Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 46 (1920)

Heft: 13

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-35784

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

46me année 26 Juin 1920 N° 13

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. Demierre, ing. Paraissant tous les 15 jours

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

SOMMAIRE : *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 et fin). — *Concours d'idées pour l'étude d'un projet d'hôtel de la Société de Banque suisse, à Lausanne* (suite). — *La navigation intérieure en Suisse, en 1919.* — *L'emploi des combustibles liquides dans les foyers industriels.* — *Voie de raccordement entre la gare de Renens et la future gare aux marchandises de la vallée du Flon.* — *Concours international de projets pour l'utilisation des forces motrices du Walchensee, en Bavière.* — *Les usines hydro-électriques de haute chute.* — *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes.* — *Société genevoise des Ingénieurs et des Architectes.* — *Calendrier des Concours.*

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 et fin.) [1]

Nous venons de donner, dans quatre cas bien déterminés, les formules générales à utiliser pour le calcul du coup de bélier maximum. Il parait donc indiqué, dans l'élaboration des projets de conduites forcées de se rapprocher, autant que faire se peut, de ces cas types qui permettent un calcul relativement facile du coup de bélier maximum. Il sera presque toujours possible de choisir le point de jonction des tronçons de manière à remplir la condition

$$\theta' = \theta'' = \theta'''$$

et de déterminer les diamètres pour avoir

$$\alpha = \beta$$

ou rentrer aussi dans l'un des cas spéciaux étudiés :

$$\alpha = 1 \quad \text{ou} \quad \beta = 1$$

La détermination des efforts de surpression dans la conduite en sera grandement simplifiée.

Le plus important est de choisir les emplacements des changements de diamètres de telle manière que $\frac{2l'}{a'} = \frac{2l''}{a''} = \frac{2l'''}{a'''}$, c'est-à-dire que la vitesse de propagation soit la même dans chacun des tronçons ; la condition $\alpha = \beta$ n'est pas indispensable puisque nous avons rappelé les formules générales et donné le graphique, figure 14, pour les valeurs quelconques de α et de β.

Pour faciliter la division de la conduite en trois tronçons tels que $\theta' = \theta'' = \theta'''$, écrivons la valeur a, donnant la vitesse de propagation de l'onde du coup de bélier le long de la conduite, en fonction de la pression totale H au point considéré et du coefficient σ du travail de la tôle :

$$a = \frac{9\,900}{\sqrt{48{,}3 + \frac{1000\sigma}{H}}}$$

dans laquelle H est exprimé en mètres et σ en kg. par mm. carré. En admettant une valeur déterminée pour le coefficient de travail de la tôle, il sera facile de tracer la courbe de a pour toutes les valeurs de H. Le graphique de la figure 22 a été calculé en prenant $\sigma = 6$ kg. par mm.², il facilitera le sectionnement en trois tronçons dans l'établissement du projet d'une conduite calculée avec ce coefficient.

Pratiquement, en admettant que le profil en long de la conduite ne s'éloigne pas trop d'une ligne droite, la relation entre les divers tronçons est approximativement la suivante en % de la longueur totale :

tronçon supérieur :	26 — 27 %
tronçon intermédiaire :	32 — 35 %
tronçon inférieur :	42 — 38 %

Lorsque le profiil en long est convexe, le tronçon inférieur est plus long et l'on obtient approximativement

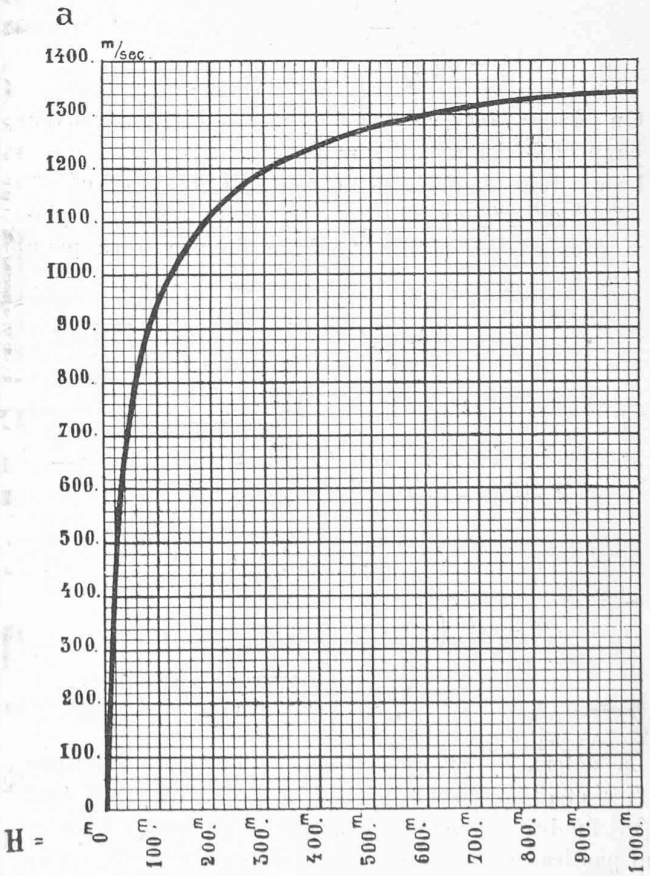


Fig. 22. — Valeurs de la vitesse de propagation a en fonction de H dans une conduite calculée avec $\sigma = 6$ kg/mm².

[1] Voir *Bulletin technique* du 15 mai 1920, page 111.

les proportions 26, 32 et 42 %; tandis qu'un profil en long concave (dans lequel la pente du tronçon supérieur est plus forte que celle des autres tronçons) la longueur du tronçon inférieur diminue et l'on obtient approximativement les proportions 27, 35 et 38 %. Mais ces chiffres n'ont rien d'absolu, car ils dépendent du profil en long ; ils sont calculés pour une conduite supposée de 400 m. de longueur avec une charge totale de 200 m. au vannage.

S'il n'était pas possible de réaliser la condition $\theta' = \theta'' = \theta'''$ on pourra cependant, comme le fait remarquer M. de Sparre, rattacher comme suit, la conduite, pour le calcul, à l'un des cas que nous avons étudié ;

Soient $l_1\ a_1\ d_1\ v_1$ les éléments du tronçon inférieur, $l_2\ a_2\ d_2\ v_2$ ceux du tronçon intermédiaire et $l_3\ a_3\ d_3\ v_3$ ceux du tronçon supérieur de la conduite donnée.

1° *Les tronçons ne sont pas trop différents les uns des autres* ; dans ce cas, on remplacera la conduite donnée par une conduite moyenne dont les éléments seront :

$$L = l_1 + l_2 + l_3$$

$$\frac{2L}{a} = 2\left(\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2} + \frac{l_3}{a_3}\right) = \theta$$

$$a = \frac{2L}{\theta}$$

$$v = \frac{l_1 v_1 + l_2 v_2 + l_3 v_3}{L}$$

$$D = d_1 \sqrt{\frac{v_1}{v}}$$

On pourra, avec les formules et graphiques, trouver le coup de bélier réel si $\alpha = \beta$.

La conduite en trois tronçons $l'a'\ v'\ d'$, $l''a''\ v''\ d''$ et $l'''\ a'''\ v'''\ d'''$ tels que $\theta' = \theta'' = \theta'''$, qui remplacera plus exactement la conduite donnée aura pour éléments :

$$l' = \frac{a_1 L}{a_1 + a_2 + a_3}\ ; \quad l'' = \frac{a_2 L}{a_1 + a_2 + a_3}$$

$$l''' = \frac{a_3 L}{a_1 + a_2 + a_3}$$

$$a' = \frac{3l'}{\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2} + \frac{l_3}{a_3}}\ ; \quad a'' = \frac{3l''a}{L}\ ; \quad a''' = \frac{3l'''a}{L}$$

$$v' = v_1 \frac{l_1 + l_2\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 + l_3\left(\frac{d_1}{d_3}\right)^2}{l' + l''\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 + l'''\left(\frac{d_1}{d_3}\right)^2}$$

$$d' = d_1\sqrt{\frac{v_1}{v'}}\ ; \quad \alpha = \frac{a_2}{a_1}\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2\ ; \quad \beta = \frac{a_3}{a_2}\left(\frac{d_2}{d_3}\right)^2$$

La détermination des éléments du tronçon inférieur $l'a'$, v' et d' sont seuls nécessaires. Si α n'est pas égal à β il faudra utiliser les formules générales 48 à 52 et non pas les graphiques.

On procèdera de même pour une conduite formée de deux tronçons peu différents.

2° *La conduite est formée de deux tronçons tels que :*

$$\left(\frac{l_1}{a_1} - \frac{l_2}{a_2}\right) < \frac{1}{6}\left(\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2}\right)$$

La conduite sera remplacée par une conduite formée de deux tronçons dont la durée de propagation est la même et nous aurons comme ci-dessus :

$$l' = \frac{a_1 L}{a_1 + a_2}\ ; \quad l'' = \frac{a_2 L}{a_1 + a_2}$$

$$a' = \frac{2l'}{\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2}}\ ; \quad a'' = \frac{2l''}{\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2}}$$

$$v' = v_1 \frac{l_1 + l_2\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2}{l' + l''\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2}$$

$$d' = d_1\sqrt{\frac{v_1}{v'}}$$

On appliquera les formules simplifiées et les graphiques des conduites formées de deux tronçons tels que $\theta' = \theta''$ (formules 1 à 45).

3° *La conduite est formée de deux tronçons tels que :*

$$\left(\frac{l_1}{a_1} - \frac{l_2}{a_2}\right) > \frac{1}{6}\left(\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2}\right)$$

On remplacera alors la conduite par une conduite formée de trois tronçons dont les deux inférieurs sont identiques avec $\alpha = 1$ et $\mu = 0$, les éléments de cette conduite seront :

$$2l' + l''' = l_1 + l_2 = L$$

$$l' = \frac{a_1 L}{2a_1 + a_2}\ ; \quad l'' = \frac{a_2 L}{2a_1 + a_2}$$

$$a' = \frac{3l'}{\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2}}\ ; \quad a''' = \frac{3l'''}{\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2}}$$

$$v' = v_1 \frac{l_1 + l_2\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2}{2l' + l'''\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2}$$

$$d' = d_1\sqrt{\frac{v_1}{v'}}$$

avec ces données on pourra utiliser les formules 87 à 100.

4° *La conduite est formée de deux tronçons tels que :*

$$\left(\frac{l_2}{a_2} - \frac{l_1}{a_1}\right) > \frac{1}{6}\left(\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2}\right)$$

on pourra remplacer cette conduite par une conduite formée de trois tronçons dont les deux supérieurs sont identiques avec $\beta = 1$ et $\nu = 0$.

Les éléments de cette conduite seront :

$$l' + 2l'' = l_1 + l_2 = L$$

$$l' = \frac{a_1 L}{a_1 + 2a_2}\ ; \qquad l'' = \frac{a_2 L}{a_1 + 2a_2}$$

$$a' = \frac{3l'}{\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2}}\ ; \qquad a'' = \frac{3l''}{\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2}}$$

$$\varphi' = \varphi_1 \frac{l_1 + l_2 \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2}{l' + 2l'' \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2}$$

$$d' = d_1 \sqrt{\frac{\varphi_1}{\varphi'}}$$

on appliquera ensuite les formules 101 à 117.

Résumé : On pourra appliquer les formules générales ci-dessous pour le calcul du coup de bélier maximum, positif et négatif, produit au vannage par une variation de vitesse linéaire à l'allure de $\frac{V'}{T}$, m/sec., avec T plus grand ou égal à la période de la conduite entière, dans les conduites formées de deux ou trois tronçons tels que :

$$\frac{2l'}{a'} = \frac{2l''}{a''} = \frac{2l'''}{a'''}$$

1. *Conduites formées de deux tronçons avec* $\theta' = \theta''$

fermetures : $B = \frac{4.l'.V'}{g.T.} \cdot K$ (graphique fig. 3)

avec $r'\varphi'_0 = \frac{2l'V'}{gT\gamma_0}$

ouvertures : $B = \frac{4.l'.V'}{g.T} \cdot j$ (graphique fig. 6)

avec $r'\varphi'_2 = \frac{2l'V'}{gT\gamma_0}$

2. *Conduites formées de trois tronçons avec* $\theta' = \theta_{,} = \theta'''$ *et* $\alpha = \beta$

fermetures : $B = \frac{6.l'V'}{gT} \cdot M$ (graphique fig. 11)

avec $r'\varphi'_0 = \frac{3l'V'}{gT\gamma_0}$

ouvertures : $B = \frac{6.l'V'}{g.T} S$ (graphique fig. 15)

avec $r'\varphi'_3 = \frac{3l'V'}{gT\gamma_0}$

3. *Conduites formées de deux tronçons avec* $\theta' + \theta'' = 2\theta'''$ *et* $\alpha = 1$

fermetures : $B = \frac{3(l' + l'')V'}{g.T} \cdot M'$ (graph. fig. 17)

avec $r'\varphi'_0 = \frac{3(l' + l'')V'}{2gT\gamma_0}$

ouvertures : $B = \frac{3(l' + l'')V'}{g.T.} S'$ (graph. fig. 18)

avec $r'\varphi'_0 = \frac{3(l' + l'')V'}{2gT\gamma_0}$

4. *Conduites formées de deux tronçons avec* $2\theta' = \theta'' + \theta'''$ *et* $\beta = 1$

fermetures : $B = \frac{6l'V'}{gT} \cdot M''$ (graphique fig. 20)

avec $r'\varphi'_0 = \frac{3l'V'}{gT\gamma_0}$

ouvertures : $B = \frac{6l'V'}{gT} \cdot S''$ (graphique fig. 21)

avec $r'\varphi'_3 = \frac{3l'V'}{gT\gamma_0}$

Conclusions.

Les épaisseurs décroissantes et les diamètres croissants dans les tronçons supérieurs des conduites, produisent, comme nous l'avons vu (fig. 13), une diminution très sensible du coup de bélier maximum de fermeture effectuée en un temps au moins égal à celui de la période de la conduite entière. Par contre, les caractéristiques variables occasionnent une majoration très importante du coup de bélier de fermeture brusque.

Cependant, si toutes les fermetures sont effectuées à la même allure de $\frac{V'}{T}$ m. par sec., le coup de bélier majoré, produit par les petites fermetures, reste pratiquement inférieur au coup de bélier provoqué par une fermeture plus longue (fig. 11), car les diamètres sont rarement très différents.

Si l'allure de la fermeture devient plus rapide, autrement dit si T diminue pendant que V' reste constant, le coup de bélier augmente et sera, en plus, sensiblement majoré si T descend en-dessous de $\frac{L}{a}$ sec. ; le maximum possible aura lieu pour T = zéro et atteindra :

$$B = \frac{a'V'}{g} + \text{majoration},$$

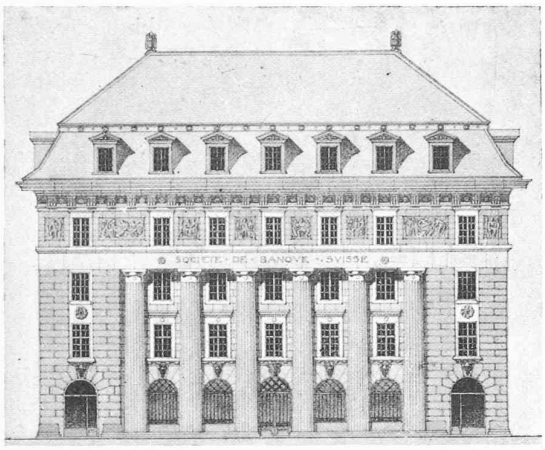
en fonction des éléments du tronçon inférieur,

Cette majoration est maximum pour les conduites de diamètre constant, mais d'épaisseur variable ; l'introduction de diamètres croissants pour les tronçons supérieurs la diminue sensiblement.

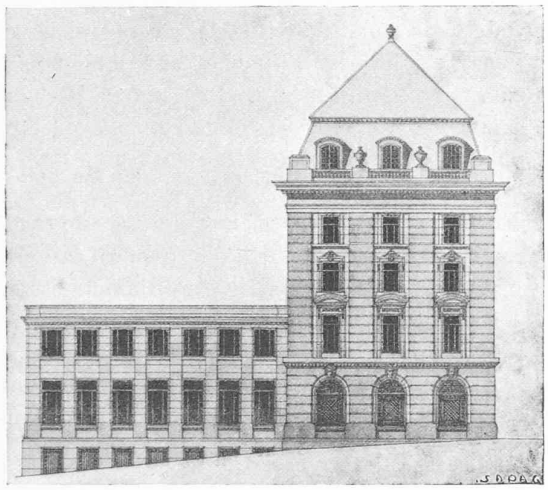
Remarquons qu'il n'est pas nécessaire que T soit égal à zéro pour obtenir la majoration maximum ; il suffit que T soit $\leq \frac{2l'}{a'}$, c'est-à-dire plus petit que le temps mis par l'onde du coup de bélier à parcourir, aller et retour, le tronçon inférieur de la conduite, tronçon dont la longueur est souvent importante.

La fermeture brusque de V' à zéro est donc beaucoup plus dangereuse au vannage, dans les conduites à caractéristiques variables, que dans les conduites à caractéristique unique, (diamètre et épaisseur constants) où le coup de bélier maximum $\frac{aV}{g}$ ne se majore pas. La transmission le long de la conduite n'est cependant

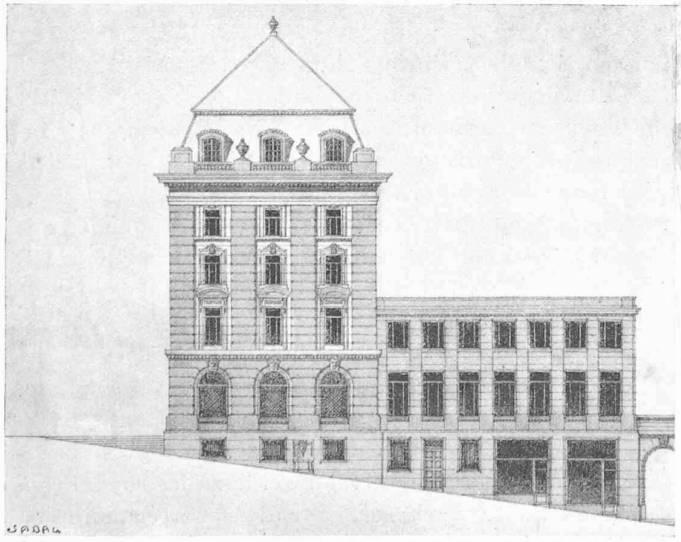
CONCOURS POUR L'HOTEL
DE LA SOCIÉTÉ DE BANQUE SUISSE, A LAUSANNE



Façade principale. — 1 : 500.



Façade est. — 1 : 500.



Façade ouest. — 1 : 500.

IIme prix *ex-æquo* : projet « Voir Grand » de M. *R. Bonnard*, architecte, à Lausanne.

pas la même, car les divers tronçons produisent des réflexions diminuant l'effort, qui arrive très atténué à la chambre de mise en charge, tandis que dans les conduites à caractéristique unique, l'effort $\frac{aV}{g}$ de fermeture instantanée est transmis intégralement tout le long de la conduite.

De l'étude précédente, il ressort que la majoration augmente avec le nombre des tronçons en même temps que diminue le temps de fermeture. Dans les conduites en deux tronçons elle atteint 38 %; dans celles formées de trois tronçons elle arrive à 62 %; elle est certainement encore plus importante dans les conduites en quatre ou cinq tronçons. Bien que fortement diminuée, par la viscosité et le frottement, deux facteurs qui n'entrent pas dans les formules de M. de Sparre, cette majoration n'en reste pas moins importante. Il paraît donc indispensable de déterminer le maximum réel pour les conduites formées d'un grand nombre de tronçons [1], tout au moins par expérience et il serait fort désirable que les essais si intéressants et si utiles effectués récemment par MM. Gariel, Camichel et Eydoux [2] soient poursuivis pour des fermetures brusques. Nous ne trouvons pas, en effet, dans les essais faits à l'usine de Soulon, des graphiques provenant de fermetures effectuées en un temps plus court que $\frac{L}{a}$ sec., soit la moitié seulement de la période de la conduite entière. Des essais de fermetures plus rapides fourniraient des indications précieuses, car c'est précisément dans les conduites de diamètre constant mais d'épaisseur variable, comme celles de l'usine de Soulon, que la majoration est la plus importante.

Dans la *Revue Générale de l'Electricité* du 21 septembre 1918, M. Gariel donne le graphique du coup de bélier d'une fermeture effectuée en $\frac{L}{a}$ sec. environ, à l'usine de Soulon et constate une majoration de 20 % environ. Cette durée de fermeture est relativement longue car la conduite sur laquelle l'essai a été effectué est formée de 40 tronçons de même diamètre mais d'épaisseur différente. Pour un premier calcul, on peut diviser cette conduite en deux tronçons ayant les caractéristiques suivantes :

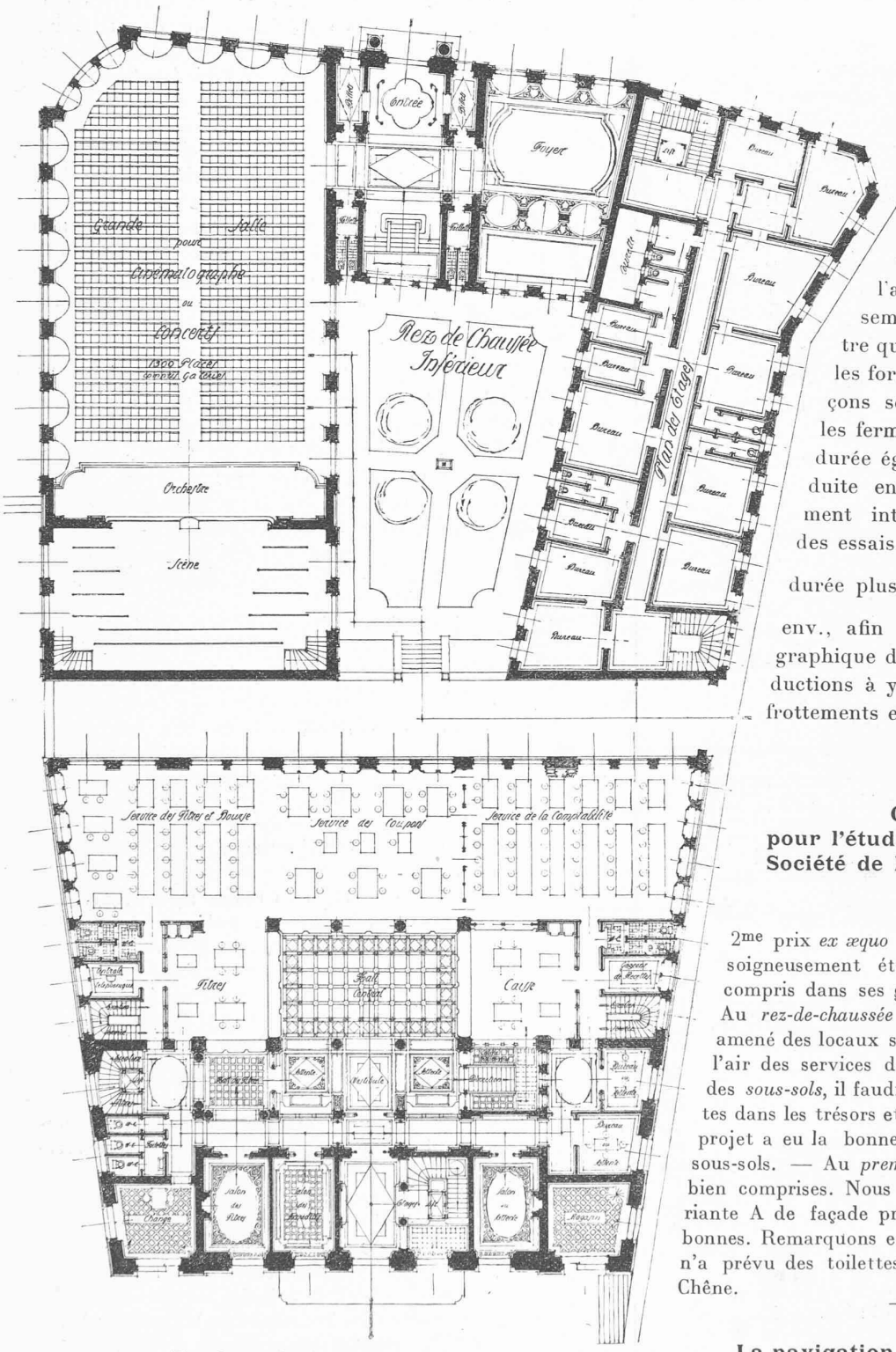
$$\alpha = \frac{982}{1155} = 0{,}85 \text{ d'où } \mu = 0{,}08 \; ; \; \frac{L}{a} = 0{,}502 \text{ sec.}$$

le graphique de la figure 1 donne une majoration f de 37 % environ pour $\mu = 0{,}08$; il est à remarquer que la durée de la fermeture a été un peu plus longue que $\frac{L}{a}$ sec. car elle est de 0,565 sec. au lieu de 0,502 sec. ; en outre, elle n'est pas rigoureusement linéaire. Cependant, il est manifeste que le résultat calculé est trop fort et qu'il convient de remplacer cette conduite, pour

[1] M. de Sparre, répondant à cette question, vient de donner la formule de ce maximum (*Revue Générale de l'Electricité* du 29 nov. 1919).

[2] *Etude théorique et expérimentale des coups de bélier* par Camichel, Eydoux et Gariel.

CONCOURS POUR L'HOTEL DE LA SOCIÉTÉ DE BANQUE SUISSE, A LAUSANNE



Plan du rez-de-chaussée. — 1 : 400.

IIme prix *ex æquo* : projet « Voir Grand » de M. *R. Bonnard*, architecte, à Lausanne.

un calcul plus exact, par une autre, formée de trois tronçons se rapprochant davantage de la conduite réelle. Nous aurons alors :

$$\alpha = \beta = \frac{1060}{1183} = 0{,}896 \quad \text{et} \quad \mu = 0{,}055 = \nu$$

nos graphiques ne donnent pas les majorations produites dans ce cas par des fermetures en $\frac{L}{a}$ sec., mais le calcul effectué ailleurs par M. Gariel, en partant des formules générales, accuse une majoration de 27 % environ [1], alors qu'en réalité elle n'a pas dépassé 20 %. Ce résultat est donc trop fort, mais l'approximation est meilleure ; il semble donc que l'on puisse admettre que les majorations calculées avec les formules des conduites en trois tronçons sont suffisamment exactes, pour les fermetures totales effectuées en une durée égale à la demi-période de la conduite entière. Il serait donc extrêmement intéressant d'être mieux fixé par des essais de fermetures effectuées en une durée plus courte, par exemple en $\frac{2L}{3a}$ sec. env., afin de vérifier les majorations du graphique de la fig. 10 et connaître les réductions à y apporter pour tenir compte des frottements et de la viscosité.

Concours d'idées pour l'étude d'un projet d'hôtel de la Société de Banque Suisse, à Lausanne.

(Suite.) [2]

2me prix *ex æquo* — « *Voir Grand* » — Ce projet est soigneusement étudié ; le plan en est clair et bien compris dans ses grandes lignes.

Au *rez-de-chaussée* nous regrettons que l'auteur ait amené des locaux secondaires qui obstruent le jour et l'air des services de caisse et titres. Pour les plans des *sous-sols*, il faudrait éviter les colonnes encombrantes dans les trésors et coffres en location. L'auteur de ce projet a eu la bonne idée de loger les concierges en sous-sols. — Au *premier étage*, les attentes ne sont pas bien comprises. Nous donnons une préférence à la variante A de façade principale ; les façades latérales sont bonnes. Remarquons en passant qu'aucun des concurrents n'a prévu des toilettes pour les magasins sur le Petit-Chêne. *(A suivre.)*

La navigation intérieure en Suisse [3], en 1919.

Quelque attention que nous devions apporter à l'étude de notre réseau de navigation intérieure, il ne faut pas perdre de vue que le *libre accès à la mer est la condition vitale*

[1] Voir *Etude théorique et expérimentale des Coups de Bélier* par MM. Camichel, Eydoux et Gariel.

[2] Voir *Bulletin technique* du 12 juin 1920, p. 140.

[3] Extrait du rapport de gestion du Service des eaux du Département fédéral de l'Intérieur. Voir *Bulletin technique* du 29 mai 1920, p. 140.