

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 36 (1910)
Heft: 13

Artikel: Note sur le calcul du coup de bélier dans les conduites d'eau sous pression
Autor: Vaucher, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-81439>

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: 27.12.2024

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

Au point de vue des marchandises le trajet Meyrin-Cornavin (5 1/2 km.) et Cornavin-Plainpalais (4 1/2 km.) serait remplacé par le trajet Meyrin-Plainpalais (6 km.), plus court de 4 km.

Il y aurait donc intérêt à profiter de ce raccourcissement possible, et de la simplification résultant du trajet direct, sans rebroussement, que procurerait cette jonction.

Le problème des voies ferrées du canton de Genève, tel qu'il se pose au lendemain de la Convention de Berne, comporte, comme on le voit, une série de solutions qui se tiennent et se complètent; elles méritent d'être étudiées ensemble, sous peine de n'aboutir qu'à une œuvre imparfaite et bientôt insuffisante.

Note sur le calcul du coup de bélier dans les conduites d'eau sous pression.

Par A. VAUCHER, ingénieur.

M. le Prof. Neeser a publié dans les numéros des 10 et 25 janvier 1910 du *Bulletin Technique de la Suisse romande* des résultats d'essais vérifiant d'une manière satisfaisante la théorie de M. Alliévi relative aux coups de bélier dans les conduites. Il pourra intéresser quelques lecteurs d'avoir un aperçu des vues actuelles sur ce phénomène sous une forme permettant d'en tenir aisément compte par le calcul dans les cas se présentant plus fréquemment.

Un historique des recherches publiées jusqu'ici a été présenté par M. Goupil, dans le N° 1 des *Annales des Ponts et Chaussées*, 1909, où sont mentionnées les publications suivantes:

Celles du général *Menabrea*, en 1858, se rapportant à la dilatation élastique d'un tuyau pour une absorption d'énergie donnée; de *Hacker*, en 1870; de *Castigliano*, en 1874; de *Résul*, en 1876; de *Korteweg*, en 1878; de *Michaud*, en 1878, qui, à propos de la conduite du funiculaire Lausanne-Ouchy (*Bulletin de la Société vaudoise des Ingénieurs et Architectes*), nota le caractère oscillatoire du phénomène; de *Gromeka*, en 1883; *Stodola*, en 1893-1894; *Joukovsky*, en 1898, à propos d'une distribution d'eau à Moscou (St-Pétersbourg, *Mém. Ac. Sciences*); *Rateau*, en 1900; *Alliévi*, en 1901 et 1904; *Boussinesq*, en 1905; comte de *Sparre* (*Houille Blanche*) 1905; *Flamant* (*Revue Mécanique*). Il convient d'ajouter à cette énumération la publication de *Michaud*, en 1903 (*Bulletin Technique de la Suisse romande*) et celle de 1909 de MM. *Alliévi-Dubs-Bataillard*.

Qu'il s'agisse de fermeture ou d'ouverture de vannage, lente ou rapide, provoquant un coup de bélier positif ou négatif, autrement dit une surpression ou une dépression, les principaux facteurs à mettre en présence sont la variation de force vive de l'eau de la conduite avec le travail de la pesanteur, la force vive du jet et le travail absorbé par le jeu de l'élasticité relative de la conduite et du liquide.

L'étude présente vise avant tout le coup de bélier dans les conduites dans lesquelles la pression totale de l'eau par rapport à la hauteur de charge correspondant à sa vitesse et à celle nécessaire à vaincre les frottements est grande; au cas contraire, les considérations ici exposées ne seraient pas applicables sans modifications.

Dans ce qui suit nous désignerons par:

V la vitesse variable de l'eau en amont du vannage.

V_0 la vitesse initiale de l'eau dans la conduite, avant tout changement de régime.

V_i la nouvelle vitesse de régime après l'arrêt du vannage.

Y_0 la hauteur de charge initiale à la partie inférieure de la conduite, avant tout changement, que nous appellerons parfois par abréviation « pression normale » et que nous admettrons être revenue à la même valeur après l'arrêt du vannage, lors du nouvel état de régime.

Y la hauteur de charge contre la vanne à la partie inférieure de la conduite, variable lors du mouvement du vannage.

U_0 la vitesse théorique de sortie de l'eau du vannage pour la charge de régime Y_0 , par conséquent $U_0 = \sqrt{2gY_0}$.

U cette vitesse de sortie variable lors du mouvement de la vanne, soit $U = \sqrt{2gY}$.

K_0 le rapport de la vitesse de l'eau V_0 dans la conduite, à sa vitesse de sortie théorique U_0 .

K le rapport variable pendant le mouvement du vannage, de la vitesse V de l'eau dans la conduite près du vannage à celle U de sortie.

T le temps du mouvement de vannage.

D le diamètre de la conduite.

E le module d'élasticité de la conduite.

e l'épaisseur de la conduite.

ϵ le module de compressibilité du liquide.

q le poids spécifique du liquide.

g l'accélération de la pesanteur.

L la longueur de la conduite.

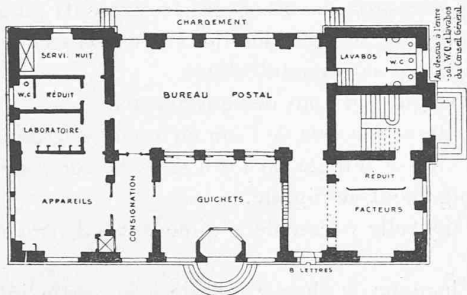
Avant d'aborder la théorie actuelle, nous ferons pour un moment abstraction de l'élasticité de la conduite et de la compressibilité de l'eau, en admettant, provisoirement, que la vitesse de l'eau pendant le mouvement du vannage subisse une variation identique sur toute la longueur de la conduite, autrement dit que cette vitesse soit en tout instant égale dans chaque tranche de la colonne liquide, en particulier en bas, en haut et en son milieu.

Le travail de la pesanteur devant alors être égal à celui du jet de sortie et à la variation de la force vive de l'eau de la conduite, on obtient aisément la relation

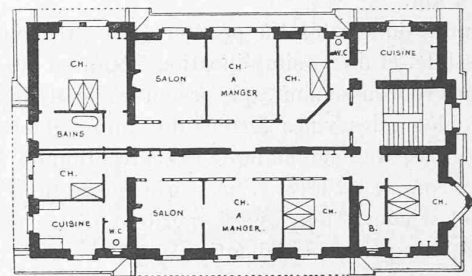
$$Y - Y_0 = - \frac{L}{g} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

qui peut d'ailleurs être posée directement en remarquant qu'il doit nécessairement y avoir égalité entre la variation de pression sur la section totale de la conduite et le produit de la masse d'eau en mouvement par son accélération (négative ou positive), $\frac{dV}{dt}$.

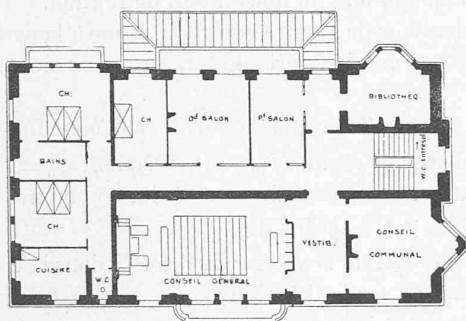
CONCOURS POUR UN HOTEL DES POSTES ET BATIMENT COMMUNAL, A COLOMBIER



Plan du rez-de-chaussée. — 1 : 400.



Plan du deuxième étage. — 1 : 400.

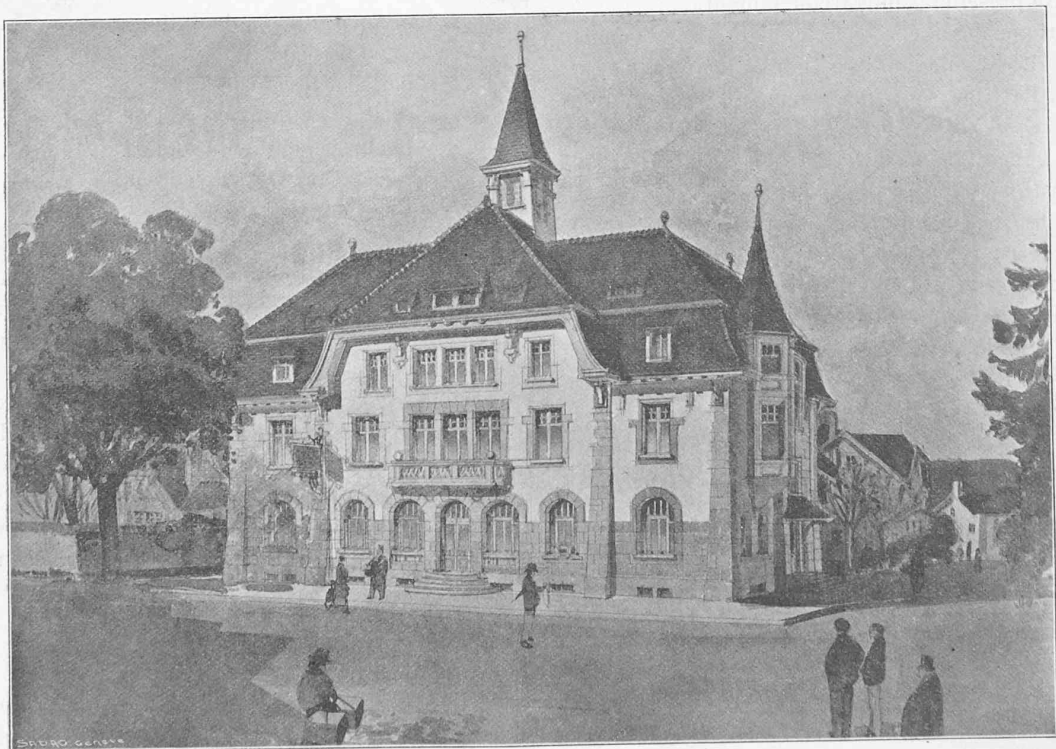


Plan du premier étage. — 1 : 400.

S'il était possible de réaliser un mouvement du vannage tel que la variation de vitesse soit constante, la variation de pression serait constante et égale à $\frac{L (V_0 - V_i)}{g T}$.

Si ce mouvement du vannage pouvait être tel que la variation de vitesse de l'eau dans la conduite fût proportionnelle au temps, il est aisé d'établir que la pression correspondante varierait linéairement et que sa différence avec la pression normale atteindrait au moment de l'arrêt du vannage la valeur $\frac{2 L (V_0 - V_i)}{g T}$, soit le double de la précédente.

Il serait assez plausible de supposer que réellement la pression devra atteindre graduellement une valeur maxi-



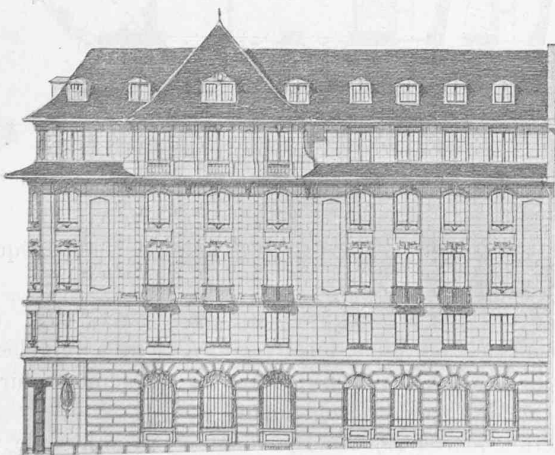
Perspective.

III^e prix : « Caillou », de MM. Convert et Kunzi, architectes, à Neuchâtel.

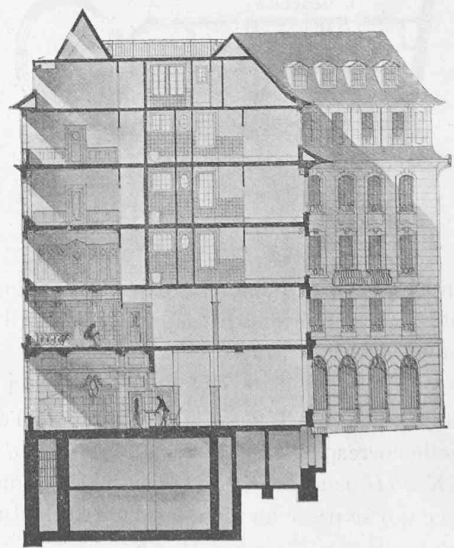
CONCOURS POUR L'HOTEL DE LA BANQUE POPULAIRE SUISSE, A LAUSANNE



Façade sur le Grand-Pont.



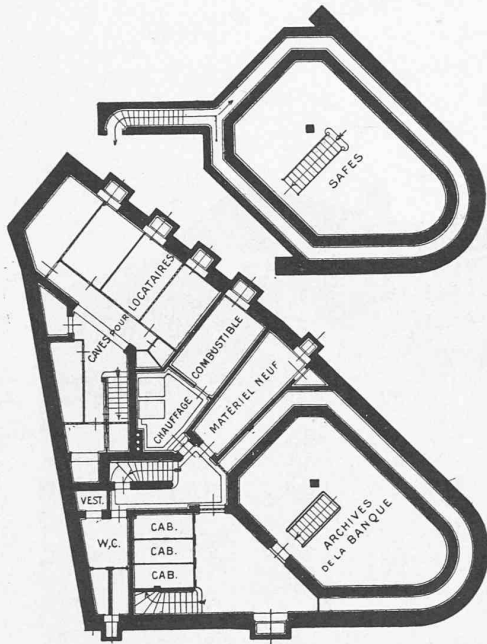
Façade sur la rue Pichard. — 1 : 400.



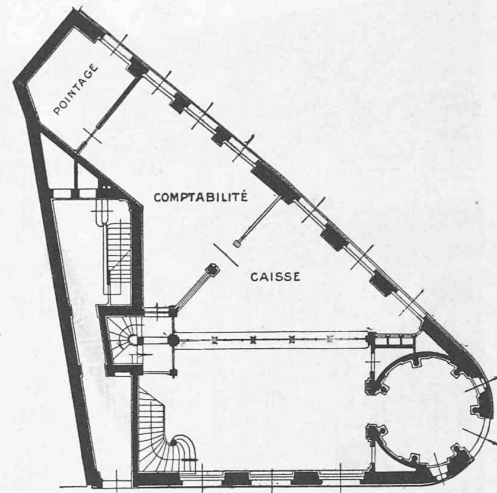
Coupe. — 1 : 400.

1^{er} prix : projet « B. P. S. » de M. G. Epitoux, architecte, à Lausanne.

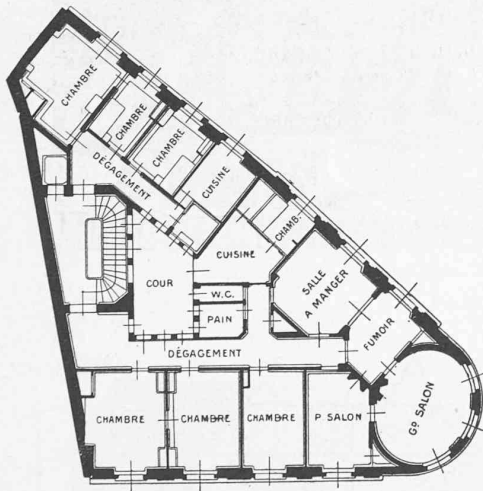
CONCOURS POUR L'HOTEL DE LA BANQUE POPULAIRE SUISSE, A LAUSANNE



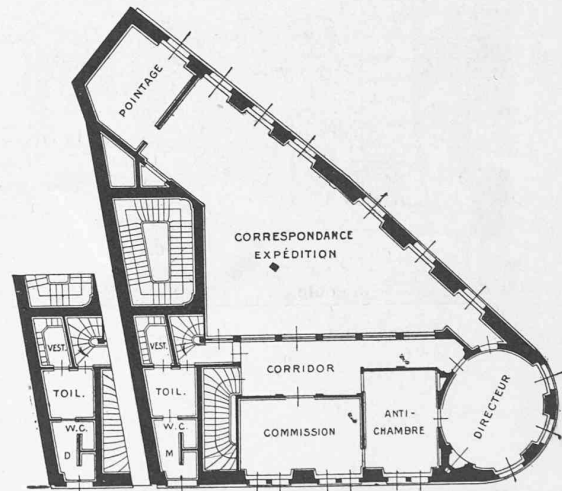
Plan du sous-sol. — 1 : 400.



Plan du rez-de-chaussée. — 1 : 400.



Plan du premier étage. — 1 : 400.



Plan de l'entresol. — 1 : 400.

1^{er} prix : projet « B. P. S. », de M. G. Epitoux, architecte, à Lausanne.

mum comprise entre ces deux limites et les conclusions de la présente étude confirment que pratiquement il en sera généralement ainsi.

D'ailleurs, toujours dans l'hypothèse admise jusqu'ici, de l'équation $V = K \cdot U = K \sqrt{2gY}$ ou de l'équation différentielle correspondante $dV = U dK + K dU$ (dont ce terme $K \cdot dU$ peut être éliminé d'emblée si l'on n'envisage que ce qui se passe au moment d'une fermeture complète), soit $dV = \sqrt{2gY} dK + \frac{gK}{\sqrt{2gY}} dY$, on tire la valeur de $\frac{dV}{dt}$ à substituer dans l'équation ci-dessus (1), pour

obtenir la courbe de pression en fonction du temps, équation qui devient :

$$LK dY + 2LY dK = -\sqrt{2gY}(Y - Y_0) dt, \quad (2)$$

et dans laquelle les fonctions K et dK sont à remplacer par leur expression suivant la loi $K = f(t)$ admise pour la variation de l'orifice d'écoulement.

Cette équation (2) correspondant à l'hypothèse de vitesse égale dans toute section de la conduite, peut, par l'annulation de son premier terme, servir à déterminer directement les maximum de pression ou dépression à la fermeture ou l'ouverture du vannage. Elle devient alors simplement :

$$\frac{dK}{dt} = - \frac{(Y - Y_0)}{L} \sqrt{\frac{g}{2Y}} \quad (3)$$

Ainsi, en cas de variation linéaire pour laquelle la fonction

$$K = K_0 + \frac{(K_i - K_0)t}{T} = \frac{V_0 T + (V_i - V_0)t}{U_0 T},$$

soit :

$$\frac{dK}{dt} = \frac{V_i - V_0}{U_0 T},$$

l'équation (3) dans laquelle on aura introduit cette valeur de $\frac{dK}{dt}$ (où $U_0 = \sqrt{2gY_0}$) deviendra :

$$\frac{(V_i - V_0)}{T\sqrt{2gY_0}} = - \frac{(Y - Y_0)}{L} \sqrt{\frac{g}{2Y}},$$

c'est-à-dire que la pression maximum ou minimum Y_m sera donnée par la relation

$$Y_m - Y_0 = \frac{L(V_0 - V_i)}{gT} \sqrt{\frac{Y_m}{Y_0}}, \quad (3 \text{ bis})$$

qui, résolue, donne :

$$Y_m - Y_0 = \frac{A}{g} \left[A \pm \sqrt{A^2 + 2gY_0} \right], \quad (4)$$

¹ Cette relation (4) dans laquelle la parenthèse donne la vitesse correspondant à la pression, n'est autre que celle sous N° 36 du mémoire de M. Alliévi, 1904, à laquelle d'ailleurs M. Piccard, sous une forme différente seulement en apparence, était arrivé sensiblement de la manière que nous résumons ci-dessous : Il vérifia expérimentalement sa formule, sensiblement celle (4 bis) plus loin, lors de l'installation que sa maison exécuta à la Rançonnière, près du Locle, en 1889, formule qui fut seulement plus tard reconnue parfois en défaut lorsqu'il s'agit de hautes chutes.

L'équation (2) dans laquelle en cas de variation linéaire on introduit pour K et dK les expressions formulées ci-dessus devient :

$$\frac{L}{U_0} \left[V_0 + \frac{(V_i - V_0)t}{T} \right] dY + \frac{2LY}{U_0 T} (V_i - V_0) dt = - \sqrt{2gY} (Y - Y_0) dt. \quad (2 \text{ bis})$$

Pour intégrer cette équation, il est préférable d'y remplacer $2gY$ par U^2 , soit Y par $\frac{U^2}{2g}$ et dY par $\frac{U}{g} dU$; elle devient alors :

$$\frac{dt}{\frac{2LV_0}{U_0} - \frac{2L(V_0 - V_i)t}{U_0 T}} = - \frac{dU}{U^2 - \frac{2L(V_0 - V_i)U}{U_0 T} - U_0^2}$$

$$= - \frac{dU}{(U - U')(U - U'')} = - \frac{I}{U' - U''} \left[\frac{dU}{U - U'} - \frac{dU}{U - U''} \right]$$

relations dans lesquelles U' et U'' désignent les racines du dénominateur du deuxième membre de l'équation ci-dessus égalé à 0, c'est-à-dire qu'en posant par abréviation

$$C = \sqrt{1 + \left(\frac{U_0^2 T}{L(V_0 - V_i)} \right)^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{2gY_0 T}{L(V_0 - V_i)} \right)^2}$$

l'une des racines $U' = \frac{L(V_0 - V_i)}{U_0 T} (1 + C)$ et n'est autre que la vitesse maximum en cas de fermeture,

et l'autre $U'' = \frac{L(V_0 - V_i)}{U_0 T} (1 - C)$ et représente la vitesse minimum en cas d'ouverture.

Leur produit $U' U'' = U_0^2 = 2gY_0$, et leur différence

si A désigne par abréviation l'expression :

$$\frac{L(V_0 - V_i)}{T\sqrt{2gY_0}}.$$

Nous faisons remarquer ici que les équations (3 bis) ou (4) donnant sensiblement la pression à la fermeture, pour autant que l'hypothèse envisagée soit pratiquement admissible, ce que nous verrons plus loin être le cas pour des mouvements de vannage pas trop rapides, peut être généralement modifiée comme suit :

L'expression $\sqrt{\frac{Y}{Y_0}}$ peut pratiquement être remplacée

$$U' - U'' = \frac{2L(V_0 - V_i)}{U_0 T}.$$

Après substitution de cette dernière expression, l'équation ci-dessus devient

$$\frac{C dt}{\frac{V_0 T}{V_0 - V_i} - t} = \frac{dU}{U - U'} - \frac{dU}{U - U''},$$

soit $C \ln \left(\frac{V_0 T}{V_0 - V_i} - t \right) = \ln \cdot \frac{U - U'}{U - U''} + \text{Const.}$ équation qui après détermination de cette constante en posant pour $t = 0$, $U = U_0$, devient :

$$\left[1 - \frac{(V_0 - V_i)t}{V_0 T} \right]^C = \frac{U - U'}{U - U''} \cdot \frac{U_0 - U''}{U_0 - U'} = N^C,$$

si nous remarquons que le premier membre de cette équation privé de son exposant C représente simplement le rapport N d'ouverture du vannage au temps t à celle existant avant tout changement.

La courbe de la vitesse de sortie, tant à l'ouverture qu'à la fermeture en fonction du temps, serait alors, après tous calculs et simplifications effectués, exprimée par la relation :

$$V = V_0 \left[\begin{array}{l} C \cdot \frac{Nc + 1}{Nc - 1} + \frac{V_0^2 T}{L(V_i - V_0)} - 1 \\ C \cdot \frac{Nc + 1}{Nc - 1} + \frac{V_0^2 T}{L(V_i - V_0)} + 1 \end{array} \right]$$

$$= V_0 \left[1 - \frac{2}{C \cdot \frac{Nc + 1}{Nc - 1} + \frac{V_0^2 T}{L(V_i - V_0)} + 1} \right]$$

et celle des pressions correspondantes serait conséquemment donnée par :

$$Y = Y_0 \left[\frac{\frac{U_0}{A} + B - 1}{\frac{U_0}{A} + B + 1} \right]^2 = Y_0 \left[1 - \frac{2}{\frac{U_0}{A} + B + 1} \right]^2 \quad (4 \text{ bis})$$

en désignant par A la même expression que plus haut et posant $B = C \cdot \frac{Nc + 1}{Nc - 1}$.

Si dans cette équation on attribue à N les valeurs limites correspondant à l'arrêt du vannage soit pour ouverture, soit pour fermeture, on retrouve pour la surpression ou dépression correspondantes les deux expressions formulées plus haut sous (4).

Il est à remarquer de plus qu'en substituant $t = 0$ et $Y = Y_0$ dans l'équation (2 bis) ci-dessus, on trouve que le coefficient angulaire de la tangente à l'origine de la courbe des pressions correspondante serait

$$2Y_0 \cdot \frac{(V_0 - V_i)}{V_0 T}, \text{ conséquemment :}$$

$\frac{2Y_0}{T}$ s'il s'agit d'une fermeture totale pour laquelle $V_i = 0$

et $-\infty$ (soit celui d'une droite à 90°) s'il s'agissait d'une ouverture partant d'une vitesse $V_0 = 0$.

De même on trouve que le coefficient angulaire de la tangente à l'origine de la courbe des vitesses de sortie U est l'expression $\frac{U_0}{T} \frac{(V_0 - V_i)}{V_0}$, qui se réduit à $\frac{U_0}{T}$ pour fermeture totale et $-\infty$, pour ouverture totale.

par celle de $\frac{Y + Y_0}{2 Y_0}$, soit celle de $\left[1 - \frac{Y - Y_0}{2 Y_0}\right]$; en l'introduisant sous cette forme dans l'équation (3 bis), cette dernière devient :

$$Y_m - Y_0 = \frac{L(V_0 - V_i)}{g T} \left[\frac{1}{1 + \frac{L(V_0 - V_i)}{2 g T Y_0}} \right]$$

ou approximativement :

$$\frac{L(V_0 - V_i)}{g T} \left[1 + \frac{L(V_0 - V_i)}{2 g T Y_0} \right]. \quad (5)$$

La simplification ci-dessus qui permet une plus grande rapidité de calcul est applicable pour autant que la différence $Y - Y_0$ si elle est positive, c'est-à-dire en cas de surpression, ne soit pas supérieure à Y_0 , et si elle est négative, c'est-à-dire en cas de dépression, ne soit pas supérieure à $\frac{Y_0}{2}$.

Sous cette réserve à laquelle il est en général satisfait, nous aurons dans la suite très fréquemment recours à la simplification ci-dessus, et la formule (5) pourra être utilisée à calculer la pression à la fin d'une ouverture ou d'une fermeture du vannage, lorsque son mouvement n'est pas trop rapide et s'effectue linéairement. Cependant il importe d'ajouter dès maintenant, pour éviter tout malentendu, que la pression ainsi calculée à la fin du mouvement du vannage n'est pas obligatoirement sa valeur maximum mais que, comme on le remarquera plus loin, pour les chutes dépassant une centaine de mètres le maximum de pression le plus élevé aura lieu en général bien avant la fermeture.

(A suivre).

Concours pour la construction de l'immeuble de la Banque populaire suisse, à Lausanne.

Rapport du jury.

Le jury s'est réuni les 30 et 31 mai 1910 à la salle de la Grenette.

Après s'être constitué et avoir nommé comme président M. le directeur général *Ochsner*, et comme secrétaire M. *Hertling*, il s'est rendu sur l'emplacement du futur bâtiment, puis a procédé à l'examen des projets soumis à son jugement.

18 projets ont été déposés jusqu'au 25 mai, date de la clôture du concours. Ils portent les devises suivantes :

N° 1 « La Banque ». — N° 2 « Mai! ». — N° 3 « Jour ». — N° 4 « Crédit ». — N° 5 « La comète ». — N° 6 « Pièce de 5 fr. ». — N° 7 « Grand Pont ». — N° 8 « La Populaire ». — N° 9 « BPS (monogramme) ». — N° 10 « B. P. S. ». — N° 11 « Comète ». — N° 12 « Fiat Lux ». — N° 13 « Bons jours ». — N° 14 « o (Point rouge dans un cercle noir) ». — N° 15 « 100 ». — N° 16 « Croussille ». — N° 17 A « Halley ». — N° 17 B « Halley ».

Le jury constate tout d'abord que ces projets peuvent être classés en trois catégories :

1° *Type A*. — Ceux dont le hall du public est placé parallèlement au Grand-Pont avec entrée directe depuis le trottoir. Ce sont les projets N°s 2, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 15 et 17 A.

2° *Type B*. — Ceux dont le hall se trouve dans la partie centrale avec entrée depuis le Grand-Pont. Ce sont les projets N°s 6, 8 et 16.

3° *Type C*. — Ceux dont le hall se trouve également dans la partie centrale, ou parallèlement au Grand-Pont, mais avec l'entrée placée à l'angle. Ce sont les projets N°s 1, 3, 14 et 17 B.

Un seul projet s'écarte des trois types ci-dessus; c'est le N° 13, qui place l'entrée principale de la banque à la rue Pichard, solution absolument inadmissible.

Au premier tour d'élimination, les six projets suivants sont écartés, parce qu'ils ne répondent pas assez au programme ou parce qu'ils sont insuffisamment étudiés.

Ce sont les N°s 3, 5, 6, 9, 12 et 13.

Sont ensuite éliminés au deuxième tour les projets suivants :

N° 4. — L'entrée directe du hall depuis l'extérieur sans vestibule n'est pas recommandable. La salle de pointage est placée au plus bel endroit de la façade, alors que cette salle peut être reléguée à l'écart. L'entrée des Safes depuis le hall est difficile à contrôler. Le plan de distribution des appartements n'est pas recommandable; la ventilation des dépendances est défectueuse.

Les hauteurs des deux étages de la banque sont exagérées; il reste trop peu de hauteur pour les étages supérieurs, ce qui donne aux façades de mauvaises proportions.

N° 7. — La disposition du hall, de la caisse et de la comptabilité est très bonne; par contre, comme au projet 4, l'entrée directe dans le hall depuis l'extérieur est inadmissible. Au 1^{er} étage il manque l'antichambre demandée au programme; celle-ci est remplacée par le palier de l'escalier auquel on a donné de plus grandes dimensions. La communication entre le bureau du directeur et la correspondance manque également. La distribution des appartements est très bonne. Les proportions des façades ne sont pas bonnes, par contre la perspective est habilement rendue.

N° 8. — Le hall est trop petit; il n'a pas les dimensions fixées au programme. Sa forme n'est, en outre, pas satisfaisante. La disposition des sous-sols en deux étages est très bonne; de même la distribution des appartements. Par contre, l'architecture des façades est d'un caractère trop étranger.

N° 11. — L'entrée du hall sans vestibule est inadmissible; l'escalier des appartements coupe trop les bureaux du rez-de-chaussée. Le sous-sol est bien aménagé, par contre la distribution des appartements laisse à désirer; les corridors de ceux-ci ne sont pas suffisamment éclairés. Les proportions des façades ne sont pas bonnes, mais la perspective est bien rendue.

N° 15. — Les dimensions des bureaux sont trop réduites; il reste trop peu de place pour la comptabilité. La distribution des appartements n'est pas heureuse; ici aussi les corridors sont trop peu éclairés.

Les façades et la perspective sont très habilement rendues, mais les proportions et les dimensions des fenêtres de l'entresol et du 3^e étage ne sont pas bonnes.

N° 16. — Le plan est mal conçu; la disposition ovale du hall donne trop peu de place derrière les guichets. Les bureaux sont mal groupés; la comptabilité est trop petite et la salle de pointage est trop éloignée de celle-ci. Le plan présente des défauts très graves au point de vue constructif.

Il est regrettable que la distribution intérieure de ce projet ne soit pas en rapport avec les façades et les perspectives qui sont habilement dessinées, de bonne composition et bien rendues.