

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 46 (1920)  
**Heft:** 5

**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-35756>

### **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:** 02.02.2025

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

base absolument impartiale pour la détermination des prix.

Généralement l'ouvrier, méfiant d'abord, ne tarde pas à reconnaître l'avantage pour lui de ces bases impartiales.

En outre, le fait que désormais il est récompensé spécialement s'il atteint une tâche déterminée, tâche juste et dont l'accomplissement ne l'épuisera pas, est un stimulant puissant.

Puis l'exactitude de l'étude du prix exclut la nécessité de le réviser ensuite, de « couper les prix » comme disent les Anglais.

L'ouvrier sait qu'il peut donner son plein sans risques pour lui et ses camarades.

Avant et pendant la guerre, on a usé et abusé du système de primes à la production, l'appliquant à tort et à travers sans étudier d'abord à fond la tâche demandée.

Dans certains ateliers, l'ouvrier faisait un labeur presque surhumain, certainement préjudiciable à sa santé, sur des machines mal adaptées au travail, mal équipées dans des conditions sanitaires exécrables.

Répetons-le, il ne faut pas confondre ces méthodes-là avec le système Taylor. (A suivre.)

## 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.)<sup>1</sup>

### 6. Intensité du coup de bélier au point de jonction des deux tronçons.

Dans le cas d'une conduite formée de deux tronçons tels que  $\frac{2l'}{a'} = \frac{2l''}{a''}$ , M. de Sparre a donné pour la valeur H du coup de bélier transmis à la jonction des deux tronçons au temps  $n + \frac{g'}{2}$  sec., en considérant, au vannage, les coups de bélier en fin de période n :

$$(41) \quad H_{n+\frac{g'}{2}} = \frac{a'}{2g} (v'_{n+1} - v'_n) + \frac{1}{2} (B_n + B_{n+1}) - \frac{a'}{4g\gamma_0} (B_n v'_n - B_{n+1} v'_{n+1})$$

en désignant par  $v'$  la vitesse dans le tronçon inférieur et B la valeur du coup de bélier au vannage à l'instant des vitesses  $v'$ , soit aux temps  $t_{n+g'}$  et  $t_n$ .

Si, en particulier, on cherche la transmission du coup de bélier après la fermeture totale, on aura :

$$v'_n = v'_{n+1} = 0$$

et :

$$(42) \quad H_{n+\frac{g'}{2}} = \frac{1}{2} (B_n + B_{n+1})$$

Pour une fermeture complète en un temps  $\leq g'$  sec.,  $\left(\frac{2l'}{a'}\right)$ , la valeur du coup de bélier à la jonction est donnée par :

$$(43) \quad H_{n+\frac{g'}{2}} = (-1)^{n-1} \frac{a'v'_0}{g} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \sin n\beta$$

en posant :  $\cos \beta = \mu$ .

Il résulte de ces formules que la transmission du coup de bélier de fermeture effectuée en un temps  $\leq \frac{4l'}{a'}$  n'est plus régulièrement linéaire comme dans les conduites à caractéristique unique, mais que  $\frac{1}{2} (B_n + B_{n+1})$

peut être plus grand que  $\frac{B_n l''}{L}$  ou que  $\frac{B_{n+1} l''}{L}$ .

En particulier, dans l'exemple de la figure 4 on a pour  $H_{14+\frac{g'}{2}}$  :

$$H_{14+\frac{g'}{2}} = \frac{1}{2} (114,4 + 72,8) = 93\text{m},60$$

alors que la transmission linéaire du coup de bélier maximum de fermeture en  $2g'$  sec. donne à la jonction :

$$B_j = \frac{170 \times 534}{1200} = 77\text{m},40$$

L'effort réel en ce point dépasse donc de 20 % celui de la transmission linéaire.

Par contre, dans le cas de fermeture en  $\frac{2l'}{a'}$  sec., le coup de bélier à la jonction est diminué par suite du changement des diamètres. En effet, dans une conduite de diamètre constant  $d'$ , le coup de bélier  $\frac{a'v'_0}{g}$  transmis intégralement jusqu'au milieu et de là linéairement jusqu'au point correspondant à la jonction, serait en cet endroit :

$$B_j = \frac{a'v'_0}{g} \times \frac{2l''}{L}$$

tandis qu'il est en réalité donnée par la formule (43).

Dans l'exemple de la figure 2, si la conduite était, sur toute sa longueur, de diamètre  $d' = 0,50$  et d'épaisseur constante, le coup de bélier serait à l'endroit de la jonction :

$$B_j = \frac{1220 \times 1,08}{9,8} \cdot \frac{2 \times 534}{1200} = 120\text{m}$$

mais il sera en réalité : avec  $d' = 0,50$  et  $d'' = 0,60$ , et  $\cos \beta = 0,284$  :

$$H = 134,50 \times 0,747 \times 0,999 = 100\text{m},45$$

pour  $n = 11$ . Il est donc près de 20 % plus faible.

On pourra admettre la transmission linéaire de cet effort entre le vannage (134m,50) et la jonction (100m,45) et entre cette dernière et la chambre de mise en charge où le coup de bélier devient nul.

<sup>1</sup> Voir Bulletin technique N° du 24 janvier 1920, p. 21.

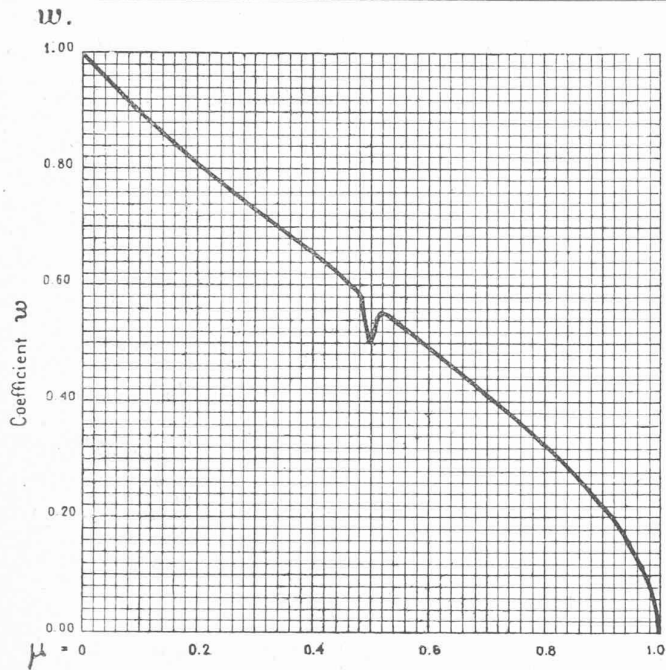


Fig. 8. — Conduites en deux tronçons.

Coefficient  $w$  du coup de bélier à la jonction pour fermeture en  $\frac{2l'}{a'}$  sec.

La figure 8 représente la courbe  $W$  pour les valeurs de  $\mu$  :

$$W = \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \sin n\beta$$

et le coup de bélier sera à la jonction, pour la fermeture en  $\frac{2l'}{a'}$  sec. :

$$(44) \quad H = \pm \frac{a'v'_0}{g} \cdot W$$

formule qui peut aussi s'écrire pour les fermetures linéaires à l'allure  $\frac{V'}{T}$  m. par sec. :

$$(45) \quad H = \pm \frac{2l'V'}{g \cdot T} \cdot W.$$

L'exemple de la figure 4 donne à la jonction, pour une fermeture en  $\frac{2l'}{a'}$  sec. :

$$H = 124,50 \times 1,08 \times 0,64 = 86^m$$

avec le coefficient  $W = 0,64$  du graphique 8. Cet effort est inférieur à celui produit par la fermeture en  $2\frac{2l'}{a'}$ , qui atteint  $93^m,60$ , comme nous venons de le voir.

En résumé, on peut s'attendre à trouver une surpression importante à la jonction, la formule 42 pouvant donner un résultat supérieur à celui de la formule 43.

## II

### Conduites formées de trois tronçons.

Les formules générales données par M. de Sparre<sup>1</sup> pour les conduites formées de trois tronçons de dimensions quelconques sont d'une utilisation très difficile :

<sup>1</sup> Bulletin spécial, n° 2, de la Société hydrotechnique de France.

ces formules se simplifient cependant lorsqu'on remplace, pour le calcul, la conduite donnée par une autre formée de trois tronçons ayant des rapports déterminés les uns par rapport aux autres. Nous examinerons les trois cas suivants :

1° Les trois tronçons sont tels que la vitesse de propagation est la même dans chaque tronçon ; donc  $\zeta' = \zeta'' = \zeta'''$ .

2° Les deux tronçons inférieurs sont identiques et la période  $\zeta' + \zeta'' = 2\zeta'''$  ; donc  $\alpha = 1$ .

3° Les deux tronçons supérieurs sont identiques et la période  $2\zeta' = \zeta'' + \zeta'''$  ; donc  $\beta = 1$ .

Avec ces simplifications et pour des fermetures linéaires, on pourra obtenir assez facilement la valeur du coup de bélier maximum de fermeture ou d'ouverture et comparer les résultats trouvés avec ceux qui seraient obtenus en remplaçant la conduite formée de trois tronçons par une conduite moyenne à caractéristique unique.

1° Conduites formées de trois tronçons tels que  $\zeta' = \zeta'' = \zeta'''$ .

il en résulte : 
$$\frac{2l'}{a'} = \frac{2l''}{a''} = \frac{2l'''}{a'''}$$

posons :

$$(46) \quad \alpha = \frac{a''}{a'} \cdot \left(\frac{d'}{d''}\right)^2 \quad \text{et} \quad \beta = \frac{a'''}{a''} \cdot \left(\frac{d''}{d'''}\right)^2$$

en appelant :  $l', v', a', d'$  la longueur, la vitesse, la vitesse de propagation et le diamètre relatifs au tronçon inférieur,  $l'', v'', a'', d''$  les mêmes éléments du tronçon du milieu, et  $l''', v''', a''', d'''$  ceux du tronçon supérieur ; posons encore :

$$(47) \quad \mu = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \quad \text{et} \quad \nu = \frac{1 - \beta}{1 + \beta}$$

nous admettrons pour simplifier le calcul des graphiques que  $\alpha = \beta$  et par conséquent que  $\mu = \nu$ .

Rappelons, ici, les formules générales de M. de Sparre, ramenées à un mouvement linéaire de variation de vitesse par unité de temps, et aux vitesses de l'eau dans la conduite ; elles donnent la valeur du coup de bélier dans les diverses périodes  $\frac{2l'}{a'}$  sec.

1<sup>re</sup> période,  $T \leq \frac{2l'}{a'}$  :

$$(48) \quad B_1 = \frac{a'}{g} \frac{v'_0 - v'_1}{1 + r'v'_1} \quad \text{avec} \quad r' = \frac{a'}{2gJ'_0}$$

2<sup>e</sup> période,  $\frac{2l'}{a'} < T \leq \frac{4l'}{a'}$  :

$$(49) \quad B_2 = \frac{a'}{g} \times \frac{v'_0 - v'_2 - \mu(v'_0 - v'_1)}{1 + r'v'_2} - \mu \frac{1 - r'v'_1}{1 + r'v'_2} B_1$$

3<sup>e</sup> période,  $\frac{4l'}{a'} < T \leq \frac{6l'}{a'}$  :

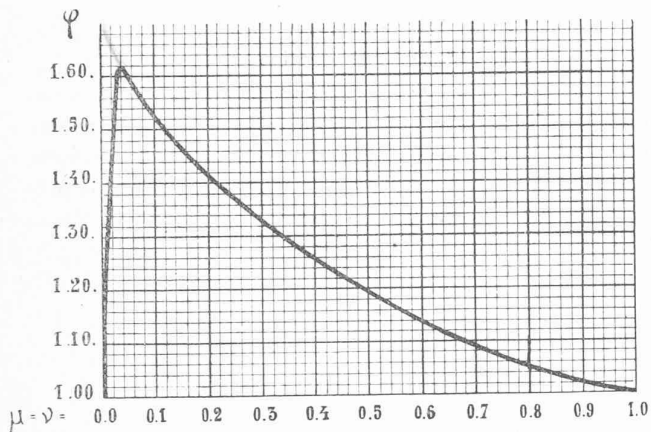


Fig. 9. — Conduites en trois tronçons avec  $\mu = \nu$   
Coefficient  $\varphi$  de majoration du coup de béliet de fermeture en  $\frac{2l'}{a}$  sec.

$$(50) \quad B_3 = \frac{a'}{g(1+r'\rho'_3)} \left[ \frac{4\alpha\beta\rho'_0}{(1+\alpha)(1+\beta)} - \rho'_3 + \frac{2\mu\beta}{(1+\beta)}\rho'_2 + \nu\rho'_1 \right] - \frac{2\mu}{(1+\beta)} \frac{1-\beta r'\rho'_2}{1+r'\rho'_3} B_2 - \nu \frac{1-r'\rho'_1}{1+r'\rho'_3} B_1$$

4<sup>e</sup> période,  $\frac{6l'}{a'} < T \leq \frac{8l'}{a'}$  :

$$(51) \quad B_4 = \frac{a'}{g(1+r'\rho'_4)} \left\{ \rho'_1 - \rho'_4 + (\rho'_2 - \rho'_3) \left[ 1 - \frac{4\beta}{(1+\alpha)(1+\beta)} \right] \right\} - \frac{1-r'\rho'_1}{1+r'\rho'_4} B_1 - \left[ \frac{4}{(1+\alpha)(1+\beta)} - 1 \right] \frac{B_2 + B_3}{1+r'\rho'_4} - r' \left[ 1 - \frac{4\beta}{(1+\alpha)(1+\beta)} \right] \left( \frac{\rho'_3 B_3 - \rho'_2 B_2}{1+r'\rho'_4} \right)$$

et ainsi de suite, les périodes suivantes étant semblables à  $B_4$ . Si la fermeture complète a lieu à la fin de la période  $n$ , nous aurons dès la période  $n + 3$  :

$$(52) \quad B_{n+3} = -B_n - \left[ \frac{4}{(1+\alpha)(1+\beta)} - 1 \right] (B_{n+1} + B_{n+2})$$

La *conduite moyenne* à caractéristique unique, pouvant éventuellement remplacer, pour le calcul, la conduite en trois tronçons, devra avoir le même débit et la même force vive ; ses éléments seront :

$$L = l' + l'' + l'''$$

$$\frac{2L}{a} = 2 \left( \frac{l'}{a'} + \frac{l''}{a''} + \frac{l'''}{a'''} \right)$$

$$(53) \quad a = \frac{L}{\frac{l'}{a'} + \frac{l''}{a''} + \frac{l'''}{a'''}}$$

$$(54) \quad \rho = \frac{l'\rho' + l''\rho'' + l'''\rho'''}{L} = \frac{\rho'l'}{L} (1 + \alpha + \alpha\beta)$$

$$D = d' \sqrt{\frac{\rho'}{\rho}}$$

Les formules générales 48 à 52 se simplifient lorsque  $\alpha = \beta$ .

Examinons ce que devient le coup de béliet maximum dans la conduite en trois tronçons et comparons les résultats obtenus avec ceux donnés par la conduite moyenne.

a) *Fermeture complète en  $\frac{2l'}{a'}$  secondes.*

L'intensité du coup de béliet au moment de la fermeture est donnée par la formule 48 avec  $\rho'_1 = 0$  ; elle est donc :

$$B_1 = \frac{a'\rho'_0}{g}$$

car le tronçon inférieur est seul intéressé.

Après la fermeture, les autres tronçons interviennent et nous voyons croître la valeur du coup de béliet, comme dans les conduites formées de deux tronçons. M. de Sparre en a donné la valeur maximum par :

$$(55) \quad B_m = (-1)^{n-1} \frac{a'\rho'_0}{g} \left[ \frac{\beta}{\alpha + \beta + \alpha\beta} + \frac{\alpha(1+\beta)\sqrt{(1+\alpha)(1+\beta)}}{\alpha + \beta + \alpha\beta} \times \cos(2n-1)\frac{\lambda}{2} \right]$$

$$\text{avec} \quad \cos^2\left(\frac{\lambda}{2}\right) = \frac{1}{(1+\alpha)(1+\beta)}$$

La figure 9 représente la courbe du coefficient de cette majoration  $\varphi$  pour toutes les valeurs de  $\mu$ , en admettant  $\alpha = \beta$  et la figure 10 donne le coefficient  $\varphi$  pour toutes les valeurs de  $\mu$  et de  $\nu$ . Le coup de béliet maximum de fermeture complète en  $\frac{2l'}{a'}$  secondes sera donné par la formule simple :

$$(56) \quad B_1 = \frac{a'\rho'_0}{g} \varphi$$

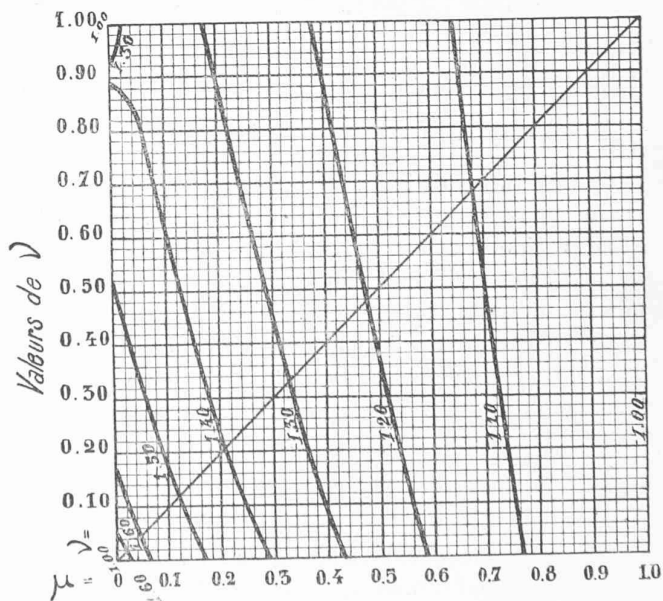


Fig. 10. — Conduites en trois tronçons  
Coefficient  $\varphi$  de majoration pour la fermeture en  $\frac{2l'}{a}$  sec.

$$B = \frac{a\rho_0}{g} \varphi$$

ou encore, en fonction de  $V'$ , vitesse dans le tronçon inférieur pour le distributeur complètement ouvert et de  $T$ , durée totale de fermeture de  $V'$  à zéro à l'allure de  $\frac{V'}{T}$  m/sec. et pour  $T \geq \frac{2l'}{a'}$ :

$$(57) \quad B_1 = \frac{2l'V'}{gT} \varphi$$

Dans les conduites en deux tronçons, la majoration est de 38 0/0; ici, la valeur maximum de  $\varphi$  atteint 62 0/0 pour  $\alpha = \beta = 0,92$  et  $\mu = \nu = 0,042$ , par conséquent pour des conduites de diamètre constant mais formées de trois tronçons d'épaisseur différente. La différence des diamètres diminue la majoration qui n'est plus que 19 0/0 pour  $\mu = 0,5$ . Le rapport des diamètres étant généralement voisin de  $\frac{4}{5}$  la majoration oscille entre 30 et 40 0/0, lorsque  $\alpha = \beta$ .

Dans la *conduite moyenne*, le coup de bélier de fermeture aurait été  $\frac{av_0}{g}$ ; en remplaçant  $a$  et  $v$  par les valeurs tirées de (53) et (54), il sera, en fonction des éléments du tronçon inférieur:

$$(58) \quad B = \frac{a'v_0'}{g} \times \frac{1 + \alpha + \alpha\beta}{3}$$

En admettant  $\alpha = \beta = 0,92$ , l'un des cas donnant le maximum de la majoration, le coup de bélier atteindra

$$B = \frac{a'v_0'}{g} \cdot 0,922$$

Le coup de bélier réel étant  $\frac{a'v_0'}{g} \times 1,62$ , la majoration, par rapport au coup de bélier de la conduite moyenne, est de  $\frac{1,62}{0,922} = 1,75$  soit 75 0/0. Pour d'autres valeurs, par exemple:  $\alpha = \beta = 0,5$  d'où  $\mu = \nu = 0,33$ , le coup de bélier de la conduite moyenne devra être majoré de  $\frac{1,30}{0,584} = 2,22$  et sera plus que doublé.

La majoration de 75 0/0, rappelée par M. Gariel<sup>1</sup> pour les fermetures brusques dans les conduites à caractéristiques variables mais de diamètre constant, n'est donc pas un maximum qu'il faut appliquer à toutes les conduites formées de tronçons différents, car il correspond seulement au cas particulier de  $\mu = 0,04$ . Le tableau suivant donne le coefficient de la majoration, par rapport à la conduite moyenne, pour quelques valeurs de  $\mu$ , coefficient qui est, avec  $\alpha = \beta$ :

	$\frac{3\varphi}{1 + \alpha + \alpha^2}$
$\mu = 0,04$	majoration : 1,75
$\mu = 0,20$	» 2,00
$\mu = 0,40$	» 2,33
$\mu = 0,60$	» 2,66
$\mu = 1,00$	» 3,00

<sup>1</sup> Revue Générale de l'Electricité, du 21 septembre 1918.

On voit, par ce tableau sommaire, que cette majoration devient très importante et bien supérieure à 75 0/0, lorsque les diamètres des tronçons sont très différents. Il est donc plus prudent de calculer directement la valeur du coup de bélier réel, avec les éléments de la conduite en trois tronçons (formules 56 et 57), en faisant complètement abstraction de la conduite moyenne, ou alors d'utiliser la formule:

$$\frac{av_0}{g} \cdot \frac{3\varphi}{1 + \alpha + \alpha\beta}$$

b) *Fermeture complète en  $\frac{4l'}{a'}$  secondes.*

Le coup de bélier de fermeture complète en  $\frac{4l'}{a'}$  sec. est donné au temps  $2\theta'$  sec. par la formule 49, qui peut s'écrire avec  $v_2' = 0$  et  $v_1' = \frac{v_0'}{2}$  pour fermeture linéaire:

$$(59) \quad B_2 = \frac{a'v_0'}{g} \cdot \frac{2 + r'v_0' - 2\mu}{2 + r'v_0'}$$

ou:

$$(60) \quad B_2 = \frac{a'v_0'}{g} \Delta$$

ou encore, pour une fermeture effectuée à l'allure  $\frac{V'}{T}$  m/sec. avec  $T \geq \frac{4l'}{a'}$  sec.

$$(61) \quad B_2 = \frac{4l'V'}{gT} \Delta \quad \text{dans laquelle } r'v_0' = \frac{2l'V'}{gT} \gamma_0$$

Remarquons qu'à partir de  $\mu > 0,5$ , le coup de bélier de fermeture en  $2\theta'$  secondes passe par un maximum au temps  $\theta'$  sec., pendant la fermeture. Pour de petites valeurs de  $r'v_0'$ , le coup de bélier est encore majoré après la fermeture. (A suivre).

### Concours d'idées pour la construction de nouvelles maisons ouvrières au « Pré-d'Ouchy ».

(Suite et fin)<sup>1</sup>

3<sup>e</sup> prix: N° 5. — « Soleil », cube indiqué 14021 m<sup>3</sup>. Locaux sur un étage 35. (Voir page 57.)

Le plan de ce projet suscite les critiques suivantes: quelques chambres sont proportionnellement trop profondes, les vestibules exigus; on peut se demander si pour les ménages qui occuperont ces maisons, il est indiqué de prévoir des salles à manger, parfois même éloignées de la cuisine; le dispositif comportant un petit hall paraît plus pratique. L'architecture de ce projet est attrayante; l'auteur s'est appliqué à concevoir son œuvre dans l'esprit du programme qui recommandait de s'inspirer de l'architecture du pays.

4<sup>e</sup> prix: N° 4. — « En Série », cube indiqué 15276 m<sup>3</sup>. Locaux par étage 36. L'auteur présente un plan intéressant, mais peut-être un peu dispendieux; le cube total en fait foi. Critiquable également est la disposition des chambres à tourelle, trop profondes. Les façades ne comportent pas le caractère désiré par le programme. (Voir page 58.)

<sup>1</sup> Voir Bulletin Technique du 24 janvier 1920, p. 19.