

Recherches sur l'écoulement en régime permanent dans un canal à plafond horizontal débitant librement à son extrémité aval

Autor(en): **Golaz, Maurice**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **52 (1926)**

Heft 23

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-40325>

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.

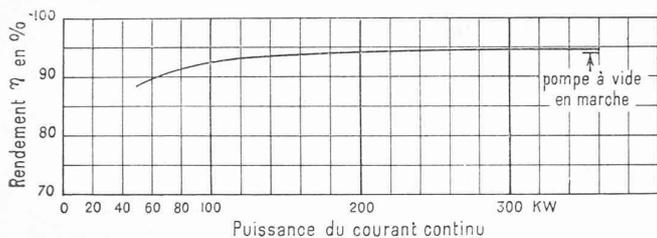


Fig. 5. — Rendement total déterminé par mesure directe de l'installation complète du redresseur et du transformateur, en fonction de la puissance du courant continu.

Nous devons à l'obligeance de M. E. Vez, directeur des Chemins de fer électriques veveysans, la communication des résultats d'exploitation suivants et du graphique de la fig. 5 dressé par l'« Institution de contrôle de l'Association suisse des Electriciens ».

Résultats comparatifs d'exploitation.

Consommation d'énergie durant la dernière année d'exploitation au moyen des groupes moteurs-générateurs : 912 400 kWh. Consommation d'énergie durant la première année d'exploitation au moyen du groupe redresseur : 730 000 kWh. Economie : 20%.

Les clichés des figures 1 à 4 sont la propriété de la Société Brown, Boveri & Cie.

Recherches sur l'écoulement en régime permanent dans un canal à plafond horizontal débitant librement à son extrémité aval,

par MAURICE GOLAZ, ingénieur, à Paris.

Considérons un canal à section rectangulaire de largeur b fonctionnant comme canal de décharge d'un lac-réservoir. La pente longitudinale du plafond est supposée négative et progressivement décroissante sur L_1 , rigoureusement nulle sur L_2 , positive sur L_3 , la loi de variation en L_1 et L_3 étant sensiblement celle représentée sur la fig. 1. La vitesse d'approche est supposée nulle. Imaginons en B une vanne V , de largeur b et de hauteur H_0 .

On se propose de déterminer le débit de régime Q , en régime permanent en courant, qui s'établira dans le canal, en supposant la vanne V complètement effacée.

Désignons par :

- x la distance d'un profil π au point A , pris comme origine,
- t le tirant d'eau,
- Ω la section mouillée = $b.t$,
- P le périmètre mouillé = $(b + 2t)$
- R le rayon hydraulique,
- q le débit linéaire = $\frac{Q}{b}$,

$$v_m \text{ la vitesse moyenne} = \frac{Q}{b.t} = \frac{q}{t},$$

H la hauteur de charge,

Δh la perte de charge mesurée entre A et le profil π ,

χ un coefficient défini par la relation,

$$\chi = \frac{\int^{\Omega} v^2 . d\omega}{v_m^2 \Omega} \quad 1,0 < \chi < 1,1$$

et tenant compte du fait que la force vive d'un courant liquide diminue si l'on substitue aux vitesses effectives v des divers filets parallèles une vitesse moyenne v_m .

D'après la définition même de la ligne de charge et en admettant le parallélisme des filets liquides sur le tronçon AB , on a, dans le profil π , la relation :

$$(1) \quad H = t + \chi \frac{v_m^2}{2g} = t + K.$$

Supposons que l'ordonnée de la ligne de charge au point A soit une expression de la forme

$$H_A = \xi H_0 \quad \text{avec} \quad \xi \leq 1.$$

Dans ces conditions on a

$$H = H_A - \Delta h = \xi H_0 - \Delta h.$$

Le coefficient ξ tient compte de la forme du radier L_1 .

Si ce tronçon est judicieusement construit, on peut, avec suffisamment d'exactitude, admettre que la valeur de ξ est très voisine de l'unité. On aura alors

$$H = H_0 - \Delta h.$$

En utilisant les notations du début, la relation (1) peut s'écrire

$$(2) \quad H = \frac{t^3 + C}{t^2} \quad \text{avec} \quad C = \frac{\chi q^2}{2g}.$$

Remarquons qu'à toute valeur de t correspond, pour un débit donné q , une seule valeur de H . Par contre, à toute valeur de H correspond un système de trois racines de t , dont deux, t' et t'' sont positives.

Il est intéressant de rechercher la valeur du minimum de la fonction $H = F(t)$ définie par (2). Pour cela, il suffit de poser

$$\frac{dH}{dt} = 0.$$

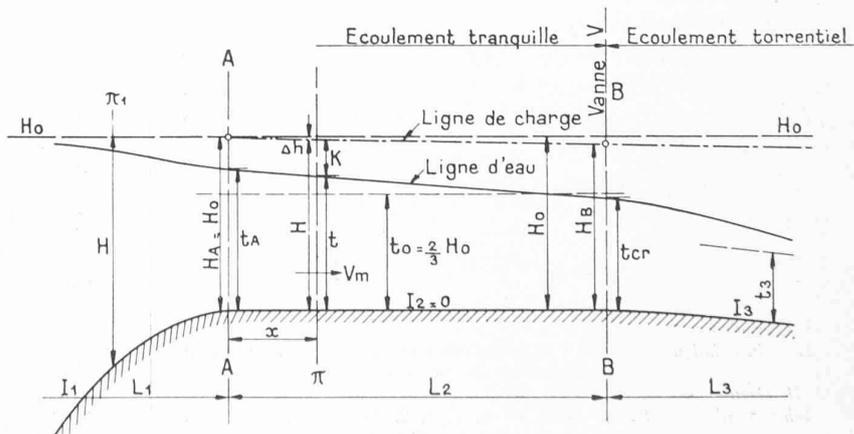


Fig. 1.

En résolvant par rapport à t , il vient

$$(3) \quad t = \sqrt[3]{\frac{\chi q^2}{g}} = t_{cr}.$$

La valeur particulière de t pour laquelle la fonction $H = F(t)$ passe par un minimum est appelée tirant critique t_{cr} . La valeur minima de H est dite charge critique H_{cr} .

Charge et tirant critiques sont liés par la relation extrêmement simple

$$(4) \quad H_{cr} = \frac{3}{2} t_{cr}$$

que l'on obtient en partant de (2). C'est l'expression, sous une forme différente, du principe du débit maximum énoncé pour la première fois par Bélanger.

Il est encore nécessaire de faire remarquer que des deux racines t' et t'' , l'une $t' > t_{cr}$, l'autre $t'' < t_{cr}$. Ces deux valeurs t' et t'' définissent, comme on le sait, deux natures de régime d'écoulement caractérisées par des propriétés essentiellement différentes. La première définit l'écoulement *tranquille*, la deuxième l'écoulement *torrentiel*¹.

Le passage du régime tranquille au régime torrentiel, le seul qui intervienne ici, se produit toujours sans transition apparente, dans le profil où la pente du radier s'accroît. Le tirant d'eau en ce point est précisément le tirant critique t_{cr} . On peut remarquer que la condition précédente n'est pas nécessaire pour entraîner ce changement de régime, lequel peut encore se produire dans un bief à pente constante, dont la rugosité des parois diminuerait brusquement.

Si l'on examine le canal représenté sur la figure 1 on voit immédiatement que le changement de régime doit se produire nécessairement au point B . Si H_B désigne l'ordonnée de la ligne de charge en B , le tirant d'eau s'obtiendra en appliquant la relation (4), c'est-à-dire que l'on aura

$$t_{cr} = \frac{2}{3} H_B.$$

Le régime d'écoulement sera tranquille en amont de B et torrentiel en aval.

Le tirant d'eau en aval de B tend vers une valeur limite t_3 pour laquelle l'écoulement est uniforme. Cette valeur $t_3 < t_{cr}$ s'obtient par l'application de la formule de Chézy pour la pente I_3 .

Ces notions préliminaires rappelées, cherchons à établir une relation simple entre le tirant t_A et le tirant t_{cr} . Il suffit pour cela d'exprimer l'égalité de débit passant par les deux sections A et B .

L'équation (2) appliquée dans le profil A et résolue par rapport à q donne

$$(5) \quad q = t_A \sqrt{\frac{2g}{\chi} (H_A - t_A)},$$

¹ Voir notamment :

Bulletin technique 1925, nos 7 et 8: Extrait d'une conférence faite devant la Section vaudoise de la Société suisse des ingénieurs et des architectes par M. H. Gruner, ingénieur-conseil, à Bâle.

Schweiz. Wasserwirtschaft 1922, nos 5, 7, 8, 9, 10: Die Versuche am Grundablassstollen Mühleberg und deren Verarbeitung, von A. J. Keller, dipl. Ing., an der Bauabteilung der B. K. W.

tandis que (3) peut s'écrire

$$(6) \quad q = t_{cr} \sqrt{\frac{g}{\chi} t_{cr}}.$$

On est conduit ainsi à

$$(7) \quad t_{cr} = \sqrt[3]{2t_A^2(H_A - t_A)},$$

indépendante du coefficient χ , à la seule condition toutefois d'admettre que χ conserve la même valeur sur toute la longueur du tronçon horizontal AB .

En posant $\xi = 1$, c'est-à-dire $H_A = H_o$, comme on l'a admis plus haut, la relation ci-dessus devient

$$(7 \text{ bis}) \quad t_{cr} = \sqrt[3]{2t_A^2(H_o - t_A)}.$$

Cherchons maintenant l'équation de la ligne d'eau dans le tronçon AB ; cette équation est évidemment de la forme $x = \Phi(t)$. Dans ce but, considérons deux profils π

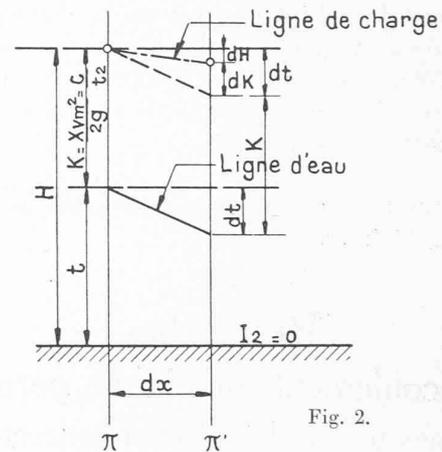


Fig. 2.

et π' distants de dx . Soit df la perte de charge due au frottement dans l'élément dx . Il est évident que lorsque le régime est établi, on doit avoir

$$(8) \quad dH = -df.$$

C'est l'équation différentielle de la ligne d'eau. En différentiant la relation (2), par rapport à t , on trouve :

$$(9) \quad dH = \left(1 - \frac{2C}{i^3}\right) dt$$

dont l'interprétation géométrique est immédiate. Il suffit pour cela de se reporter à la fig. 2.

D'autre part, la perte de charge élémentaire due au frottement est de la forme

$$(10) \quad df = \frac{Q^2 \cdot P}{\varphi^2 \Omega^3} \cdot dx$$

où φ est un coefficient qui dépend de \sqrt{R} et de la rugosité des parois. On adoptera de préférence pour φ l'expression proposée par Bazin

$$\varphi = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}.$$

Mais par suite de l'indécision où l'on se trouve pour donner une valeur exacte à γ , par suite aussi de la nature

empirique de la fonction φ , on adoptera sans erreur appréciable une valeur constante pour φ . On peut observer en effet que dans le tronçon L_2 , le tirant d'eau moyen diffère peu du tirant critique t_{cr_0} que l'on obtient en négligeant les pertes de charge. Ce dernier est exprimé du reste par la relation connue

$$t_{cr_0} = \frac{2}{3} H_0.$$

On posera donc avec une approximation suffisante

$$R = \frac{b \cdot t_{cr_0}}{b + 2t_{cr_0}} = R_0$$

et le coefficient φ deviendra

$$\varphi_0 = \frac{87}{1 + \frac{7}{\sqrt{R_0}}}$$

D'autre part, l'équation (8) s'écrit, en tenant compte de (9) et (10) :

$$(11) \quad \left(1 - \frac{2C}{t^3}\right) dt = -\frac{Q^2 P}{\varphi_0^2 \Omega^3} dx$$

ou encore avec (6)

$$(12) \quad \frac{t^3}{(b + 2t)} dt - t_{cr}^3 \frac{dt}{(b + 2t)} = -\frac{t_{cr}^3}{K_0} \cdot dx$$

$$\text{où } K_0 = \frac{\varphi_0^2 \chi b}{g}$$

L'intégration de (12) s'effectue par la substitution

$$b + 2t = z$$

d'où l'on tire

$$dt = \frac{dz}{2}$$

Après quelques développements, on est conduit au résultat final :

$$(13) \quad 2t(4t^2 - 3bt + 3b^2) - 3(b^3 + 8t_{cr}^3) \text{Lg}(b + 2t) = -\frac{48}{K_0} t_{cr}^3 x + A_0$$

dans laquelle A_0 est la constante d'intégration. C'est l'équation générale cherchée de la ligne d'eau dans le tronçon AB .

Appliquons maintenant l'équation (13) entre les profils A et B . Dans ces conditions, la quantité t varie entre t_A et t_{cr} , tandis que x passe de O à L_2 .

L'équation (13) devient alors

$$(14) \quad \left[2t(4t^2 - 3bt + 3b^2)\right]_{t_A}^{t_{cr}} - 3(b^3 + 8t_{cr}^3) \left[\text{Lg}(b + 2t)\right]_{t_A}^{t_{cr}} + \frac{48t_{cr}^3 L_2}{K_0} = 0$$

L'équation (14) jointe à la relation (7^{bis})

$$(7^{bis}) \quad t_{cr} = \sqrt[3]{2t_A^2 (H_0 - t_A)}$$

forment ensemble un système de deux équations à deux inconnues entre t_A et t_{cr} . La résolution pratique d'un tel système s'obtiendra par approximations successives en fixant arbitrairement, par exemple, la valeur de $t_A = t_A'$.

La relation (7^{bis}) fournira une valeur t'_{cr} . L'équation (14) devra être satisfaite pour le groupe des valeurs t'_A et t'_{cr} . Trois ou quatre essais suffiront en général pour trouver les racines t_A et t_{cr} .

On déterminera la valeur de la constante d'intégration A_0 par la condition aux limites. Enfin, la relation (6) donnera la valeur du débit linéaire q , partant Q . Le problème se trouve ainsi entièrement résolu.

Le tracé de la ligne d'eau en amont du profil A peut être obtenu approximativement de la façon suivante. Il suffit de revenir à la relation (2). La constante C est déterminée puisque le débit Q est maintenant connu. On pourra ainsi construire la courbe $H = f(t)$ définie par (2), où la charge H dans un profil quelconque π , est représentée par le tronçon de verticale compris entre le radier et la ligne horizontale d'ordonnée H_0 (fig. 1). Le fait est évident, puisque par définition, il a été admis plus haut que le tronçon L_1 satisfaisait à la condition $\xi = 1$.

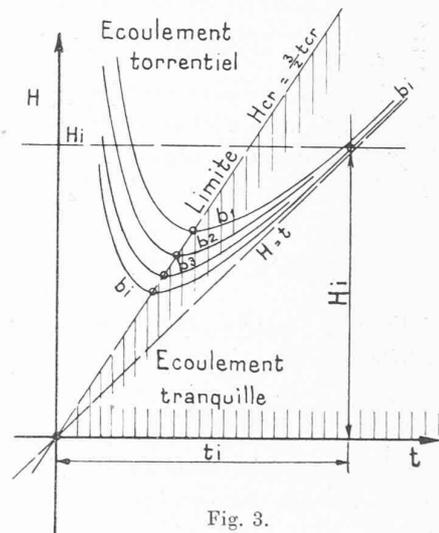


Fig. 3.

Mais, comme le tronçon L_1 présente en général une largeur variable, il sera nécessaire de déterminer les constantes C_1, C_2, C_i correspondant aux différentes largeurs b_1, b_2, b_i , de sorte que l'on est appelé à concevoir tout un réseau de courbes $H = f_i(t)$ (fig. 3). On peut observer que toutes ces courbes sont homothétiques entre elles.

Pour un profil π_i , (fig. 4), à distance δ_i de A , le tirant t_i correspondant à H_i s'obtient immédiatement à l'aide de la fig. 3. Il suffira de chercher l'intersection de l'horizontale d'ordonnée H_i avec la courbe relative à la largeur b_i . On prendra la racine $t'_i > t_{cr}$ puisque, ainsi qu'il a déjà été indiqué plus haut, l'écoulement est tranquille en amont de B .

Ce tracé n'est cependant pas absolument rigoureux parce que l'équation (2) ne tient pas compte de la courbure des filets liquides, qui, elle, n'est plus négligeable en amont de A . La ligne d'eau réelle se raccorde avec la droite d'ordonnée H_0 beaucoup plus tôt que la ligne théorique.

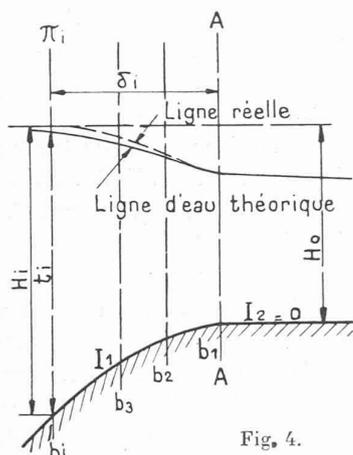


Fig. 4.

Enfin, la discussion de l'équation (14) conduit à quelques remarques intéressantes.

Tout d'abord il faut bien remarquer que l'équation (14) n'est plus applicable si la longueur du plafond L_2 devient très petite ou nulle. On sait en effet que lorsque L_2 est inférieur à $\frac{2}{3}H_0$, la lame déversante n'adhère plus au plafond. Elle se décolle en se contractant (déversoir en mince paroi à veine dénoyée). Or, l'influence de la courbure des filets a été systématiquement négligée.

Cependant si la longueur du radier L_2 satisfait à la condition

$$\frac{2}{3}H_0 < L_2 < 2H_0$$

on peut négliger les frottements et l'on retombe sur la formule de Bélanger, affectée du terme correctif χ

$$Q = 0,385bH^{3/2} \sqrt{\frac{2g}{\chi}}$$

La détermination expérimentale du coefficient χ a donné 1,038 pour les hausses automatiques du déversoir de Mühleberg.

En posant $\chi = 1,04$, la relation ci-dessus devient finalement

$$Q = 0,377bH^{3/2} \sqrt{2g}$$

Si on rapproche ce résultat de la formule classique de Dubuat

$$Q = \frac{2}{3} \mu bH^{3/2} \sqrt{2g}$$

on voit que le coefficient μ ne dépasse pas 0,565. Bazin, Lesbros ont trouvé expérimentalement pour μ une valeur voisine de 0,54. Le déversoir à crête épaisse présente donc un rendement défectueux ; c'est là un fait connu.

Ajoutons encore que si L_2 augmente, le débit de régime Q diminue et peut même s'annuler à partir d'une certaine longueur L_2^* du plafond AB. Cela signifie qu'un débit de régime ne peut plus s'établir dans le canal. L'écoulement deviendra intermittent. La valeur de L_2^* ne peut pas être déduite directement de l'équation (14) par le fait que le coefficient φ_0 ne peut plus être admis comme constant. La recherche de cette longueur limite ne présente du reste aucun intérêt pratique.

Deuxième concours restreint pour l'étude du nouveau bâtiment aux voyageurs à Genève-Cornavin.

(Suite et fin.¹)

N° 16. *Via*. — Ce projet a été retenu par le jury pour sa disposition analogue à celle du N° 11, quoique moins bien étudié et avec de très mauvaises façades.

N° 22. *Pierre du Niton A*. — Hall d'entrée dans l'axe de la rue du Mont-Blanc avec idée plus curieuse que bien étudiée du porche d'entrée. Plan simple et clair, mais avec locaux du rez-de-chaussée mal éclairés. Façades médiocres. En somme, ingéniosité dans certains détails, mais qualités architecturales médiocres.

À la suite de ces critiques, le jury procède au classement par ordre de valeur de ces neuf projets, comme suit :

N° 11. « La Place » ; 26. « La Rampe » ; 6. « Rue du Mont-Blanc » ; 28. « Mont-Blanc A » ; 20. « La Saume » ; 3. « C.F.F./B » 16. « Via » ; 22. « Pierre du Niton A » ; 23. « Ce sont les gares ».

Aucun des projets ne donnant complète satisfaction et ne pouvant être exécuté tel quel, le jury décide de ne pas attribuer de premier prix. Il fixe le nombre des récompenses à cinq, étant donné la somme mise à disposition par les C.F.F., soit Fr. 4000, 3500, 2000, 1500 et 1000.

L'ouverture des plis donne les résultats suivants :

- 1^{er} rang : Projet N° 11, « La Place » : M. *Julien Flegenhaimer*, architecte à Genève, prime de 4000 francs.
- 2^{me} rang : Projet N° 26, « La Rampe » : M. *Julien Flegenhaimer*, architecte à Genève. Conformément aux normes de la S. I. A., le même concurrent ne pouvant obtenir plus d'une prime, celle-ci passe au projet classé en 3^{me} rang.
- 3^{me} rang : Projet N° 6, « Rue du Mont-Blanc » : MM. *Guyonnet* et *Torcapel*, architectes à Genève, prime de 3500 francs.
- 4^{me} rang : Projet N° 28, « Mont-Blanc A » : MM. *Marc* et *Jean Camoletti*, architectes à Genève, prime de 2000 fr.
- 5^{me} rang : Projet N° 20, « La Saume » : M. *Georges Peloux*, architecte à Genève, prime de 1500 francs.
- 6^{me} rang : Projet N° 3, « C.F.F./B. » : MM. *Guyonnet* et *Torcapel*, architectes à Genève. Même observation concernant la prime que pour le projet N° 26 (2^{me} rang).
- 7^{me} rang : Projet N° 16, « Via » : M. *Julien Flegenhaimer*, architecte à Genève. Même observation concernant la prime que pour les projets N°s 26 et 3 (2^{me} et 6^{me} rang).
- 8^{me} rang : Projet N° 22, « Pierre du Niton A » : M. *Arnold Itten*, architecte à Thoune, prime de 1000 francs.

Vœux formulés par le jury.

Le jury, conscient de la tâche qu'il a assumée, tient à exposer ci-après les quelques observations formulées au cours de son jugement.

Il tient tout d'abord à déclarer, que si le projet « La Place » a été classé en premier rang, c'est surtout à cause de la composition du plan qui lui a paru le mieux convenir aux exigences du programme et aux conditions locales.

Il objecte cependant que si, à première vue, l'ordonnance des façades de ce projet ne manque pas d'une certaine tenue, l'architecture en est très banale et tire son caractère monu-

¹ Voir *Bulletin technique* du 24 octobre 1926, page 266.