

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

**Band:** 45 (1919)

**Heft:** 18

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

**Autor:** Carey, Ed.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-34918>

### **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:** 15.03.2025

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

avec le côté ouverture du servomoteur du pointeau, tandis que le côté fermeture est mis en communication avec l'échappement. Par conséquent le piston servomoteur, et avec lui le pointeau, se déplacent vers l'ouverture.

Ce mouvement du tachymètre n'a aucune influence sur le tiroir de distribution des plaques de guidage, de sorte que ces plaques restent au repos pendant toute la durée d'ouverture. »

La description ci-dessus donne lieu aux remarques suivantes :

*Aucun acier coulé* n'est nécessaire pour la construction de ce nouveau réglage.

*Toutes ses parties peuvent être exécutées en série.* Le travail de dessin qu'exige les nouvelles installations est réduit au minimum.

Par suite, *les délais de livraisons* s'en trouvent réduits.

Le tiroir de distribution intermittent qui commande les ailettes de guidage peut, par une légère modification, *devenir limiteur de vitesse.* En cas de panne du tachymètre de la pompe à huile, comme lors d'une rupture de courroie ou des conduites de réglage, ce tiroir de distribution jouera le rôle d'un mécanisme de sûreté qui, en raison de sa simplicité même, offre toutes les garanties de sécurité. (A suivre).

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

par Ed. CAREY, ingénieur à Marseille.

(Suite.)<sup>1</sup>

### II. Loi de fermeture produisant un coup de bélier donné pour une durée de fermeture minimum.

Nous avons vu que le coup de bélier maximum était produit par la fermeture complète en un temps égal à  $\frac{2L}{a}$  et qu'il avait pour valeur  $\frac{2LV}{gT}$ . Si donc, dans le cas de fermeture linéaire, nous voulons que le coup de bélier ait une valeur donnée,  $\frac{y_0}{n}$ , nous prendrons pour la durée de la fermeture :  $T = \frac{2LV}{gy_0} n$ .

Cependant, si T comprend plusieurs périodes  $\theta$ , comme c'est ordinairement le cas, nous pourrions diminuer sensiblement le temps de fermeture T, sans augmenter le coup de bélier maximum fixé à  $\frac{y_0}{n}$ . En effet, la fermeture à partir de la vitesse V, correspondant à la pleine ouverture du vannage, produira un coup de bélier, donné par les formules 6 et 7, qui sera inférieur à  $\frac{y_0}{n}$ . Nous pourrions donc augmenter la vitesse de fer-

meture, sauf dans la dernière période où elle doit rester  $\frac{V}{T}$ , de manière que les formules 6 et 7 donnent aussi un coup de bélier égal à  $\frac{y_0}{n}$ , en commençant la fermeture à partir d'une vitesse quelconque, inférieure à V.

$$1^{\text{er}} \text{ CAS : } \frac{av_0}{2gy_0} < 1$$

Dans ce cas, pour une fermeture à partir de la pleine ouverture, le coup de bélier maximum a lieu à la fin de la première période ; pour que sa valeur soit égale à  $\frac{y_0}{n}$  nous poserons avec la formule 6 (fig. 24) :

$$\frac{2LV}{gT_1} \frac{1}{1 + \frac{aV}{2gy_0} - \frac{LV}{gT_1 y_0}} = \frac{y_0}{n}$$

$$\text{d'où : } T_1 = \frac{(2n+1) \frac{LV}{gy_0}}{1 + \frac{aV}{2gy_0}}$$

nous pourrions utiliser cette vitesse de fermeture  $\frac{V}{T_1}$  pendant toute la première période  $\frac{2L}{a}$  ; à la fin de la période, la vitesse de l'eau sera, sans tenir compte du coup de bélier :

$$V_1 = V - \frac{2L}{a} \frac{V}{T_1} = V \frac{2n}{2n+1} - \frac{2gy_0}{a(2n+1)}$$

Par contre, en commençant la fermeture à partir de la vitesse  $V_1$  et en l'effectuant à l'allure  $\frac{V}{T_1}$ , nous aurons un coup de bélier qui dépassera  $\frac{y_0}{n}$ , comme nous l'avons indiqué au chapitre premier. Nous devons donc diminuer la vitesse de fermeture et nous aurons encore :

$$\frac{2LV_1}{g(T_2-\theta)} \frac{1}{1 + \frac{aV_1}{2gy_0} - \frac{LV_1}{gy_0(T_2-\theta)}} = \frac{y_0}{n} ; \theta = \frac{2L}{a}$$

$$\text{d'où : } T_2 = \frac{(2n+1) \frac{L}{gy_0} V_1}{1 + \frac{aV_1}{2gy_0}} + \frac{2L}{a}$$

posons pour simplifier :

$$(2n+1) \frac{L}{gy_0} = C \quad \text{et} \quad \frac{a}{2gy_0} = r$$

$T_2$  s'écrira :

$$T_2 = \frac{CV_1}{1 + rV_1} + \theta$$

La vitesse  $V_2$ , à la fin de la période, temps  $2\theta$ , sera :

$$V_2 = V_1 - \theta \frac{V_1}{T_2 - \theta}$$

$$\text{ou bien : } V_2 = V_1 \frac{2n}{2n+1} - \frac{1}{r(2n+1)}$$

<sup>1</sup> Voir Bulletin Technique 1919, p. 174.

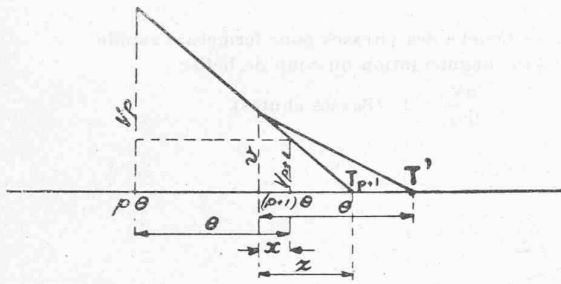


Fig. 20.

Enfin, en commençant la fermeture à la vitesse  $V_{p-1}$  nous aurons pour la  $p^e$  période :

$$T_p = \frac{CV_{p-1}}{1 + rV_{p-1}} + (p-1)\vartheta$$

et, pour la vitesse  $V_p$  à la fin de la période, au temps  $p\vartheta$  :

$$V_p = V_{p-1} - \vartheta \frac{V_{p-1}}{T_p - (p-1)\vartheta}$$

ou bien : 
$$V_p = V_{p-1} \frac{2n}{2n+1} - \frac{1}{r(2n+1)}$$

En portant en ordonnées les valeurs  $V_1, V_2, \dots, V_p$  à partir des abscisses  $\vartheta, 2\vartheta, \dots, p\vartheta$ , nous aurons les points de la courbe des vitesses de fermeture; en partant de l'une quelconque de ces vitesses le coup de bélier maximum sera  $\frac{\mathcal{J}_0}{n}$ .

La dernière période  $\vartheta$ , aboutissant à la fermeture complète, doit être effectuée à l'allure  $\frac{V}{T}$ , à partir de la vitesse

$$v = \frac{2LV}{aT}$$

Cette vitesse  $v$  se trouvera généralement comprise entre deux vitesses  $V_p$  et  $V_{p+1}$  calculées comme ci-dessus, et nous aurons (fig. 20) :

$$\frac{V_p - V_{p+1}}{\vartheta} = \frac{v - V_{p+1}}{x}$$

d'où : 
$$x = \frac{\vartheta(v - V_{p+1})}{V_p - V_{p+1}}$$

Le temps de fermeture complet  $T'$  sera donc :

$$T' = (p+1)\vartheta - x + \vartheta = (p+2)\vartheta - x$$

on a aussi (fig. 20) :

$$\frac{V_p}{T_{p+1} - p\vartheta} = \frac{v}{Z}$$

et 
$$Z = \frac{v}{V_p} (T_{p+1} - p\vartheta) = \frac{Cv}{1 + rV_p}$$

$T'$  sera alors,

$$T' = T_{p+1} - Z + \vartheta$$

<sup>1</sup> On obtient directement cette formule en partant de la formule (2) en posant :

$$\frac{a}{g} \frac{V_{p-1} - V_p}{1 + rV_p} = \frac{v_0}{n}$$

La courbe des vitesses de fermeture sera donnée par les points  $V, V_1, V_2, \dots, V_p, v, T'$ .

Cette loi de fermeture<sup>1</sup>, plus rapide, n'augmente pas la valeur du coup de bélier maximum  $\frac{2LV}{gT}$  fixé à  $\frac{\mathcal{J}_0}{n}$ , ni le coup de bélier  $\frac{a}{g} V$ , produit par la fermeture brusque de la pleine ouverture à zéro pendant un temps  $\leq \frac{2L}{a}$ ; mais elle permet une réduction importante de la durée de fermeture  $T$ , et peut rendre de grands services.

EXEMPLE NUMÉRIQUE (voir fig. 21).

1<sup>er</sup> CAS : 
$$\frac{av_0}{2g\mathcal{J}_0} < 1$$

Prenons :

$L = 1200$  mètres  $a = 1200$  m/sec.  $\mathcal{J}_0 = 500$  m.  
 $V = 6$  m.  $g = 9,8$

et fixons le coup de bélier maximum à  $\frac{\mathcal{J}_0}{n} = \frac{500}{4}$   
 $= 125$ m; donc :  $n = 4$  puis  $\vartheta = 2$  sec.,  $r = \frac{a}{2g\mathcal{J}_0}$   
 $= 0,1225$  et  $C = (2n+1) \frac{L}{g\mathcal{J}_0} = 2,2$ .

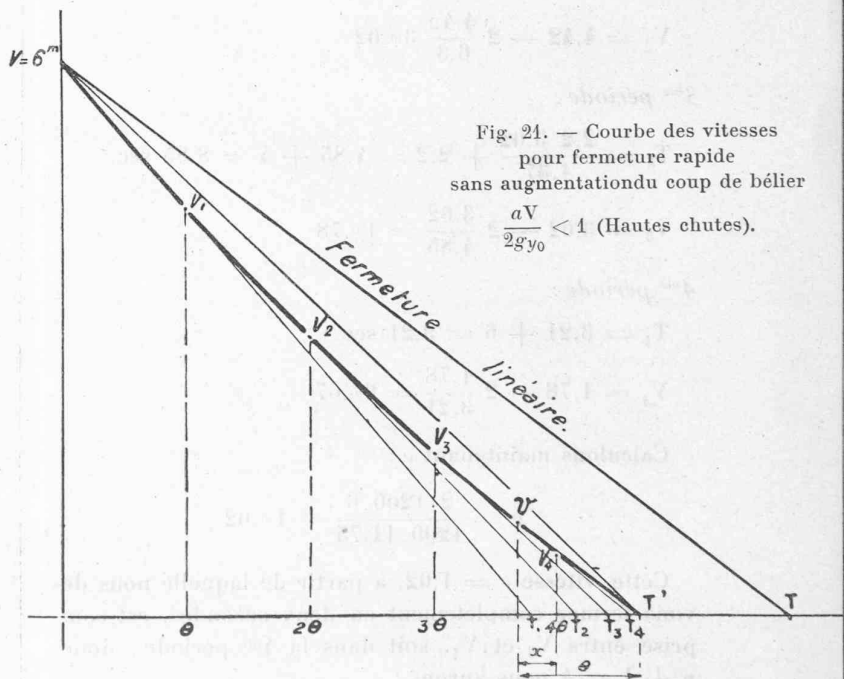


Fig. 21. — Courbe des vitesses pour fermeture rapide sans augmentation du coup de bélier  $\frac{aV}{2g\mathcal{J}_0} < 1$  (Hautes chutes).

Nous aurons pour une loi de fermeture linéaire :

$$T = \frac{2 \cdot 1200 \cdot 6}{9,8 \cdot 500} \cdot 4 = 11,75 \text{ secondes}$$

en choisissant une loi de fermeture rapide, non linéaire, nous aurons, en calculant aussi les valeurs de  $T_1, T_2, \dots$ , bien qu'elles ne soient pas nécessaires :

<sup>1</sup> Voir aussi *Revue générale d'Electricité* du 31 mars 1917, Note de M. de Sparre sur les « Conditions à remplir par les régulateurs des moteurs hydrauliques ».

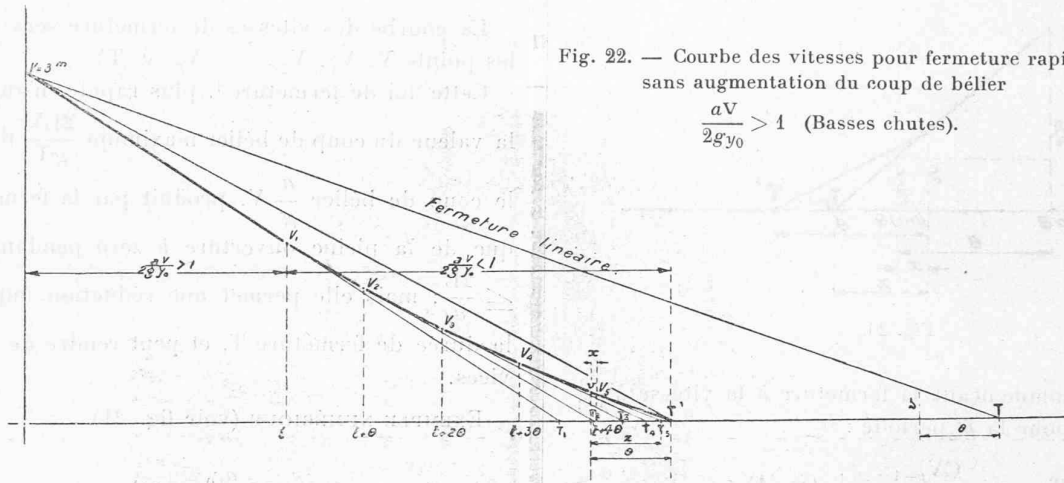


Fig. 22. — Courbe des vitesses pour fermeture rapide sans augmentation du coup de bélier

$$\frac{av}{2gy_0} > 1 \text{ (Basses chutes).}$$

1<sup>re</sup> période :

$$T_1 = \frac{CV}{1 + r\nu} = \frac{2,2 \cdot 6}{1 + 0,1225 \cdot 6} = 7,6 \text{ sec.}$$

$$V_1 = V - \nu \cdot \frac{V}{T_1} = 6 - 2 \cdot \frac{6}{7,6} = 4,42$$

2<sup>me</sup> période :

$$T_2 = \frac{2,2 \cdot 4,42}{1 + 0,1225 \cdot 4,42} + 2 = 6,3 + 2 = 8,3 \text{ sec.}$$

$$V_2 = 4,42 - 2 \cdot \frac{4,42}{6,3} = 3,02$$

3<sup>me</sup> période :

$$T_3 = \frac{2,2 \cdot 3,02}{1,37} + 2,2 = 4,85 + 4 = 8,85 \text{ sec.}$$

$$V_3 = 3,02 - 2 \cdot \frac{3,02}{4,85} = 1,78$$

4<sup>me</sup> période :

$$T_4 = 3,21 + 6 = 9,21 \text{ sec.}$$

$$V_4 = 1,78 - 2 \cdot \frac{1,78}{3,21} = 0,67$$

Calculons maintenant  $\nu$  :

$$\nu = \frac{2 \cdot 1200 \cdot 6}{1200 \cdot 11,75} = 1,02$$

Cette vitesse  $\nu = 1,02$ , à partir de laquelle nous devons fermer complètement en deux secondes, est comprise entre  $V_3$  et  $V_4$ , soit dans la 4<sup>me</sup> période; donc,  $p + 1 = 4$  nous aurons :

$$x = \frac{2(1,02 - 0,67)}{1,78 - 0,67} = 0,63$$

La durée totale de la fermeture sera :

$$T' = 5,2 - 0,63 = 9,37 \text{ secondes.}$$

Sans augmenter le coup de bélier fixé à 125 mètres, nous avons pu diminuer la durée de la fermeture de  $11,75 - 9,37 = 2,38$  secondes, soit de 20,2 % donc près de  $\frac{1}{5}$ . Le coup de bélier de fermeture linéaire

de  $V$  à zéro qui serait d'après la formule Michaud :

$$\frac{2 \cdot 1200 \cdot 6}{9,8 \cdot 9,37} = 157^m$$

est ramené à 125<sup>m</sup> par cette loi de fermeture rapide soit une diminution de 20,2 %.

Si nous vérifions les coups de bélier produits par cette loi de fermeture, nous aurons en partant par exemple de  $\nu = 3,02$  :

$$B = \frac{1200}{9,8} \frac{3,20 - 1,78}{1 + 0,1225 \cdot 1,78} = 122,5 \frac{1,24}{1,218} = 125^m$$

2<sup>me</sup> CAS :  $\frac{av_0}{2gy_0} > 1$ . La marche du calcul est la même; il faut cependant remarquer que la courbe des vitesses de fermeture comprendra deux parties distinctes; la première pendant laquelle  $\frac{av}{2gy_0}$  est  $> 1$ , la seconde pour des fermetures à partir de petites ouvertures donnant  $\frac{av}{2gy_0} < 1$ , qui rentrent dans le cas que nous venons d'examiner.

Pendant la première partie, nous savons que le coup de bélier maximum est constant pour toutes les fermetures à partir desquelles  $\frac{av_0}{2gy_0}$  est  $> 1$ ; la courbe des vitesses de fermeture sera donc une ligne droite.

Comme précédemment nous aurons :

$$\frac{2LV}{gT} = \frac{\gamma_0}{n}$$

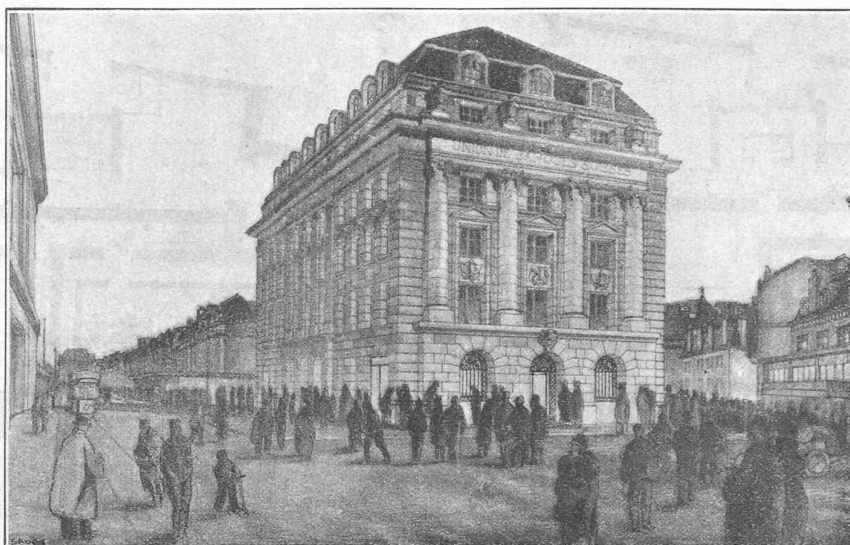
d'où  $T = \frac{2LV}{g\gamma_0} n$ , pour une fermeture linéaire.

Pour la fermeture à partir de la pleine ouverture et pour toutes ouvertures jusqu'à  $\frac{av}{2gy_0} = 1$ , le coup de bélier maximum est donné par la formule 7; nous poserons donc (fig. 22) :

$$\frac{2LV}{gT_1} \frac{1}{2} - \frac{LV}{gT_1\gamma_0} = \frac{\gamma_0}{n}$$

d'où nous tirons :

CONCOURS POUR L'HOTEL DE L'UNION DE BANQUES, A LAUSANNE



Perspective.

V<sup>me</sup> prix : Projet de M. R. Bonnard, architecte, à Lausanne.

$$T_1 = (2n + 1) \frac{LV}{2g\gamma_0}$$

Cette fermeture, à la vitesse  $\frac{V}{T_1}$ , sera utilisable jusqu'à la fin de la période qui suit le point où la vitesse est telle que  $\frac{av}{2g\gamma_0} = 1$ , c'est-à-dire jusqu'à la vitesse  $V_1 = \frac{2g\gamma_0}{a} - \frac{2L}{a} \frac{V}{T_1}$  ou bien, en remplaçant  $T_1$  par sa valeur :

$$V_1 = \frac{2g\gamma_0}{a} \cdot \frac{(2n-1)}{(2n+1)};$$

cette vitesse correspond au temps  $t$  :

$$\frac{V}{T_1} = \frac{V_1}{T_1 - t}$$

$$\text{d'où } t = T_1 \left(1 - \frac{V_1}{V}\right) = T_1 - \frac{L}{a} (2n-1)$$

Les fermetures effectuées à partir de ce point rentrent dans le cas  $\frac{av_0}{2g\gamma_0} < 1$  et nous poserons donc avec la formule 6 :

$$\frac{2LV_1}{g(T_2 - t)} \cdot \frac{1}{1 - \frac{av_1}{2g\gamma_0} + \frac{LV_1}{g\gamma_0(T_2 - t)}} = \frac{\gamma_0}{n}$$

d'où nous tirons comme dans le chapitre précédent :

$$T_2 = t + \frac{(2n+1) \frac{LV_1}{g\gamma_0}}{1 + \frac{aV_1}{2g\gamma_0}}$$

à la fin de cette période, au temps  $t + \theta$ , la vitesse  $V_2$  sera :

$$V_2 = V_1 - \theta \frac{V_1}{T_2 - t} = V_1 \frac{2n}{(2n+1)} - \frac{2g\gamma_0}{a(2n+1)}$$

En faisant les mêmes simplifications que dans le cas  $\frac{av}{2g\gamma_0} < 1$  nous aurons encore :

$$T_3 = t + \frac{CV_2}{1 + rV_2} + \theta$$

et

$$V_3 = V_2 - \frac{\theta \cdot V_2}{T_3 - t - \theta} = V_2 \frac{2n}{(2n+1)} - \frac{1}{r(2n+1)}$$

$$\text{puis : } T_p = t + \frac{CV_{p-1}}{1 + rV_{p-1}} + (p-2)\theta$$

$$V_p = V_{p-1} - \frac{\theta V_{p-1}}{T_p - t - (p-2)\theta} = V_{p-1} \frac{2n}{(2n+1)} - \frac{1}{r(2n+1)}$$

et ainsi de suite. La fermeture, pendant la dernière période  $\theta$ , doit encore être effectuée à l'allure  $\frac{V}{T}$  à partir de la vitesse  $v = \frac{2LV}{aT}$ ; cette vitesse se trouvera comprise entre  $V_p$  et  $V_p + 1$  aux abscisses  $t + (p-1)\theta$  et  $t + p\theta$  et nous aurons comme précédemment :

$$x = \frac{\theta(v - V_{p+1})}{V_p - V_{p+1}}$$

la durée totale de la fermeture sera :

$$T' = t + (p+1)\theta - x$$

On peut aussi poser :

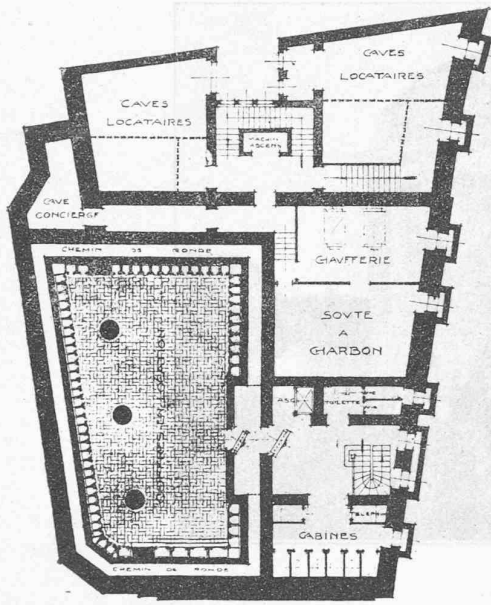
$$\frac{V_p}{T_{p+1} - t - (p-1)\theta} = \frac{v}{Z}$$

d'où :

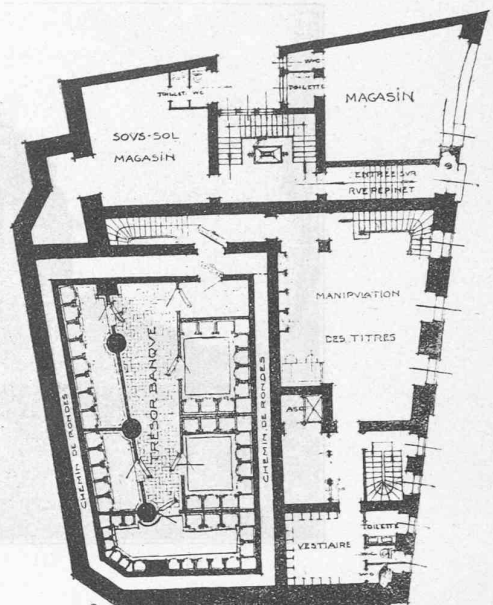
$$Z = \frac{v}{V_p} [T_{p+1} - t - (p-1)\theta] = \frac{Cv}{1 + rV_p}$$



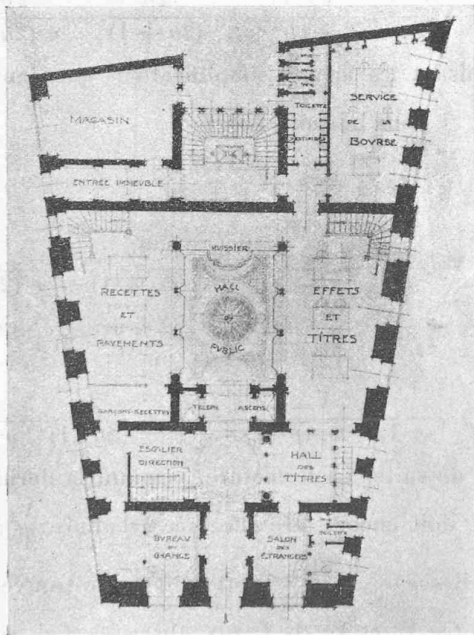
CONCOURS POUR L'HOTEL DE L'UNION DE BANQUES, A LAUSANNE.



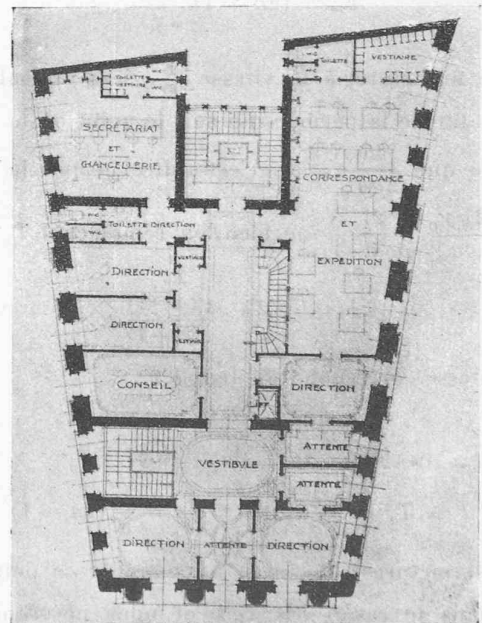
Plan du 2<sup>me</sup> sous-sol. — 1 : 800.



Plan du 1<sup>er</sup> sous-sol. — 1 : 800.



Plan du rez-de-chaussée. — 1 : 800.



Plan du 1<sup>er</sup> étage. — 1 : 800.

7<sup>me</sup> prix : Projet de M. R. Bonnard, architecte, à Lausanne.

La durée totale de la fermeture sera alors :

$$T' = T_{p+1} - Z + \theta$$

La courbe des vitesses de fermeture est donnée par les points V, V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> . . . . . V<sub>p</sub>, ρ, T'.

(A suivre).

**Concours pour l'hôtel de l'Union de Banques, à Lausanne.**

Extrait du rapport du Jury.

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

5<sup>e</sup> prix : Projet « E. C. V. ». Auteur M. Bonnard, architecte, à Lausanne.

Ce projet montre de bonnes idées quant à la distribution

<sup>1</sup> Voir Bulletin technique 1919, p. 476.