LES FORMULES DU MOUVEMENT UNIFORME DANS UN CANAL PRISMATIQUE CONSIDÉRÉES DU POINT DE VUE DE L'HYDRAULIQUE FLUVIALE

par

F. CAMPUS (*)

Le mouvement uniforme est une sorte de fiction en hydraulique fluviale, car il a comme postulat l'écoulement en filets parallèles dans un lit prismatique. Cependant, les formules établies pour ce mouvement sont parmi les plus importantes pour l'hydraulique fluviale et on doit y recourir fréquemment. Ces prémisses permettent de conclure qu'un choix éventuel parmi les formules qui peuvent être proposées doit être raisonnablement fondé sur l'opportunité pratique, c'est-à-dire sur l'exactitude et la commodité combinées.

Il est utile de comparer, à ce point de vue, les formules classiques plus ou moins anciennes, telles que celles de Bazin et de Manning, que des auteurs modernes considèrent comme surannées, et des formules nouvelles que ces auteurs préconisent avec autorité. L'inspiration de ces nouveautés est puisée dans les travaux contemporains sur les pertes de charge dans le cas de l'écoulement uniforme en conduites cylindriques. Comme il s'agit généralement de mouvement turbulent, les formules nouvelles sont basées sur les notions de la « longueur de mélange » et de la « couche limite » de Prandtl ainsi que sur la loi universelle de répartition des vitesses de Karman, c'est-à-dire sur des considérations théoriques.

(*) Ingénieur des constructions civiles, grade légal, Université de Bruxelles 1914. Ingénieur électricien, grade complémentaire scientifique, Université de Liège 1919. Professeur ordinaire à la Faculté des Sciences appliquées à l'Université de Liège 1925. Directeur des Laboratoires d'essais des constructions du Génie civil et d'Hydraulique fluviale de l'Université de Liège 1930.

Le Prof. J. Th. Thysse (1) établit comme suit ces formules.

La vitesse v d'un filet liquide à distance normale h de la paroi est

$$v = \frac{v^*}{\chi} \ln \frac{y}{y_o}$$

v^* est la « vitesse de cisaillement ». Elle est égale à $\sqrt{\frac{\mathcal{T}}{\rho}}$, ρ étant la masse spécifique de l'eau et $\mathcal{T}$ la tension de cisaillement à la paroi. M. Thysse pose $v^* = \sqrt{g\mathrm{RI}}$, R étant le rayon hydraulique moyen et I la pente, ce qui revient à admettre $\mathcal{T} = \Delta\,\mathrm{RI}$, Δ étant le poids spécifique de l'eau.

χ est une constante universelle sans dimensions, égale à 0,40. y_o est la distance normale à la paroi du point où la courbe de variation des vitesses suivant la normale a une abscisse nulle.

L'épaisseur δ de la couche limite dérive de la relation

$$\psi = \frac{v^* \delta}{\nu}$$

ψ étant le nombre de Reynolds à la paroi et ν le coefficient de viscosité cinématique.

ψ, nombre sans dimensions, a la valeur constante 11,6.

Enfin, on définit un facteur de rugosité k, égal au diamètre de grains sphériques accolés fixés à la paroi donnant la même rugosité que la paroi réelle, selon le concept de la rugosité artificielle de Nikuradse pour les conduites.

De mesures précises, faites notamment par M. Burgers, M. Thysse déduit que près d'une paroi lisse $y_o = \frac{\delta}{117}$, et, près d'une paroi rugueuse, $y_o = \frac{k}{33}$.

On en déduit : $\delta = 11{,}6\ \frac{\nu}{v^*}$,

$$v = 2{,}5\, v^* \ln \frac{117\, y}{\delta} \quad \text{pour les parois lisses,}$$

$$v = 2{,}5\, v^* \ln \frac{33\, y}{k} \quad \text{pour les parois rugueuses.}$$

Par intégration pour l'ensemble de la section, la vitesse moyenne peut être trouvée sous la forme $u = \varphi v^*$. Cette intégration n'est toutefois possible que pour les sections rectangulaires infiniment larges et les sections circulaires. On trouve ce qui suit :

Parois	Section	φ
lisses	rectangulaire	$2{,}5 \ln 43{,}1 \dfrac{R}{\delta}$
	circulaire	$2{,}5 \ln 52{,}3 \dfrac{R}{\delta}$
rugueuses	rectangulaire	$2{,}5 \ln 12{,}2 \dfrac{R}{k}$
	circulaire	$2{,}5 \ln 14{,}8 \dfrac{R}{k}$

Dans une section rectangulaire infiniment large, la vitesse moyenne se produit à une distance du fond égale à $0{,}368\, R = 0{,}368\, h$ (le rayon hydraulique moyen étant égal à la profondeur h). Dans une section circulaire, cette distance est $0{,}446\, R$ (R étant la moitié du rayon géométrique de la section).

La transition entre les parois lisses et les parois rugueuses est incertaine. La couche limite est perturbée et l'effet de la rugosité est variable selon la forme et le type des aspérités. La rugosité artificielle régulière produit une faible résistance de frottement; les rugosités irrégulières, discontinues et tabulaires produisent une résistance plus élevée.

Selon une suggestion de White, M. Thysse propose de cumuler les deux effets et d'écrire $y_o = \dfrac{\delta}{117} + \dfrac{k}{33}$ d'où les valeurs suivantes :

$\varphi = 2{,}5 \left[l_n R - l_n \dfrac{\delta}{43{,}1} - l_n \dfrac{k}{12{,}2} \right]$ pour les sections rectangulaires infiniment larges et

$\varphi = 2{,}5 \left[l_n \mathrm{R} - l_n \dfrac{\delta}{52{,}3} - l_n \dfrac{k}{14{,}8} \right]$ pour les sections circulaires.

A ce point de l'établissement des formules, M. Thysse admet que si les coefficients numériques qui y figurent ont été très précisément déterminés, par contre les grandeurs δ et k seront toujours appréciées avec quelqu'imprécision. Il en conclut à la légitimité de modifier les coefficients numériques et d'écrire une formule unique pour toutes les sections

$$\varphi = 2{,}5 \left[l_n \mathrm{R} - l_n \frac{\delta}{48} - l_n \frac{k}{12} \right]$$

ou

$$\varphi = 2{,}5 \left[l_n 12\mathrm{R} - l_n \frac{\delta}{4} - l_n k \right]$$

Donc $\quad u = \varphi v^* = \varphi \sqrt{g\mathrm{RI}} = (\varphi\sqrt{g})\sqrt{\mathrm{RI}}$

Comparant à la formule de Chézy : $u = \mathrm{C}\sqrt{\mathrm{RI}}$,

on obtient : $\mathrm{C} = \varphi\sqrt{g} = 7{,}82 \left(l_n 12\,\mathrm{R} - l_n \dfrac{\delta}{4} - l_n k \right)$,

ou encore, en logarithmes décimaux

$$\mathrm{C} = 18 \left(\log 12\,\mathrm{R} - \log \frac{\delta}{4} - \log k \right)$$

Pour l'application, on commence par déterminer

$v^* = \sqrt{g\mathrm{RI}}$ (de l'ordre de 10^{-2} m/sec.) .

Ensuite δ par la formule modifiée

$$\delta = \frac{\psi\nu}{v^*} = \frac{12\nu}{v^*}$$

Pour l'eau à 20° C, $\nu = 10^{-6}$ m²/sec.

Il en résulte que δ est toujours très faible en hydraulique fluviale (de l'ordre de 10^{-4} m). $\dfrac{\delta}{4}$ est donc toujours sensiblement plus petit que k, sauf pour les parois très lisses. On peut donc généralement, pour les canaux découverts rugueux, négliger le terme en δ.

M. Thysse donne le tableau suivant des valeurs provisoires de k, pour les canaux découverts et pour les conduites, sujet à amélioration et à extension.

Nature des parois		k (en m.)
Terrain avec obstacles importants		0,4
Blocs de rocher		0,2
Cours d'eau avec végétation		0,15
Pierres		0,10
Pierrailles	Fond de sable	0,05
Gravier	mobile	0,02
Sable graveleux		0,01
Béton rugueux érodé		0,01
Terre lisse		0,008
Maçonnerie de briques grossière		0,005
Béton brut, maçonnerie de moellons jointoyée		0,003
Acier corrodé, bois usagé		0,002
Bonne maçonnerie de briques, bois non raboté		0,001
Béton lissé, bois raboté		0,0005
Béton très lisse		0,0002
Béton centrifugé, acier lisse		0,0001
Acier asphalté, verre		0,000025

M. Thysse considère que ces formules sont incommodes lorsqu'il y a lieu de les différencier et il suggère de recourir dans ce cas à une formule de puissance de la forme

$$\varphi = \frac{\varphi m}{2{,}72}\left[\frac{12\ \mathrm{R}}{0{,}25\ \delta + k}\right]^{\frac{2{,}5}{\varphi m}} \mathrm{R}^{\frac{2{,}5}{\varphi m}} \quad ,$$

proposée par M. J. Bossen.

φm est la valeur moyenne de φ découlant de la formule logarithmique dans le domaine restreint d'application de la formule de puissance, domaine qui doit être assez limité pour que les écarts restent faibles par rapport à la formule logarithmique.

Selon un exemple numérique de M. Thysse, pour $\nu = 10^{-6}\ \mathrm{m^2/sec}$ (eau à 20°C), $\mathrm{R} = 2\mathrm{m}$, $\mathrm{I} = 2 \times 10^{-4}$, on a :

pour $k =$	0,003 m	une	puissance	1 /9
	0,008 m	»	»	1 /8
	0,022 m	»	»	1 /7
	0,06 m	»	»	1 /6
	0,17 m	»	»	1 /5
	0,45 m	»	»	1 /4

Par exemple, pour $k = 0{,}06$ m, $\varphi = 13{,}4\ R^{\frac{1}{6}}$,

d'où $C = \varphi\sqrt{g} = 42\ R^{\frac{1}{6}}$ et $u = 42\ R^{2/3}\ I^{1/2}$

En conclusion, M. Thysse propose de ne plus utiliser les formules anciennes, telles que celles de Bazin et de Manning, mais bien les formules logarithmiques et, en cas de nécessité seulement et dans un domaine restreint, les formules de puissance qu'on peut en déduire. Il ajoute que la formule logarithmique devrait être contrôlée le plus possible par des observations. On en déduirait les valeurs de k pour toutes sortes de natures de parois. M. Thysse considère comme important que k ait le même ordre de grandeur que les aspérités réelles des parois. Dans certains cas, il est plus grand, notamment si les obstacles sont très espacés, Dans la plupart des cas, il y a concordance. D'après cela, la détermination de la valeur correcte de k peut se faire par l'observation de la paroi. La longueur k est un facteur réel, ce qui diffère heureusement des coefficients de rugosité non physiques des anciennes formules.

Déjà en 1923, M. Strickler a introduit la dimension des aspérités dans sa formule de puissance.

* * *

Il est possible de justifier les formules classiques du type de Chézy $u = C\sqrt{RI}$ par une voie scientifiquement correcte s'inspirant de celle indiquée par MM. R. et M. Koechlin (²).

Les forces en équilibre dans le mouvement uniforme d'un prisme d'eau compris entre deux sections transversales distantes de l'unité se ramènent à la composante motrice de la pesanteur ou force tangentielle et à la résultante des frottements à la paroi. Leur égalité s'écrit :

$$\rho f \int^{\chi} \frac{v_f^2}{2}\, d\chi = \Delta \omega \mathrm{I}$$

Pour le premier membre, nous écrivons $\rho f v_{fe}^2 \chi$

f étant le coefficient de frottement global, v_{fe} la vitesse efficace de fond, χ le périmètre mouillé. ω est la section mouillée, d'où $\mathrm{R} = \dfrac{\omega}{\chi}$

On déduit de là : $v_{fe} = \sqrt{\dfrac{2g}{f}}\sqrt{\mathrm{RI}} = \mathrm{C}_1 \sqrt{\mathrm{RI}}$

On remarque que v_{fe} est homologue à la vitesse de cisaillement, puisque $v_{fe} = \sqrt{\dfrac{2}{f}}\sqrt{g\mathrm{RI}}$

(f est un coefficient sans dimensions).

La vitesse efficace de fond diffère peu de la vitesse moyenne de fond

$$v_{fm} = \frac{1}{\chi}\int v_f\, d\chi$$

En effet, posons $v_f = v_{fm} + \delta v_f$, il en résulte que

$$\int^{\chi} (\delta v_f)\, \delta\chi = 0$$

Dès lors, $v_{fe}^2 = \dfrac{l}{\chi}\displaystyle\int v_f^2\, \delta\chi = v_{fm}^2 + \frac{1}{\chi}\int^{\chi} (\delta v_f)^2\, \delta\chi = v_{fm}^2(1+\mu)$,

en posant $\mu = \dfrac{\displaystyle\int^{\chi} (\delta v_f)^2\, \delta\chi}{\chi v_{fm}^2}$, quantité nécessairement faible.

Donc $v_{fe} = v_{fm}\sqrt{1 + \mu}$

et $$v_{fm} = \frac{\mathrm{C}_1}{\sqrt{1+\mu}}\sqrt{\mathrm{RI}} = \sim \frac{\mathrm{C}_1\sqrt{\mathrm{RI}}}{1 + 0.5\,\mu}$$

La relation entre $u = \int^{X} \frac{vdw}{\omega}$ et v_{fm} dépend de la distribution des vitesses dans toute la section et près de la paroi. Ce n'est que tout-à-fait exceptionnellement, pour des canaux artificiels de forme très régulière et très simple et d'une rugosité très régulière, généralement faible, que le concept de loi universelle de répartition des vitesses peut être envisagé. Pour beaucoup de canaux artificiels pratiques et certes pour les cours d'eau naturels, le concept de la loi universelle ne concorde pas avec les faits. Les mesures de vitesses effectuées avec les instruments les plus commodes et pratiquement assez précis que sont les moulinets, révèlent des complications considérables et irrégulières dans les variations des vitesses et ne concordent que rarement avec des lois simples. Le nœud de la question est là. Il s'agit de choisir entre deux voies.

L'une est la voie la plus ancienne qui consiste à déduire entièrement de l'observation la formule et les coefficients numériques à y introduire. L'autre consiste à admettre une loi universelle de répartition des vitesses et d'en déduire une formule de la manière qui a été indiquée. On laisse à l'observation la faculté de contrôler la valeur d'un coefficient numérique, mais non la validité de la formule.

La première est en somme la plus ardue et c'est cependant celle qui a été suivie en premier lieu. On peut croire que la deuxième n'aurait pas pu être pratiquée avec tant d'assurance si elle n'avait été précédée de la première. Mais, comme l'écrit M. Thysse (1), on ne peut attendre de ces calculs une très grande précision et comme les expériences sont difficiles à interpréter et conduisent à d'assez grands écarts des résultats, les différences entre diverses formules ne sont pas capitales. Il ne s'agit en fin de compte que d'ajuster des formules à des diagrammes de résultats expérimentaux dispersés, ce qui peut se faire de diverses manières avec des résultats assez concordants dans des domaines plus ou moins limités.

Au point de vue de la validité des formules, ce qui compte en définitive c'est qu'elles soient en accord le mieux possible et le plus généralement possible avec les résultats d'observations et d'expériences. Un tel résultat établit que, malgré la non validité pratique d'une loi universelle de répartition des vitesses, il existe une corrélation assez serrée entre la vitesse moyenne (ou le débit), les dimensions, la pente et la nature des parois du lit.

La question de la prééminence d'une formule ne peut être à priori tranchée par la voie suivant laquelle elle a été établie, mais seulement par le critère de l'exactitude de son adaptation à la corrélation établie par les résultats d'observation et d'expérience. Les observations et les expériences anciennes doivent être prises en considération dans la mesure où elles sont explicites et dignes de confiance. v. Mises (3) met en garde, avec raison, contre les incertitudes résultant des erreurs sur les pentes dans les calculs déduits de l'observation. Il est souhaitable que de nombreuses observations nouvelles soient effectuées avec un soin éclairé. Une distinction importante est à faire entre les observations dans la nature et les expériences en laboratoire. Celles-ci, portant sur des canaux artificiels de dimensions généralement modérées, ont un poids réduit en ce qui concerne l'hydraulique fluviale. Il faut bien se garder dans ce domaine de substituer le laboratoire d'essais sur modèles réduits à la nature. Suppléer à l'observation nécessaire par l'expérience outrepasserait ce qu'il est raisonnable d'attendre des laboratoires d'hydraulique fluviale.

C'est dans cet esprit que *v.* Mises (3) recommande pour les canaux découverts et surtout pour les cours d'eau naturels l'emploi de formules empiriques du type de celle de Bazin plutôt que celui d'une formule plus rationnelle et plus universelle, pour laquelle v. Mises propose (selon les notations indiquées plus haut de M. Thysse) :

$$\varphi = \sqrt{\frac{2}{0{,}0024 + 0{,}707\sqrt{\frac{k}{R}} + 0{,}3\sqrt{\frac{\nu}{2R\,u}}}} \quad \text{(m, sec)}$$

En hydraulique fluviale, le troisième terme du dénominateur est généralement négligeable.

Pour établir ces formules empiriques, on passe de la formule de v_{fm} à celle de Chézy par le rapport $\varepsilon = \frac{v_{fm}}{u} > 1$

donc $u = \frac{C_1}{\varepsilon\sqrt{1+\mu}}\sqrt{RI} = \frac{1}{\varepsilon}\sqrt{\frac{2g}{f(1+\mu)}}\sqrt{RI} = C\sqrt{RI}$

Donc $C = \frac{1}{\varepsilon}\sqrt{\frac{2g}{f(1+\mu)}}$

C'est une fonction de la rugosité, des dimensions de la section et de la vitesse, c'est dire de la répartition des vitesses. Le nombre de Reynolds étant généralement élevé en hydraulique fluviale, C est principalement fonction de la rugosité relative $\frac{k}{R}$. Sa forme indique qu'il peut varier dans un même lit selon l'état du courant, c'est-à-dire selon le débit.

Les formules anciennes, établies avant la généralisation des notations de l'analyse dimensionnelle en hydraulique, ne mettent pas ce facteur explicitement en évidence. Pour n'en considérer que deux, la formule de Bazin, classique en Belgique, s'écrit :

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

et la formule de Manning : $C = KR^{1/6}$.

C ayant comme dimensions $l^{1/2}t^{-1}$, le coefficient de rugosité γ de Bazin a comme dimensions $l^{1/2}$ et celui K de Manning $l^{1/3}t^{-1}$.

Cependant, depuis 1923, M. Strickler (1) (4) (5) a mis en évidence le facteur $\frac{k}{R}$ dans la formule de Manning, en écrivant $C = K'\left[\frac{R}{k}\right]^{1/6}$, c'est-à-dire $K' = Kk^{1/6}$. Ce coefficient K′ a une valeur sensiblement constante égale à

20 $m^{1/2}$/sec. Les valeurs appropriées de k correspondent sensiblement à celles du tableau précédent de M. Thysse.

Il paraît possible de mettre la formule de Bazin sous une forme analogue, en écrivant $\gamma^2 = \beta k$ (β est sans dimensions).

d'où
$$C = \frac{87}{1 + \sqrt{\beta}\sqrt{\frac{k}{R}}}$$

En première approximation, la valeur $\beta = 15$ semble admissible, sous réserve de contrôle par l'observation. Le fait que ces anciennes formules soient susceptibles d'être mises aisément sous des formes qui répondent à l'évolution générale des conceptions de l'hydraulique est de nature à mitiger les tendances à une défaveur fondée sur des raisons doctrinales.

La formule de puissance présente non seulement l'avantage de la différentiation facile, mais aussi celui de faciliter la transformation de la formule de Chézy sous la forme dite monôme

$$u = C_R \sqrt{I}$$

Cette forme facilite l'établissement de tables ou d'abaques pour le calcul des éléments du mouvement uniforme (6). La formule de Manning s'écrit alors

$$C_R = KR^{2/3} = \frac{20\,R^{2/3}}{k^{1/6}}$$

La formule de Bazin donne

$$C_R = \frac{87\sqrt{R}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} = \frac{87\,R}{\sqrt{R} + \gamma} = \frac{87\,R}{\sqrt{R} + \sqrt{\beta k}}$$

Les diagrammes de C_R en fonction de R, tracés en coordonnées logarithmiques (6), font ressortir que l'on peut aisément, dans un domaine limité, substituer avec une très bonne approximation à la formule de Bazin une formule de puissance de la forme $C_R = MR^{0,5+n} = M' \left[\frac{R}{k}\right]^n R^{1/2}$ en posant $M' = Mk^n$. Seulement, différant en cela de la formule de Manning-Strickler, M et n varient tous les deux avec la rugosité, ce qui est mieux en accord avec les conceptions de MM. Thysse et Bossen et paraît plus vraisemblable que l'exposant constant.

En toute première approximation et sous toutes réserves, il semble que l'on puisse admettre des valeurs approchant des suivantes :

$\gamma =$	0,06	0,16	0,46	0,85	1,30	1,75
M(R = 0,1 à 10 m)	82	75	59,5	47	37,8	31,6
n(R = 0,1 à 1 m)	0,048	0,114	0,225	0,300	0,347	0,375
n(R = 1 à 10 m)	0,019	0,042	0,107	0,164	0,213	0,248

La variation des exposants n'est pas, à première vue, incompatible avec celle citée à titre d'exemple par M. Thysse et reproduite plus haut. Toutefois, la question ne sera pas approfondie ici et il est expressément indiqué que les chiffres du dernier tableau ne sont, dans l'état actuel de la question, donnés qu'à titre d'exemple. On remarquera que les valeurs de M sont prises égales à celles de C_R pour $R = 1$, c'est-à-dire $\frac{87}{1+\gamma}$; les résultats de la formule de puissance sont par excès.

En égalisant les valeurs de C_R et de $\frac{dC_R}{dR}$, on trouve aisément que la transformation de la formule de Bazin en formule de puissance s'obtient par l'exposant $n = \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\sqrt{R}+\gamma}$ dans un domaine entourant une valeur moyenne de C_R pour laquelle $M = \frac{87\sqrt{R}}{(\sqrt{R}+\gamma)R^n}$; les résultats seraient par défaut.

Quant au facteur M′ de la formule $C_R = M' \left[\frac{R}{k}\right]^n R^{1/2}$, il aurait comme expression

$$M' = Mk^n = M\left(\frac{\gamma}{\sqrt{\beta}}\right)^{2n} = \frac{87\sqrt{R}}{\sqrt{(R+\gamma)}}\left(\frac{\gamma}{\sqrt{\beta R}}\right)^{\frac{\gamma}{\sqrt{R}+\gamma}}$$

et il varierait dans des proportions comparables à celles de M. La formule de puissance déduite de la formule de Bazin diffère donc considérablement de celle de Manning-Strickler, mais se rapproche beaucoup plus de la conception de MM. Thysse et Bossen.

L'avantage d'écrire la formule de Bazin sous la forme

$$C = \frac{87}{1 + \sqrt{\beta}\sqrt{\frac{k}{R}}} \quad \text{ou } C = M'\left(\frac{R}{k}\right)^n$$

est d'étendre considérablement la gamme des valeurs de $\gamma = \sqrt{\beta k}$ par rapport aux 6 valeurs classiques $\gamma = 0{,}06 - 0{,}16 - 0{,}46 - 0{,}85 - 1{,}30$ et $1{,}75$ de Bazin, qui ne peuvent répondre que très imparfaitement à l'infinie diversité des conditions de rugosité des parois. Ce peut être une des raisons pour lesquelles des critiques ont parfois été exprimées au sujet de la validité de la formule de Bazin (7) ou peut-être avec plus de pertinence des suggestions ont été faites au sujet des limites de son domaine de validité (2). (L'auteur signale ici qu'il avait remarqué la possibilité de mettre la formule de Bazin sous forme de formule de puissance depuis une vingtaine d'années, par comparaison avec la formule de Manning et en reportant les valeurs de C_R en diagramme dont les abcisses étaient des puissances fractionnaires diverses — 1/2 - 1/3 - 1/4 - 1/6 - de R; il avait remarqué ainsi une corrélation entre l'exposant n et γ). Des publications récentes (8) ont mis l'accent sur la concordance des résultats de la formule de Bazin avec ceux de formules analogues à celles de M. Thysse (Nikuradse), meilleure dans certains domaines que la concordance avec la formule de Manning.

Conclusions

1) Certaines formules anciennes, notamment celles de Bazin et de Manning, peuvent être mises sous une forme qui mette en évidence l'influence prédominante de la rugosité relative dans l'écoulement turbulent des canaux découverts en mouvement uniforme. Elles ne sont donc pas affectées d'une infériorité doctrinale par rapport à des formules plus récentes.

2) La formule de Bazin peut, comme d'autres, être mise sous la forme d'une formule de puissance, d'une manière qui présente une grande analogie avec celle des formules les plus modernes. Cette forme des formules présente certes une grande commodité, mais elle n'est nullement indispensable si les formules sont interprétées sous forme d'abaques qui permettent les calculs avec le maximum de commodité et une précision suffisante.

3) La comparaison des formules entre elles n'est guère utile. Ce qui seul importe est la comparaison des formules avec la somme des résultats d'observations et d'expériences que l'on pourrait considérer comme « homologuées », c'est-à-dire qui seraient reconnues explicites et dignes de confiance.

4) Dans l'état actuel, où les questions de doctrine semblent bien mises au point, un développement scientifique réel ne peut être obtenu que par l'établissement d'un inventaire des observations et des expériences susceptibles d'homologation et par l'exploitation systématique de leurs résultats. On pourra établir ainsi la corrélation plus ou moins serrée entre la vitesse moyenne u (ou le débit) et les dimensions de la section, la pente et la nature des parois. Les diagrammes de corrélation établiront s'il est opportun de recourir à des formules moyennes ou s'il est possible d'établir des tables ou des graphiques universels, ce qui serait certes supérieur à des formules.

VŒU

L'auteur a proposé en 1948 à une association internationale de procéder à cet inventaire. Cette proposition est restée sans suite.

L'Association internationale d'hydrologie scientifique est probablement la plus appropriée pour faire aboutir un tel travail international, en raison de sa nature et de ses buts et du fait que d'autres sections de l'Association internationale de géodésie et de géophysique ont effectivement effectué des travaux scientifiques internationaux concrets de ce genre. Dans cet esprit, l'auteur a l'honneur de présenter à la Sous-Section d'Océanographie et d'Hydrologie du 3e Congrès national des Sciences le vœu que le Comité National de Géodésie et de Géophysique propose à la prochaine réunion de l'Association internationale d'Hydrologie Scientifique à Bruxelles qu'elle entreprenne d'établir l'inventaire défini ci-dessus.

BIBLIOGRAPHIE

(1) J. Th. THYSSE, *Formulae for the friction head loss along conduit walls under turbulent flow.* (Troisième réunion de l'Association internationale de recherches pour Travaux hydrauliques. Grenoble — Septembre 1949).

(2) R. et M. KOECHLIN, *Mécanisme de l'eau.* Tome I — 1924.

(3) R. VON MISES. *Elemente der technischen Hydromechanik* — 1914.

(4) J.B. SCHYF et J. Th. THYSSE. Metingen van zandtransport. *De Ingenieur* — 1941, n° 28.

(5) A. STRICKLER, Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. *Mitteilungen des Amtes fur Wasserwirtschaft.* Bern — 1923, n° 16.

(6) F. CAMPUS, Abaque de la formule de Bazin pour le calcul du mouvement de l'eau dans les canaux découverts. *Revue Universelle des Mines*, 15 mai 1946.

(7) G.G.J. VREEDENBURGH, Opmerkingen over het ontwerpen van een groot waterkrachtwerk, in het bijzonder in Nederlandsch-Indië. *De Ingenieur* — 14 novembre 1930.

(8) S. IRMAY, *On steady flow formulae in pipes and channels.* (Troisième réunion de l'Association internationale de recherches pour Travaux hydrauliques — Grenoble — septembre 1949).