Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 46 (1920)
Heft: 8

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-35765

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 17 Avril 1920 N° 8

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). — *Concours d'idées pour la construction d'une Grande salle et Maison du Peuple, à La Chaux-de-Fonds* (suite). — *Le problème du logement et les systèmes de constructions économiques*, par M. F. Gilliard, architecte. — *Les voies de communication franco-helvétiques*, par M. Georges Hersent, ingénieur. — *Les laitons auto-brisants*. — *La consolidation des chemins de fer des Etats-Unis*. — *Nécrologie :* Philippe Gaillard. — *Groupe genevois de la G. e. P.* — *Fourniture de matériaux pour la Société des nouveaux hôtels de Lyon*. — *Carnet 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.) [1]

Cas où μ n'est pas égal à ν.

Nous venons de donner les graphiques et formules permettant de calculer la valeur maximum du coup de bélier dans le cas où $\mu = \nu$. Les valeurs quelconques de μ et de ν, l'une par rapport à l'autre, exigeront l'emploi des formules générales. Pour faciliter dans ce dernier cas le calcul rapide du coup de bélier maximum de fermeture à l'allure de $\frac{V'}{T}$ m/sec. nous donnons, figure 14, le graphique du coefficient N pour toutes les valeurs de μ et de ν, en admettant que $r'\varphi'_0 = 0{,}25$.

[1] Voir *Bulletin technique* 1920, p. 63.

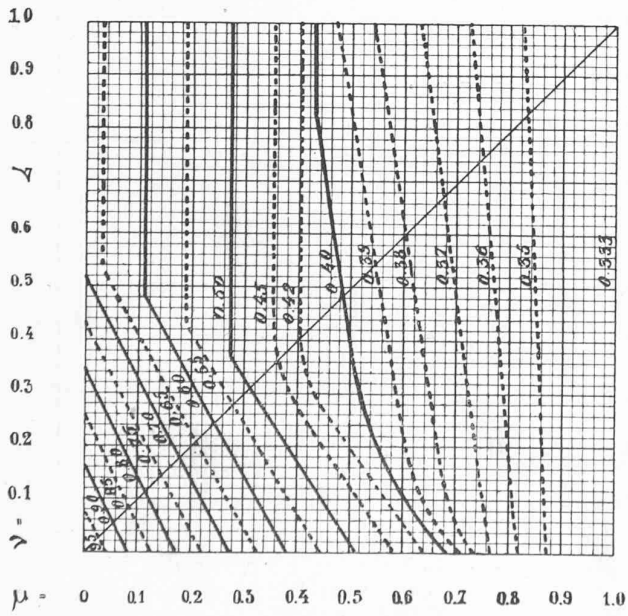


Fig. 14. — Conduites en trois tronçons.
Coefficient N du coup de bélier maximum pour fermeture à l'allure $\frac{V'}{T}$ m/sec.

$$B_m = \frac{6l'V'}{gT} N$$

Comme nous l'avons vu, cette dernière valeur correspond très sensiblement à la moyenne pratique de ce facteur, la courbe limite et théorique $r'\varphi'_0 = 0$ se rapprochant beaucoup de la courbe $r'\varphi'_0 = 0{,}25$ elle-même peu distante de la courbe $r'\varphi'_0 = 0.50$, qui est très rarement utilisée car elle correspond à un coup de bélier maximum qui est voisin de $\mathcal{Y}_0$.

Nous aurons donc la formule générale :

$$(66\ bis) \qquad B_m = \frac{6l'V'}{gT} \cdot N$$

pour toute fermeture effectuée à l'allure de $\frac{V'}{T}$ m/sec. avec $T \geqq \frac{6l'}{a'}$ dans toutes les conduites formées de trois tronçons tels que $\frac{2l'}{a'} = \frac{2l''}{a''} = \frac{2l'''}{a'''}$.

Le graphique général 14 est à deux entrées ; les valeurs μ sont portées sur l'axe horizontal et celles de ν sur l'axe vertical, à la même échelle ; les courbes tracées donnent les valeurs correspondantes du coefficient N.

Calculé avec les éléments de la conduite moyenne, le coup de bélier s'écrira :

$$(66\ ter) \qquad B_m = \frac{2LV}{gT} \frac{3N}{1 + \alpha + \alpha\beta}$$

d) *Fermeture complète en un temps* $T > \frac{6l'}{a'}$ *sec.*

Pour ces fermetures, qui produisent toujours un coup de bélier inférieur aux précédents, il est plus difficile de donner une formule simple, car il faut utiliser la formule 50. Le coup de bélier réel sera inférieur, dans les hautes chutes, à celui calculé avec la formule générale de la conduite moyenne qui peut s'écrire en fonction des éléments du tronçon inférieur :

$$(67) \qquad B = \frac{2l'V'}{gT} \frac{1 + \alpha + \alpha\beta}{1 + \left(\frac{a'V'}{6g\gamma_0} - \frac{l'V'}{gT\gamma_0}\right)(1 + \alpha + \alpha\beta)}$$

cette formule, plus simple, donnera un maximum non atteint lorsque $r'\varphi'_0$ est < 1.

Pour les basses chutes, avec $r'\varphi'_0 > 1$., la fermeture complète ayant lieu au bout d'un grand nombre de périodes, on pourra prendre la formule générale des conduites à caractéristique unique qui s'écrira :

(68) $$B = \frac{2l'V'}{gT} \frac{1 + \varkappa + \varkappa\beta}{2 - \frac{l'V'}{gT\gamma_0}(1 + \varkappa + \varkappa\beta)}$$

e) *Ouverture en* $\frac{2l'}{a'}$ *sec. à partir de la vanne fermée.*

Le coup de bélier maximum *négatif* d'ouverture est donné à la fin de la première période par (formule 48) :

(69) $$B_1 = \frac{a'\varphi'_1}{g} \frac{-1}{1 + r'\varphi'_1} = \frac{a'\varphi'}{g}\sigma_1$$

ou, en fonction de V' et T, pour une ouverture effectuée à la vitesse de $\frac{V'}{T}$ m/sec. avec $T \geqq \frac{2l'}{a'}$:

(70) $$B_1 = \frac{2l'V'}{gT} \frac{-1}{1 + \frac{l'V'}{gT\gamma_0}} \quad \text{avec} \quad r'\varphi'_1 = \frac{l'V'}{gT\gamma_0}$$

Pour la valeur limite $r'\varphi'_1 = 0$ le coup de bélier sera $-\frac{a'\varphi'_1}{g}$ et subira la majoration φ ; on aura donc une majoration sensible pour les très petites valeurs de $r'\varphi'_1$.

Le coup de bélier maximum *positif*, consécutif à la dépression, se produira suivant les cas aux temps $2\vartheta'$, $3\vartheta'$ ou $4\vartheta'$ et sera donné par les formules correspondantes 41, 42 et 43.

f) *Ouverture en* $\frac{4l'}{a'}$ *sec. à partir de la vanne fermée.*

Le coup de bélier *négatif*, maximum au moment de l'arrêt de la vanne, est donné au temps $\frac{4l'}{a'}$ sec. par :

(71) $$B_2 = \frac{a'\varphi'_2}{g} \frac{2\mu - (2 + r'\varphi'_2)}{(1 + r'\varphi'_2)(2 + r'\varphi'_2)} = \frac{a'\varphi'_2}{g}\gamma_2$$

Le coup de bélier *positif* maximum, consécutif à la dépression, sera donné par les formules 42 et 43.

Remarquons encore que $\frac{a'\varphi'_2}{g} = \frac{4l'V'}{gT}$ pour les ouvertures à la vitesse de $\frac{V'}{T}$ m/sec. avec $T \geqq \frac{4l'}{a'}$ et que $r'\varphi'_2 = \frac{2l'V'}{gT\gamma_0}$.

g) *Ouverture en* $\frac{6l'}{a'}$ *sec. à partir de la vanne fermée.*

Le coup de bélier maximum *négatif* est donné, soit au temps $\frac{2l'}{a'}$, soit au temps $\frac{6l'}{a'}$ et aura pour valeur au temps ϑ' :

(72) $$B_1 = \frac{a'\varphi'_3}{g} \frac{-1}{3 + r'\varphi'_3} = \frac{a'\varphi'_3}{g}\delta_1$$

qui donne la même valeur que la formule 69 dans laquelle $\varphi'_1 = \frac{\varphi'_3}{3}$: et, au temps $3\vartheta'$ sec. avec $\varkappa = 3$

(73) $$B_3 = \frac{a'\varphi'_3}{g}\left\{\frac{-1}{3(1 + r'\varphi'_3)}\left[3 - \frac{4\mu\varkappa}{1 + \varkappa}\right.\right.$$
$$\left.\left. - \mu - \frac{2\mu}{1 + \varkappa}(3 - 2\varkappa r'\varphi'_3)\left(\frac{2(3 + r'\varphi'_3) - 6\mu}{(3 + 2r'\varphi'_3)(3 + r'\varphi'_3)}\right) - \mu\frac{3 - r'\varphi'_3}{3 + r'\varphi'_3}\right]\right\}$$
$$= \frac{a'\varphi'_3}{g}\delta_3$$

en remarquant que $\frac{a'\varphi'_3}{g}$ peut s'écrire $\frac{6l'V'}{gT}$ pour des ouvertures à l'allure de $\frac{V'}{T}$ m/sec. et $T \geqq \frac{6l'}{a'}$, nous aurons :

(74) $$B_1 = \frac{6l'V'}{gT} \cdot \delta_1 \quad \text{et} \quad B_3 = \frac{6l'V'}{gT}\delta_3 \qquad (75)$$

les formules 69 et 71, peuvent dans les mêmes conditions, se mettre sous la forme :

(76) $$B_1 = \frac{6l'V'}{gT} \cdot \frac{\sigma_1}{3} \quad \text{et} \quad B_2 = \frac{6l'V'}{gT}\frac{2\gamma_2}{3} \qquad (77)$$

et nous pourrons, sur un même graphique, figure 15, porter les courbes $\frac{\sigma_1}{3}$, $\frac{2}{3}\gamma_2$ et δ_3, de manière à obtenir de suite le coup de bélier maximum négatif d'ouverture à l'allure de $\frac{V'}{T}$ m/sec. Ces coefficients peuvent s'écrire en fonction de φ'_3 :

$$\frac{\sigma_1}{3} = \frac{-1}{3 + r'\varphi'_3} = \delta_1$$

et :
$$\frac{2\gamma_2}{3} = \frac{6\mu - 2(3 + r'\varphi'_3)}{(3 + 2r'\varphi'_3)(3 + r'\varphi'_3)}$$

Nous aurons alors la formule unique :

(78) $$B_m = \frac{6l'\varphi'}{gT} S \quad \text{avec} \quad r'\varphi'_3 = \frac{3l'V'}{gT\gamma_0} \quad \text{et} \quad T \geqq \frac{6l'}{a'}$$

On remarque, d'après ces courbes, que si les diamètres sont très différents, $\mu > 0{,}5$, le coup de bélier

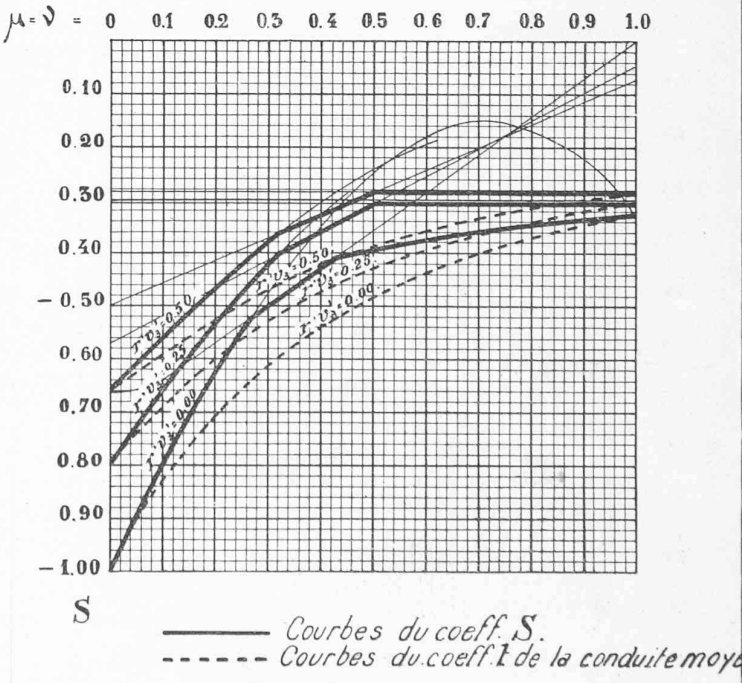


Fig. 15. — Conduites en trois tronçons avec $\mu = \nu$.
Coefficient S du coup de bélier maximum d'ouverture à l'allure $\frac{V'}{T}$ m/sec.

$$B = \frac{6l'V'}{gT} S$$

maximum est donné par δ_1 et se produit au temps $\frac{2l'}{a'}$ sec. : par contre, si les diamètres sont peu différents, μ compris entre 0,7 et 0,5, le maximum négatif se produira au temps $\frac{4l'}{a'}$ avec le coefficient $\frac{2}{3}\gamma_2$ et enfin, pour des diamètres égaux ou très peu différents, le maximum négatif se produit au temps $\frac{6l'}{a'}$ avec le coefficient δ_3.

Dans la *conduite moyenne*, le coup de bélier négatif maximum d'ouverture sera en fonction des éléments du tronçon inférieur :

$$(79) \qquad \xi = \frac{a'\varphi'_3}{g}\,\frac{-(1+\alpha+\alpha\beta)}{3+r'\varphi'_3(1+\alpha+\alpha\beta)} = \frac{a'\varphi'_3}{g}\cdot t$$

et nous pouvons tracer sur la figure 15, les courbes t pour les valeurs $r'\varphi'_3 =$ zéro, 0,25 et 0,50.

Le coup de bélier réel peut aussi être calculé avec les éléments de la conduite moyenne par la formule :

$$(80) \qquad B_m = \frac{2LV}{gT}\,\frac{3S}{1+\alpha+\alpha\beta}.$$

Le coup de bélier *positif* maximum consécutif à la dépression produite par une ouverture en $3\vartheta'$ sec., se produira aux temps $4\vartheta'$, $5\vartheta'$ en $6\vartheta'$ et sera donné par la formule générale 51.

Nous n'avons pas tracé de graphique pour la valeur du coup de bélier positif consécutif à une dépression.

h) *Transmission du coup de bélier à chacune des jonctions dans le cas où* $\vartheta' = \vartheta'' = \vartheta'''$ *et* $\alpha = \beta$.

Monsieur de Spare a donné la formule générale de la transmission du coup de bélier à chacune des jonctions. Nous écrirons ces formules en fonction de la vitesse et de l'effort produit en fin de période.

A la première jonction (inférieure) à la fin de la n^e période on aura :

$$(81) \qquad H_n = \frac{a'}{2g}(\varphi'_{n+1} - \varphi'_n) + \frac{1}{2}(B_n + B_{n+1}) - \frac{a'}{4g\gamma_0}(\varphi'_n B_n - \varphi'_{n+1}B_{n+1})$$

Si la fermeture est totale, φ'_{n+1} et φ'_n sont nuls et le coup de bélier sera :

$$(82) \qquad H_n = \frac{1}{2}(B_n + B_{n+1})$$

Si on considère le coup de bélier à la *seconde jonction*, (supérieure) on aura :

$$(83) \qquad K_n = \frac{1+\alpha}{2}\,\frac{a'}{2g}(\varphi'_{n+2} - \varphi'_n) + \frac{1+\alpha}{4}(B_n + B_{n+2}) - \frac{1+\alpha}{4}\,\frac{a'}{2g\gamma_0}(\varphi'_n B_n - \varphi'_{n+2}B_{n+2}) + \frac{1-\alpha}{2}B_{n+1}$$

et si la fermeture est totale :

$$(84) \qquad K_n = \frac{1+\alpha}{4}(B_n + B_{n+2}) + \frac{1-\alpha}{2}B_{n+1}$$

Dans le cas d'une fermeture totale en un temps inférieur ou au plus égal à ϑ' sec. M. de Sparre donne les formules générales suivantes :

$$(85) \qquad H'_n = (-1)^{n-1}\,\frac{a'\varphi'_0}{g}\,\frac{\alpha(1+\beta)}{\sqrt{\alpha+\beta+\alpha\beta}}\sin n\lambda$$

avec $$\sin^2\frac{\lambda}{2} = \frac{\alpha+\beta+\alpha\beta}{(1+\alpha)(1+\beta)}$$

et pour la seconde jonction :

$$(86) \qquad K'_n = (-1)^{n-1}\,\frac{a'\varphi'_0}{g}\,\frac{\alpha\beta}{\alpha+\beta+\alpha\beta}\left[1 - \sqrt{(1+\alpha)(1+\beta)}\cos(2n+1)\frac{\lambda}{2}\right]$$

Ces deux formules donnent la transmission du coup de bélier de fermeture brusque, transmission qui n'est plus intégrale comme dans les conduites à caractéristiques unique.

Pour terminer, nous prendrons un exemple numérique :

1er tronçon $l' = 445$ m. $a' = 1220$ m/sec. $d' = 0^{m},50$
2e » $l'' = 400$ m. $a'' = 1095$ m/sec. $d'' = 0^{m},60$
3e » $l''' = 355$ m. $a''' = 972$ m/sec. $d''' = 0^{m},72$

$\gamma_0 = 510$ m., $V' = 6^{m},50$ dans le tronçon inférieur et $T = 6,57$ sec. Nous avons choisi les tronçons de manière que $\vartheta' = \vartheta'' = \vartheta''' = 0^{sec},73$; la période de la conduite entière sera donc de $3 \times 0,73 = 2,19$ sec.

Nous aurons $\alpha = \beta = 0,625$ et $\mu = \nu = 0,232$.

Le coup de bélier maximum de fermeture à la vitesse de $\frac{V'}{T}$ m. : par seconde calculé au moyen du graphique de la figure 11 pour

$$r'\varphi'_0 = \frac{3l'V'}{gT\gamma_0} = \frac{3 \times 445 \times 6,50}{9,8 \times 6,57 \times 510} = 0.264.$$

nous trouvons : $M = 0,53$, le coup de bélier maximum de fermeture sera donc (formule 65) :

$$B_m = \frac{6 \times 445 \times 6,50}{9,8 \times 6,57} \times 0,53 = 270 \times 0,53 = 143 \text{ m.}$$

Ce maximum a lieu sous le coefficient Δ et provient de la fermeture en $2\vartheta'$ secondes. Le coup de bélier Michaud de la conduite moyenne aurait pour valeur, formule 66 :

$$B = \frac{6l'V'}{gT}\,\frac{1+\alpha+\alpha^2}{3} = 270 \times 0,67 = 181 \text{ m.}$$

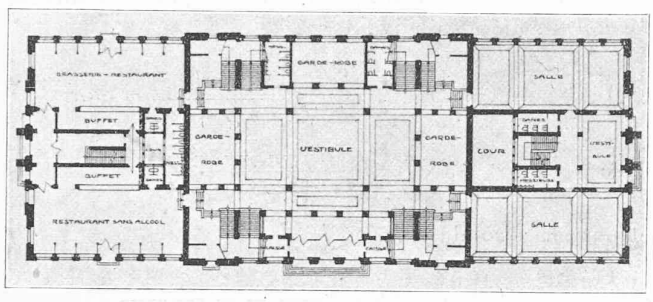
Le coup de bélier réel est donc inférieur de 21 %.

Si la fermeture complète de V' à zéro s'effectuait en un temps au plus égal à ϑ' sec. soit en 0,75 secondes, le coup de bélier deviendrait, d'après la formule 57 avec $\varphi = 1,38$ et $\varphi'_0 = V'$:

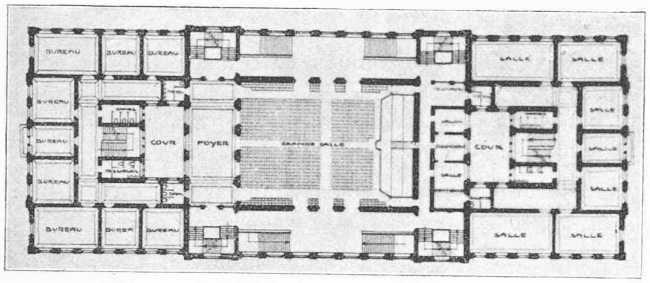
$$B = \frac{1220 \times 6,50}{9,8} \times 1,38 = 1115^{m.}$$

il aurait été de 810 m. seulement sans la majoration φ de 38 % qui se produit après la fermeture. Cet effort

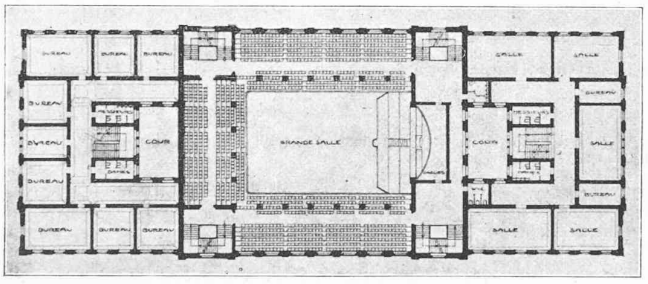
CONCOURS POUR GRANDE SALLE ET MAISON DU PEUPLE A LA CHAUX-DE-FONDS



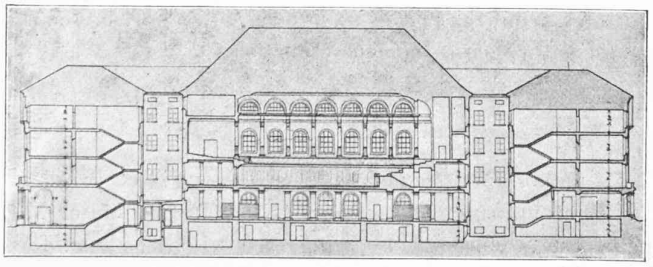
Plan du rez-de-chaussée.



Plan du 1er étage.



Plan du 2e étage.



Coupe longitudinale.

est plus du double de la charge statique[1] et se transmet comme suit dans la conduite : à la première jonction, la formule 85 donne pour $\alpha = \beta = 0{,}625$:

$$\lambda = 51°50' \quad n = 5$$

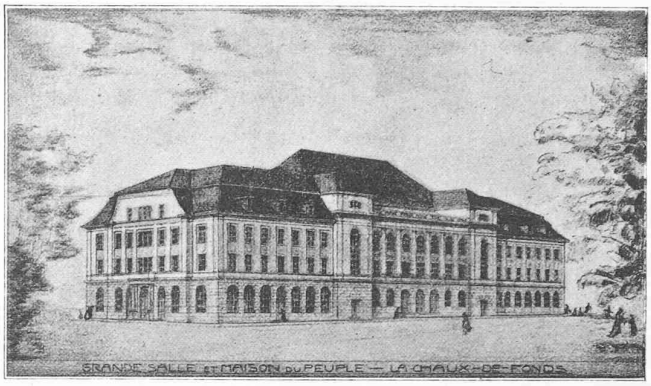
$$H' = 1115 \times 0{,}793 \times 0{,}982 = 870 \text{ m.}$$

et à la seconde jonction avec $n = 11$:

$$K' = 1115 \times 0{,}238\ (1 + 1{,}625 \times 0{,}997) = 720 \text{ m.}$$

Le changement de diamètres améliore beaucoup la

[1] Cet effort dépasse les limites fixées pour l'application des formules, mais fait ressortir l'importance relative du coup de bélier de fermeture brusque.



Perspective.

IIIe prix : projet « Progrès », de M. *E. Rehfuss*, architecte, à Zurich.

transmission du coup de bélier de fermeture brusque.

Passant maintenant aux ouvertures, on trouve que le maximum négatif sera, d'après le graphique de la figure 13 qui renvoie à la formule 78 avec :

$$r'\varphi'_3 = 0{,}264$$

$$\mu = 0{,}232$$

et avec $S = -0.50$

$B_2 = -270 \times 0{,}50 = -135$ m. environ, tandis que le coup de bélier dans la conduite moyenne atteint d'après la formule 79 :

$$\xi = 270 \times -0{,}57 = -154 \text{ m. environ.}$$

(A suivre.)

Concours d'idées pour la construction d'une Grande salle et Maison du peuple, à La Chaux-de-Fonds.

(Suite)[1]

3e prix: (Progrès). Plan nettement divisé en trois parties, correspondant aux trois principaux éléments du programme. Dégagement et escaliers satisfaisants. Restaurants bien placés. Façades sans caractère. Toiture compliquée. Terrasse ne convient pas au climat de même que les courettes couvertes.

4e prix (Pour tous). Grand vestibule aux escaliers un peu éloignés de l'entrée. Les bureaux au rez-de-chaussée occupent un emplacement qui pourrait, avec avantage, recevoir une autre destination. Les salles de sociétés sont bien groupées avec accès spéciaux. La brasserie et le restaurant sont trop à l'écart. La salle avec promenoir est bien composée. L'architecture est bien ordonnée dans le caractère qui convient à ce genre d'édifice. *(Voir reproduction aux pages 88 et 89.)*

Le problème du logement et les systèmes de constructions économiques [2].

par M. F. Gilliard, architecte.

Messieurs,

Je tiens, en premier lieu, à féliciter notre comité d'avoir songé à provoquer une discussion, qui, je l'espère, sera fruc-

[1] Voir *Bulletin technique* 1920, p. 66.

[2] Causerie faite à la séance du 19 janvier 1920 de la Société vaudoise des Ingénieurs et Architectes.