

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 49 (1923)  
**Heft:** 26

**Artikel:** Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der  
Rauhigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen  
**Autor:** Strickler, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-38271>

### **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>**

### Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen<sup>1</sup>,

par le Dr A. STRICKLER, Chef de la Section pour la navigation et les usines de basse chute.

L'étude du régime des fluides et notamment la recherche de la loi qui régit la vitesse moyenne du courant dans une section transversale, a conduit à l'élaboration de nombreuses formules. Parmi ces dernières, celles de Bazin et de Gauckler et Kutter ont été le plus fréquemment employées jusqu'à maintenant en Suisse. Les formules de date plus récente portent l'empreinte de la nouvelle tendance générale des hydrauliciens modernes qui consiste à exprimer la loi de la vitesse moyenne au moyen d'une équation exponentielle; telle est par exemple la formule bien connue de Forchheimer.

$$v_m = k \cdot R^{0,7} \cdot J^{0,5} *$$

Cependant les avis demeurent très partagés sur la valeur à donner aux exposants de  $R$  et de  $J$ . D'autre part, certains hydrauliciens ont essayé d'introduire pour les fleuves une formule exempte de coefficient de rugosité; ainsi Siedek, Matakiewicz, Hermanek. En un mot la diversité des formules est considérable, en particulier pour le calcul de la vitesse moyenne dans les conduites fermées. Et pourtant, il semble évident que la perte de charge due à l'écoulement des fluides doit être régie par une loi fondamentale unique, que cet écoulement se fasse à découvert ou dans une conduite fermée.

L'auteur s'est assigné comme tâche de rechercher, à la lumière des résultats obtenus à la suite de minutieuses expériences, si la forme exponentielle convenait en général à l'expression de cette loi fondamentale; en même temps il a cherché à déterminer la valeur à donner aux exposants de  $R$  et de  $J$ . Les données utilisées à cet effet ont été puisées dans le riche matériel fourni au Service des Eaux par les stations hydrométriques qu'il entretient depuis de nombreuses années sur le Rhin, le Rhône, l'Aar, etc., et, en partie aussi, dans les publications de divers auteurs (Bazin, Kutter, etc.). Les résultats obtenus ont été les suivants:

Dans le domaine de l'hydraulique pratique — où l'on fait abstraction des très petites dimensions — l'expression  $v_m = k \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}}$  est celle qui convient le mieux;  $k$  est alors une constante effective qui ne dépend que de la nature des parois. C'est la formule que Gauckler avait déjà établie pour des valeurs de  $J > 0,7 \text{ ‰}$  (0,7 m. par km.) Pour  $J < 0,7 \text{ ‰}$  Gauckler proposa la formule  $v_m = k_2 \cdot R^{\frac{4}{3}} \cdot J$ .

En opposition à cette manière de voir, il a été prouvé

<sup>1</sup> La note qui suit est un résumé de la très remarquable « Communication » N° 16 du Service fédéral des eaux, consistant en un volume de 48 pages de texte, avec 14 tableaux et 41 planches hors texte. En vente, au prix de 5 francs, dans toutes les librairies et au Secrétariat du Service des eaux, Bollwerk, 27, Berne.

\*  $v_m$  = vitesse moyenne du courant dans la section considérée,  $k$  = coefficient de vitesse,  $R$  = rayon moyen,  $J$  = pente superficielle.

maintenant à l'aide des nombreuses données fournies par le Service des Eaux que la forme  $k \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}}$  est généralement valable et que le coefficient  $k$  reste constant tant que le plafond ne change pas.

Ceci n'est pas tout à fait le cas pour la formule de Gauckler et Kutter et encore moins pour celle de Bazin. Fait intéressant à noter:  $k$  diminue lorsque le niveau augmente aux endroits où les alluvions se mettent en mouvement, provoquant ainsi un accroissement de la rugosité.

En désignant par  $\rho$  le diamètre de petites sphères avec lesquelles on devrait tapisser les parois d'une conduite pour reproduire d'une manière identique le degré de rugosité d'une paroi considérée avec ses aspérités naturelles, on aboutit à un autre résultat non moins intéressant dans la façon d'exprimer le coefficient de vitesse  $k$ :

$$k = \text{prop.} \cdot \rho^{-\frac{1}{6}}$$

d'où

$$v_m = 21 \cdot \sqrt[6]{\frac{R}{\rho}} \cdot \sqrt{R \cdot J}$$

où 21 est une constante absolue.

Le phénomène de l'accroissement de la rugosité du plafond, mentionné précédemment, s'explique de la façon suivante. Les galets qui tapissent le lit d'un cours d'eau ont généralement la forme d'ellipsoïdes très aplatis; à l'état de repos, c'est-à-dire quand la vitesse moyenne du courant  $v_m$  demeure inférieure à la vitesse limite  $v_g$ , ces galets reposent à plat les uns sur les autres, offrant dans cette position un minimum de résistance à l'écoulement de l'eau. Mais, dès que la vitesse  $v_m$  dépasse la vitesse limite  $v_g$ , les galets sont soulevés de leur assise et roulés les uns sur les autres. Dans cette seconde phase les galets présentent successivement leurs diverses faces au courant et accroissent ainsi la rugosité du lit puisqu'ils en augmentent les aspérités.

L'étude plus approfondie de l'écoulement dans les conduites de petit diamètre, a montré que la formule de Gauckler

$$v_m = k \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}} \text{ ou } J = \frac{v_m^2}{k^2 \cdot R^{\frac{4}{3}}}$$

n'était pas autre chose qu'une abréviation d'une formule plus générale:

$$J = \frac{v_m^2}{k^2 \cdot R^{\frac{4}{3}}} + \frac{2\pi \cdot \eta}{\gamma \cdot R^2} v_m$$

ou

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{\gamma}{k^2 \cdot R^{\frac{4}{3}}} v_m^2 + \frac{2\pi \cdot \eta}{R^2} v_m$$

ou encore

$$v_m = \sqrt{k^2 \cdot R^{\frac{4}{3}} \cdot J + \left[ \frac{\pi \cdot \eta}{\gamma} \cdot \frac{k^2}{R^{\frac{2}{3}}} \right]^2} - \frac{\pi \cdot \eta \cdot k^2}{\gamma \cdot R^{\frac{2}{3}}}$$

où  $\eta$  = coefficient de frottement intérieur ou de viscosité,  $\gamma$  = poids spécifique du fluide,

$\frac{\Delta p}{L}$  = perte de pression (en kg par m<sup>2</sup>) par m. courant.

Cette nouvelle équation, développée par l'auteur, est aussi valable pour les conduites de petites dimensions (jusqu'à une valeur de  $R$  d'environ 1 cm\*) et pour tous les degrés de rugosité y compris les parois parfaitement lisses, pour les canaux découverts et les conduites fermées, dans le cas d'un fluide à mouvements turbulents, c'est-à-dire pour le cas où la vitesse moyenne  $v_m$  est plus grande que la vitesse critique  $v_k$ . Dans cette formule générale le premier terme de la somme représente la perte de charge due à la turbulence et le second la perte due à la viscosité. Pour l'eau la perte de charge due à la viscosité est en général petite comparativement à celle due à la turbulence; ainsi dès que la vitesse  $v_m$  et le rayon moyen  $R$  dépassent une certaine valeur le second terme de la somme peut être négligé. Il est intéressant de constater qu'en régime turbulent, la perte de charge due aux frottements intérieurs est  $\pi$  fois plus grande qu'en régime parfaitement régulier, soit lorsque la vitesse  $v_m$  demeure inférieure à la vitesse critique  $v_k$  (d'après Reynolds  $= \frac{2000 \cdot \eta g}{D \cdot \gamma}$ ); dans ce dernier cas la perte de charge est, comme on sait, de :

$$J = \frac{2 \cdot \eta}{\gamma \cdot R^2} \cdot v_m$$

L'équation principale

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{\gamma}{k^2 \cdot R^3} \cdot v_m^2 + \frac{2 \cdot \pi \cdot \eta}{R^2} \cdot v_m$$

n'est pas seulement valable pour l'eau, mais aussi pour les gaz et les vapeurs. Une série d'expériences faite avec du gaz d'éclairage . . . . ( $\gamma = 0,5, 10^6 \cdot \eta = 0,62$ ),\*\* de la vapeur saturée. . . ( $\gamma = 2,6, 10^6 \cdot \eta = 7,35$ ), de l'air atmosphérique . ( $\gamma = 1,24, 10^6 \cdot \eta = 3,86$ ), de l'air comprimé . . . . ( $\gamma = 8,6, 10^6 \cdot \eta = 3,7$ ), et de l'eau . . . . . ( $\gamma = 1000, 10^6 \cdot \eta = 134$  à la température de 10° C.) a donné comme résultat pour les tuyaux en fonte une valeur moyenne unique de  $k = 90$ , pour les tuyaux en fer fondu une valeur de  $k = 130$ . Il est ainsi démontré que  $k$  est indépendant de la viscosité  $\eta$ , c'est-à-dire de la nature du fluide; il en est par conséquent de même de la part de perte de pression due à la turbulence  $\left[ \frac{k^2 \cdot R^3}{\gamma v_m^2} \right]$ .

Partant de l'équation abrégée

$$v_m = k \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}} = k \cdot \sqrt[6]{R} \cdot \sqrt{RJ}$$

l'auteur a dérivé, sur la base de certaines considérations théoriques, quelques formules pour la répartition des vitesses dans le cas de sections simples. Il a trouvé en régime turbulent: pour une section rectangulaire très large que

\* Pour des dimensions inférieures à  $R = 1$  cm. les relations se compliquent, étant donné qu'alors l'influence des forces capillaires ne peut plus être négligée.  
\*\* Unités pratiques (m.-kg.-sec.).

$$v = \frac{7}{6} \cdot v_m \cdot \sqrt[6]{1 - \frac{t}{t_a}}$$

pour une section circulaire assez grande que

$$v = \frac{13}{12} \cdot v_m \cdot \sqrt[12]{1 - \left[ \frac{r}{r_a} \right]^2}$$

où

- $t$  = distance du plan d'eau à un point considéré
- $t_a$  = distance entre la plan d'eau et le plafond
- $r$  = rayon en un point considéré
- $r_a$  = rayon de la conduite.

Il est démontré, à l'aide d'un certain nombre d'exemples tirés de mensurations directes, que les vitesses obtenues par l'application de ces formules correspondent d'une façon satisfaisante aux vitesses mesurées.

En vue de faciliter, dans le domaine de l'hydraulique pratique, l'usage de la formule de Gauckler ainsi que celui de la nouvelle formule binôme on a fait figurer dans le tableau ci-après les valeurs de  $k$  pour différents degrés de rugosité des parois et du plafond, tels qu'ils résultèrent des mensurations, en plaçant en regard de ceux-ci les coefficients correspondants de Bazin et de Gangillet et Kutter.

Tableau des coefficients.

	$k$ nouvelle formule	$\epsilon$ Bazin	$n$ Gangillet- Kutter
Rocher très grossier . . . . .	15 ÷ 20		
» moyen . . . . .	20 ÷ 28		
Gros cailloux . . . . .	25 ÷ 30		
Gravier grossier env. 50/100/150 mm.	35	1,75	0,030
» moyen » 20/40/60 »	40	1,30	0,025
» fin » 10/20/30 »	45		0,022
Gravier fin avec une forte proportion de sable, maçonnerie en moellons grossiers . . . . .	50	0,85	0,020
Maçonnerie en moellons bien travaillés, béton coulé dans un bon coffrage, sans enduit . . . . .	60	0,46	0,017
Pierre travaillée, tuiles appareillées	80	0,16	0,013
Tuyaux en tôle rivée avec plusieurs joints sur le pourtour . . . . .	65 ÷ 70		
Tuyaux en tôle rivée avec 1 joint sur le pourtour . . . . .	85 ÷ 100		
Tuyaux neufs en fonte, béton lissé, planches, douves, vase fine . . . . .	90		0,012
Tuyaux avec incrustation moyenne	70		
Ciment lissé, bois raboté . . . . .	100	0,06	0,010
Tuyaux à gaz, tuyaux galvanisés . . . . .	125 ÷ 135		
Tuyaux en zinc et en cuivre, étirés	150		

**Concours pour l'étude d'un Musée des Beaux-Arts à ériger à la Chaux-de-Fonds.**

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

N° 1, « Simplicité ». Bon projet; les entrées du parc et du Musée sont bien comprises. La disposition des salles autour d'un hall central est claire et bien ordonnée. L'escalier spécial

<sup>1</sup> Voir Bulletin technique du 8 décembre 1923, page 307.