

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

Autor(en): **Carey, Ed.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **45 (1919)**

Heft 18

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-34918>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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.)¹

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 θ , 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 2θ , sera :

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

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

¹ Voir Bulletin Technique 1919, p. 174.

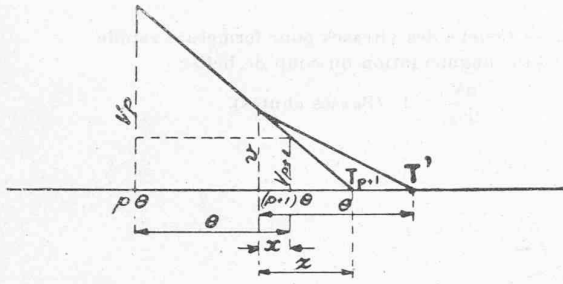


Fig. 20.

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

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

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

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

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 $\theta, 2\theta, \dots, p\theta$, 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 $\frac{V_0}{n}$.

La dernière période θ , 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) :

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

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

Le temps de fermeture complet T' sera donc :

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

on a aussi (fig. 20) :

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

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

T' sera alors,

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

¹ 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 fermeture¹, plus rapide, n'augmente pas la valeur du coup de bélier maximum $\frac{2LV}{gT}$ fixé à $\frac{V_0}{n}$, 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^{er} CAS :
$$\frac{av_0}{2gV_0} < 1$$

Prenons :

$L = 1200$ mètres $a = 1200$ m/sec. $V_0 = 500$ m.
 $V = 6$ m. $g = 9,8$

et fixons le coup de bélier maximum à $\frac{V_0}{n} = \frac{500}{4}$
 $= 125$ m; donc : $n = 4$ puis $\theta = 2$ sec., $r = \frac{a}{2gV_0}$
 $= 0,1225$ et $C = (2n+1) \frac{L}{gV_0} = 2,2$.

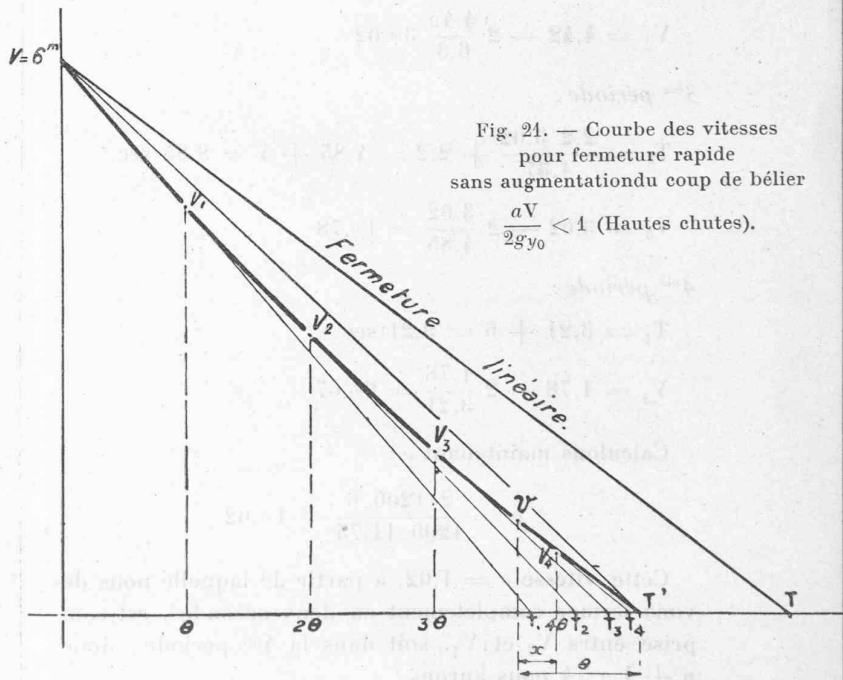


Fig. 21. — Courbe des vitesses pour fermeture rapide sans augmentation du coup de bélier $\frac{aV}{2gV_0} < 1$ (Hautes chutes).

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 :

¹ 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 ».

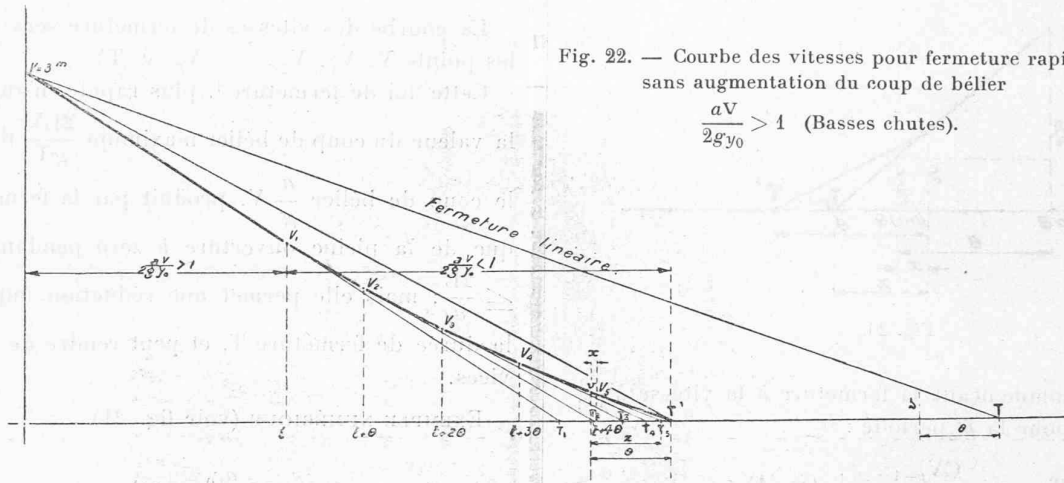


Fig. 22. — Courbe des vitesses pour fermeture rapide sans augmentation du coup de bélier

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

1^{re} 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^{me} 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^{me} 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^{me} 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 ν :

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

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^{me} 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^m 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^{me} 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 :

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

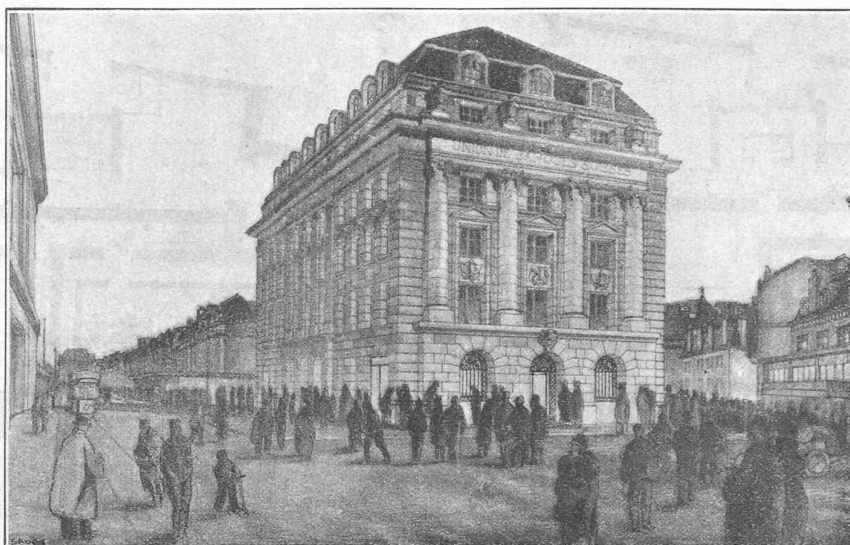
d'où $T = \frac{2LV}{g\gamma_0} n$, pour une fermeture linéaire.

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^{me} 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 θ , 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 :

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

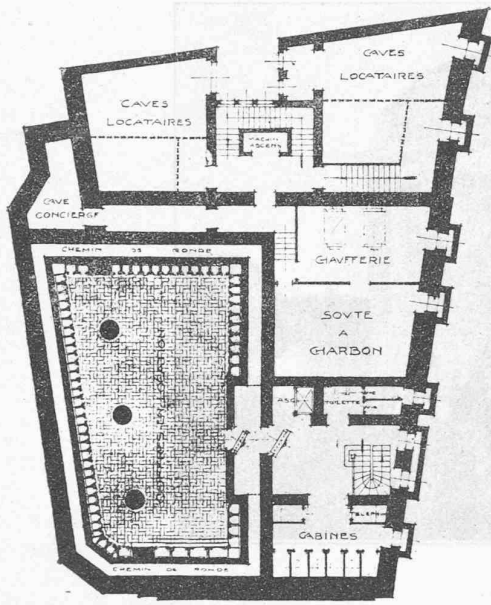
On peut aussi poser :

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

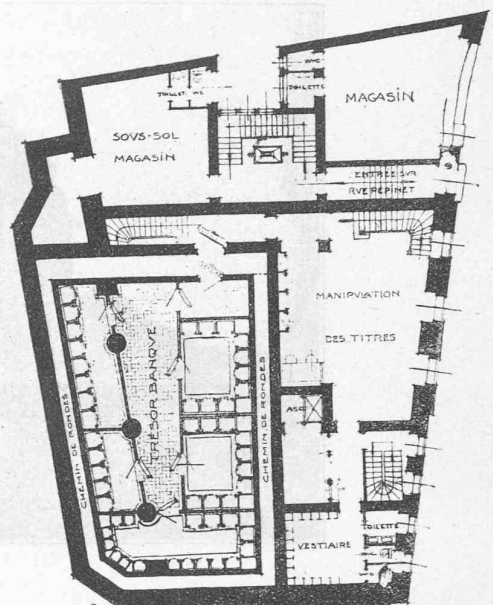
d'où :

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

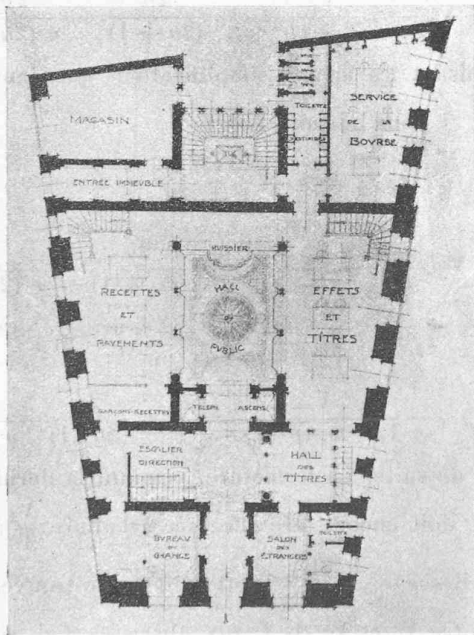
CONCOURS POUR L'HOTEL DE L'UNION DE BANQUES, A LAUSANNE.



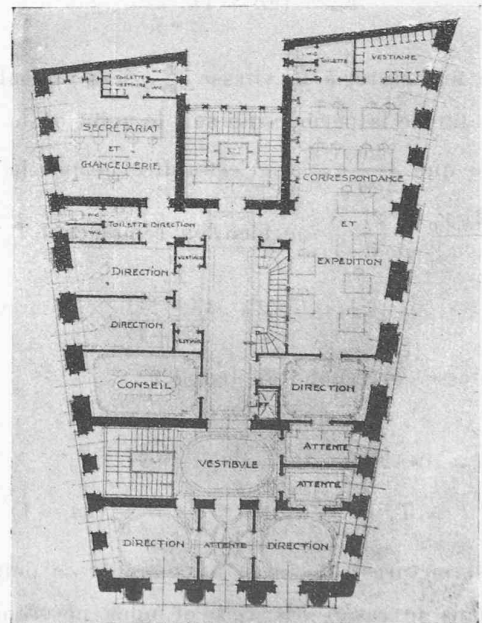
Plan du 2^{me} sous-sol. — 1 : 800.



Plan du 1^{er} sous-sol. — 1 : 800.



Plan du rez-de-chaussée. — 1 : 800.



Plan du 1^{er} étage. — 1 : 800.

7^{me} 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, V₁, V₂ V_p, ρ, T'.

(A suivre).

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

Extrait du rapport du Jury.

(Suite et fin)¹

5^e prix : Projet « E. C. V. ». Auteur M. Bonnard, architecte, à Lausanne.

Ce projet montre de bonnes idées quant à la distribution

¹ Voir Bulletin technique 1919, p. 476.