, comme une conduite à caractéristique unique, limite connue du problème.

Mais, dans le cas ordinaire, où *la conicité* voulue joue son rôle, où μ et ν sont positifs et où σ est loin d'être nul M. Favre a réussi à ramener l'expression générale des séries enchaînées à la forme

$$\zeta^2_{t-1} + \zeta^2_t - 2 = 2\rho_o(\eta_{t-1}\zeta_{t-1} - \eta_t\zeta_t) - 2\sigma S_t$$

dont on voit que c'est celle d'Allievi, sauf l'addition d'un terme supplémentaire au second membre, dans lequel apparaissent précisément le facteur σ et une grandeur S_t ; cette dernière représente, dans un diagramme cartésien où la surpression relative est reportée en fonction du temps, l'aire comprise entre les ordonnées successives $\zeta^2_{t-1} - 1$ et $\zeta^2_t - 1$, la courbe de la surpression, et l'axe des temps, de l'instant $t - 1$ à l'instant t, ces instants étant mesurés à l'unité $2L : a_m$.

M. Favre établit d'ailleurs deux formules de récurrence dans le cas de surpression ne dépassant pas 30 à 40 % de la pression statique ; ces formules permettent de calculer les valeurs successives de la surpression relative, à n'importe quel instant, même fractionnaire, en fonction : de σ,

de la caractéristique d'Allievi $\rho_o = a_o v_o : 2gy_o$

et d'un nombre $n = 2, 3, 4, 5...$ par lequel il pourra paraître utile de subdiviser l'intervalle de temps de $t-1$ à t dans le diagramme de la surpression. Ces formules sont applicables avec profit notamment dans l'exploration du coup de bélier et de sa variation *en un point quelconque* de la conduite.

* * *

Appliquant ensuite sa théorie au cas de la *fermeture* linéaire *lente* de l'obturateur d'aval, l'auteur constate qu'en tenant compte de la *conicité*, ramenée à l'examen du coefficient σ :

si σ est petit vis-à-vis de l'unité, les surpressions, tant à l'obturateur qu'en un point quelconque de la conduite, sont les mêmes que pour une conduite à caractéristique unique, ayant pour ρ la valeur relative ρ_m calculée dans une section équidistante des extrémités ;

mais, si σ est grand par rapport à 1, il vaut la peine d'en tenir compte, et 3 abaques de *fermeture lente*, établis pour $\sigma = 0{,}25$, 0,50 et 0,75 montrent qu'elle est, pour telles valeurs de ρ_o et de θ, *la diminution du maximum* de surpression, *à mesure que σ augmente*, par comparaison à l'abaque classique d'Allievi (Allievi-Gaden fig. 24) qui est celui du cas particulier où $\sigma = 0$.

L'augmentation de l'épaisseur des parois et la réduction du diamètre, de l'amont vers l'aval, contribuent donc, l'une et l'autre, à diminuer la valeur du coup de bélier maximum. Faible pour de petites valeurs de σ, la diminution peut atteindre presque la moitié de la surpression maximum, quand la conicité est accusée ($\sigma = 0{,}75$).

Mais où l'introduction de la conicité apporte d'appréciables avantages, c'est dans l'exploration de la variation de pression *une fois la manœuvre finie* (si elle est lente) et surtout dans le cas *accidentel* d'une fermeture *brusque*, voire *instantanée* ($\theta = 0$) de l'obturateur, à supposer que ce dernier cas soit plausible (ce que contestera toujours le constructeur !). L'analyse qu'en fait le professeur Favre est des plus attrayantes et aboutit à la conclusion que, loin de la valeur $\pm 2.\rho_o$ connue pour les variations de fermeture brusque, quand la conduite est à caractéristique unique, loin même des valeurs $\pm 2{,}83.\rho_o$ et $\pm 3{,}33.\rho_o$ données par le Comte de Sparre dans le cas de deux ou de trois tronçons différents, la conicité fait ressortir des valeurs extrêmes voisines de $\pm 5\rho_o$ et, plus exacte-

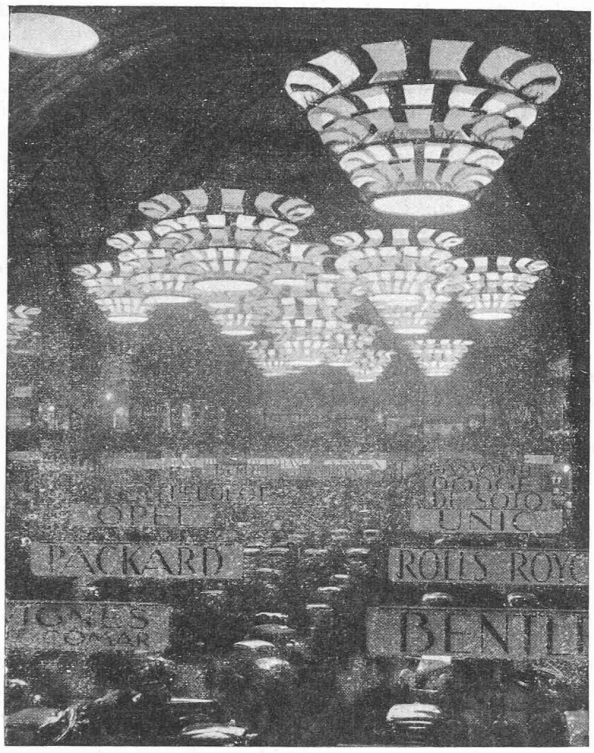

Fig. 1. — Vue générale du Salon de l'automobile, à Paris. Les lustres meublaient l'immense nef de façon vraiment curieuse.

ment, en interprétant sa courbe en fonction de σ, des maxima et minima absolus

$$\xi = \pm (5{,}47 - 0{,}97 . \sigma)\ \rho_o$$

entre $\sigma = 0{,}1$ et $\sigma = 0{,}7$.

En plus d'ailleurs de l'expression du maximum, la théorie de la conduite à caractéristiques variables *linéairement le long de l'axe* a l'avantage de fournir le calcul des valeurs nécessaires pour tracer une image de la courbe des surpressions (abstraction faite toutefois encore des effets du frottement) qui reste *plus longtemps* exacte, une fois la manœuvre terminée, que la courbe à tirer des théories dans lesquelles on diviserait la conduite en tronçons différents, de nombre forcément limité. Elle offre d'ailleurs la possibilité de s'adapter d'aussi près que possible au profil réel des conduites telles qu'on les construit actuellement, ainsi que le montre un exemple numérique, choisi défavorablement.

Ce bref compte rendu voudrait encore signaler, en passant, la limpidité du texte, la rigueur de la démonstration, compliquée pourtant par l'introduction des termes de la conicité, et qui aboutit, par une méthode de tendance plus analytique, à des conclusions d'une architecture comparable à celle d'Allievi. L'étude de détail de la discontinuité, provoquée dans la surpression au début et à la fin de la manœuvre, sa répercussion aux instants suivants, le calcul de la courbure dans les diagrammes de surpression, celui de la durée de la phase en tenant compte de σ, montrent à l'envi la conscience et l'habileté avec lesquelles l'auteur a su se jouer, dans ce remarquable exposé, de difficultés qui n'étaient certes pas légères. Si un vœu pouvait être exprimé ici, ce serait que le professeur Favre, malgré ses nouvelles fonctions, ait un jour le loisir et la patience de s'attaquer, dans la même hypothèse, au problème de l'ouverture brusque, à celui de la fermeture d'une vanne d'amont, et aussi aux résultats provoqués par les conditions de fonctionnement des pompes, toutes conditions qui intéressent au plus haut point l'exploitation des usines hydrauliques actuelles.

Genève, le 31 décembre 1938. JULES CALAME.

L'éclairage du Salon de l'automobile à Paris, en 1938 [1].

Tous les ans, le Salon de l'automobile nous offre, en plus de ses merveilles de mécanique, le spectacle d'un éclairage technique et décoratif.

Le système d'éclairage indirect, qui régnait en maître depuis plusieurs années, s'est effacé en 1937 devant les tubes luminescents pour reparaître l'année suivante, renouvelé.

La grande nef était éclairée par de larges lustres affectant la forme d'un tronc de cône renversé. Ces immenses luminaires étaient constitués par plusieurs couronnes réunissant un certain nombre d'éléments diffusants ou de réflecteurs à surface mate.

Tous ces éléments se présentaient sous la forme d'une espèce de volute constituée par une surface plane prolongée par une

[1] Extrait de *B. I. P.* « Bulletin d'informations pratiques concernant les applications de l'électricité » (Paris).

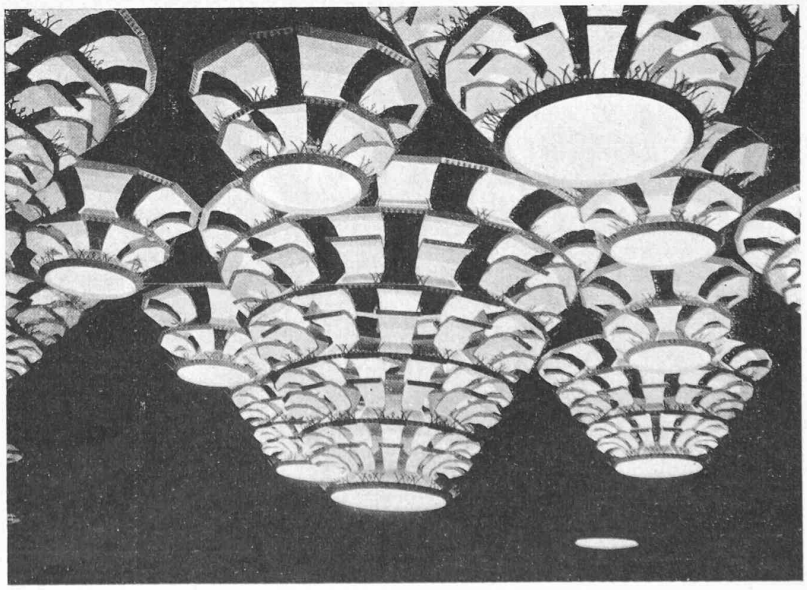

Fig. 2. — Vue rapprochée des lustres du Salon de l'automobile, à Paris, montrant la disposition des éléments diffusants et des couronnes.