

NOUVELLE APPROCHE POUR LE DIMENSIONNEMENT DES CONDUITES CIRCULAIRES SOUS PRESSION

NEW APPROACH FOR THE DESIGN OF CIRCULAR PIPES UNDER PRESSURE

A. BEDJAOUI¹, B. ACHOUR²

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface - LARHYSS Université de Biskra,
BP 145 RP, 07000, Biskra, Algérie

E-mail : bachir.achour@larhyss.net, ali_bedjaoui@yahoo.com

¹ Maître assistant chargé de cours département de génie civil et d'hydraulique

² Professeur de l'enseignement supérieur département de génie civil et d'hydraulique

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est de proposer une nouvelle approche au calcul de l'écoulement turbulent dans une conduite circulaire sous pression. Elle repose d'une part sur les relations universellement admises de *Darcy-Weisbach* (1854) et de *Colebrook-White* (1939), et sur un modèle rugueux de référence d'autre part. Des relations explicites sont déduites et les résultats qui en découlent peuvent être considérés comme étant exactes. Elles s'appliquent dans toute la gamme de rugosités relatives $0 \leq \varepsilon/D \leq 5.10^{-2}$ et pour toute valeur du nombre de *Reynolds* $R > 2300$.

L'intérêt du modèle rugueux de référence choisi est mis en évidence et servira de base au dimensionnement des conduites et canaux faisant l'objet du présent travail.

ABSTRACT

The objective of this study is to propose a new approach for the calculation of turbulent flow in a circular pipe under pressure. This new approach is based in partly on Darcy-Weisbach and Colebrook-White relations, and on the other on a new model of reference. Explicit relations are proposed and the results obtained by application of those can be regarded as accurate. They apply in the interval of roughness for $0 \leq \varepsilon/D \leq 5.10^{-2}$ and for all values of Reynolds number $R > 2300$. The interest of the rough reference model proposed will serve as a basis for the design of pipes and canals that are the subject of this work.

1 INTRODUCTION

L'écoulement dans une conduite en charge est gouverné par la relation fonctionnelle $\varphi(Q, J, D, \varepsilon, \nu \text{ et } \zeta) = 0$, où Q est le débit volume, J est la pente de la ligne de charge totale, D est le diamètre de la conduite, ε est la rugosité absolue de la paroi de la conduite et ν est la viscosité cinématique du liquide en écoulement. Dans la quasi totalité des problèmes pratiques, Q , J et D sont les trois principaux paramètres recherchés. Ceux-ci sont liés par l'équation bien connue de *Darcy-Weisbach* qui, appliquée à une conduite circulaire en charge, s'écrit sous la forme :

$$J = \frac{8fQ^2}{g\pi^2 D^5} \quad (1)$$

Dans la relation (1), f désigne le coefficient de résistance à l'écoulement ou coefficient de frottement. Il s'exprime par la relation suivante de *Colebrook-white*, valable pour les régimes d'écoulement turbulent rugueux, de transition et

pratiquement lisse ($\varepsilon \rightarrow 0$):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{R\sqrt{f}} \right) \quad (2)$$

R désigne le nombre de *Reynolds* défini par :

$$R = \frac{4Q}{\pi D \nu} \quad (3)$$

La relation (2) est valable pour $R > 2300$.

Lorsque les paramètres Q , D , J , ε , et ν sont donnés, la relation (1) permet d'évaluer le gradient de la perte de charge J , mais le coefficient de frottement f doit être calculé selon un procédé itératif. Le calcul de f n'est explicite que lorsque l'écoulement est en régime turbulent rugueux, correspondant aux valeurs élevées du nombre de *Reynolds* ($R \rightarrow \infty$). Le second terme, figurant entre les parenthèses de la relation (2), tend alors vers zéro. Pour le cas de l'écoulement pratiquement lisse, *Swamee et Jain* (1976)

proposent de remplacer la relation (2) par l'équation explicite suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \quad (4)$$

Dans la gamme $5.10^3 < R < 10^8$, l'écart relatif maximal $(\Delta f / f)_{\max}$ entre les valeurs calculées de f en application des relations (2) et (4), est de l'ordre de 1,5%. La relation (4) est encore considérée de nos jours comme la relation qui se rapproche le mieux de l'équation (2), lorsque l'écoulement est dans le domaine pratiquement lisse.

En considérant les relations (1) et (4), le gradient J de la perte de charge s'écrit alors :

$$J = \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^5} \left[\log \left(\frac{R^{0.9}}{5.74} \right) \right]^2 \quad (5)$$

L'application de la relation (5) entraîne une erreur relative maximale de 1,5% sur J , puisque, selon la relation (1), $(\Delta J / J)_{\max} = (\Delta f / f)_{\max}$.

Lorsqu'il s'agit de calculer le débit volume Q pour les valeurs données des paramètres J , D , ε et ν , le problème est alors explicite. Les relations les plus significatives de l'écoulement turbulent dans une conduite sont celles de Hager (1987) et de Swamee et Jain (1976).

A l'exception du débit volume Q , le gradient J de la perte de charge ainsi que le diamètre D de la conduite ne peuvent être déterminés que par un procédé itératif ou par application de relations approchées. L'erreur relative occasionnée par l'application de ces relations, et qui affecte aussi bien le gradient J que le diamètre D , est de l'ordre de 1,5%.

2 CONDUITE RUGUEUSE DE RÉFÉRENCE

Dans cette partie de l'étude, le symbole " $\bar{\quad}$ " est affecté à tous les paramètres hydrauliques de l'écoulement et géométriques de la conduite de référence caractérisée par une rugosité relative $\bar{\varepsilon} / \bar{D} = 0,037$ arbitrairement choisie. Cette conduite est le siège d'un écoulement supposé se situer dans le domaine turbulent rugueux et le coefficient de frottement est alors calculé selon la relation (2) pour $R \rightarrow \infty$, soit $\bar{f} = 1/16$. Le gradient \bar{J} de la perte charge est donc, en vertu de la relation (1) :

$$\bar{J} = \frac{\bar{Q}^2}{2g\pi^2 \bar{D}^5} \quad (6)$$

Ainsi, le diamètre \bar{D} de la conduite de référence est :

$$\bar{D} = \left(2\pi^2 \right)^{-1/5} \left(\frac{\bar{Q}^2}{g\bar{J}} \right)^{1/5} \quad (7)$$

Le nombre de Reynolds R caractérisant l'écoulement dans la conduite de référence est, selon la relation (3) :

$$\bar{R} = \frac{4\bar{Q}}{\pi \bar{D} \nu} \quad (8)$$

En éliminant, dans un premier temps, le diamètre \bar{D} entre les relations (7) et (8), nous pouvons écrire que :

$$\bar{R} = \left(2048 / \pi^3 \right)^{1/5} \frac{\left(g \bar{J} \bar{Q}^3 \right)^{1/5}}{\nu} \quad (9)$$

En éliminant, dans un second temps, le débit \bar{Q} entre les relations (7) et (8), nous obtenons :

$$\bar{R} = 4\sqrt{2} \frac{\sqrt{g \bar{J} \bar{D}^3}}{\nu} \quad (10)$$

3 RELATIONS DE L'ÉCOULEMENT TURBULENT DANS LA CONDUITE

3.1 Le débit Q est le paramètre inconnu

3.1.1 Expression du nombre de Reynolds

Dans cette partie, nous considérons $\bar{J} = J$ et $\bar{D} = D$. Ces égalités impliquent que $\bar{Q} \neq Q$ et évidemment $\bar{R} \neq R$. En considérant les relations (1) et (6), nous pouvons écrire que :

$$Q = \psi_Q \bar{Q} \quad (11)$$

Où :

$$\psi_Q = \frac{1}{4\sqrt{f}} \quad (12)$$

La relation (11) indique que le débit Q est égal au débit \bar{Q} corrigé par le facteur ψ_Q . Celui-ci peut donc être considéré comme étant un facteur de correction du débit. En combinant les relations (3), (8) et (11), il vient que :

$$R = \psi_Q \bar{R} \quad (13)$$

En substituant les relations (12) et (13) dans la relation (2), nous obtenons :

$$\psi_Q = \frac{1}{2} \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{10,04}{\bar{R}} \right)^{-1} \quad (14)$$

La relation (13) devient alors :

$$R = \frac{1}{2} \bar{R} \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{10,04}{\bar{R}} \right)^{-1} \quad (15)$$

Ainsi, lorsque le débit Q est le seul paramètre inconnu du problème, la relation (15) est utile pour calculer le nombre de Reynolds R de l'écoulement, pour les valeurs données de ε, D, J et ν . Le nombre de Reynolds \bar{R} doit être évalué par application de la relation (10), pour $\bar{J}=J$ et $\bar{D}=D$, soit :

$$\bar{R} = 4\sqrt{2} \frac{\sqrt{gJD^3}}{\nu} \quad (16)$$

3.1.2 Expression du débit Q

Le débit Q peut être déduit de la relation (3), soit :

$$Q = \frac{1}{4} \pi D \nu R \quad (17)$$

Notons que la relation (17) est identique à la relation *Hager* (1987), obtenue par une démarche différente. En introduisant le facteur cinétique $N = \nu D/Q$ et en tenant compte de la relation (15), la relation (17) s'écrit en termes adimensionnels :

$$N^{-1} = \frac{\pi}{8} \bar{R} \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{10,04}{\bar{R}} \right)^{-1} \quad (18)$$

3.1.3 Expression du coefficient de frottement f

L'expression du coefficient de frottement f peut être obtenue en combinant les relations (12) et (14), soit :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{10,04}{\bar{R}} \right) \quad (19)$$

La relation (19) est valable pour $R > 2300$. Lorsque le débit volume Q est le seul paramètre inconnu du problème, elle est d'une grande utilité pour le calcul directe de la valeur exacte du coefficient de frottement $f(\varepsilon, D, J, \nu)$. Le nombre de Reynolds \bar{R} doit être évalué par la relation (16).

3.2 Le diamètre D est le paramètre inconnu

3.2.1 Expression du nombre de Reynolds R

Dans cette partie, nous considérons $Q = \bar{Q}$ et $J = \bar{J}$. Ceci implique que $D \neq \bar{D}$ et $R \neq \bar{R}$. Ainsi, en vertu de la relation (9), le nombre de Reynolds \bar{R} est :

$$\bar{R} = (2048/\pi^3)^{1/5} \frac{(gJQ^3)^{1/5}}{\nu} \quad (20)$$

En outre, les relations (1) et (6) permettent d'écrire que :

$$D = (16f)^{1/5} \bar{D} \quad (21)$$

Ou bien :

$$D = \psi \bar{D} \quad (22)$$

Avec :

$$\psi = (16f)^{1/5} \quad (23)$$

Au regard de la relation (22), le diamètre D est ainsi égal au diamètre \bar{D} corrigé par le facteur ψ . Celui-ci peut donc être considéré comme un facteur de correction du diamètre. Compte tenu de la relation (22), le rapport des équations (3) et (8) mène à :

$$R = \psi^{-1} \bar{R} \quad (24)$$

En substituant les relations (22), (23) et (24) dans (2), nous pouvons écrire que :

$$\psi^{5/2} \log \left[\frac{\varepsilon/\bar{D}}{3,7\psi} + \frac{10,04}{R\psi^{3/2}} \right] = -2 \quad (25)$$

Nous obtenons ainsi la relation liant le facteur de correction des dimensions linéaires ψ à la rugosité relative ε/\bar{D}_h et au nombre de Reynolds \bar{R} . La relation (25) peut être considérée comme étant la relation modifiée de *Colebrook-White*. Elle est implicite vis-à-vis du facteur de correction ψ . Nous l'avons représentée sur la figure 2, dans un système d'axes de coordonnées à divisions logarithmiques pour diverses valeurs arbitrairement choisies de la rugosité relative ε/\bar{D}_h allant de 0 à 0,5.

Dans l'équation (25), le facteur ψ est le seul paramètre inconnu, mais son évaluation nécessite un procédé itératif. Pour éviter cet inconvénient, la relation suivante est recommandée (Achour et Bedjaoui, 2006a ; 2006b ; Achour, 2007) :

$$\psi \cong 1,35 \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/\bar{D}}{4,75} + \frac{8,5}{\bar{R}} \right) \right]^{2,5} \quad (26)$$

Dans la large gamme $0 \leq \varepsilon/D \leq 5.10^{-2}$, la relation (26) occasionne une erreur relative maximale inférieure à 0,6 % pour $R > 2300$.

Afin de montrer la fiabilité de la relation approchée (26), nous avons représenté sur la figure 1 les écarts relatifs $(\Delta\psi/\psi)$ en % entre les valeurs exactes de ψ données par la relation implicite (24) et celles issues de la relation (26). Ces écarts ont été calculés pour l'ensemble des valeurs de la rugosité relative telle que $0 \leq \varepsilon/\overline{D}_h \leq 5.10^{-2}$ et pour une très large gamme du nombre de Reynolds \overline{R} .

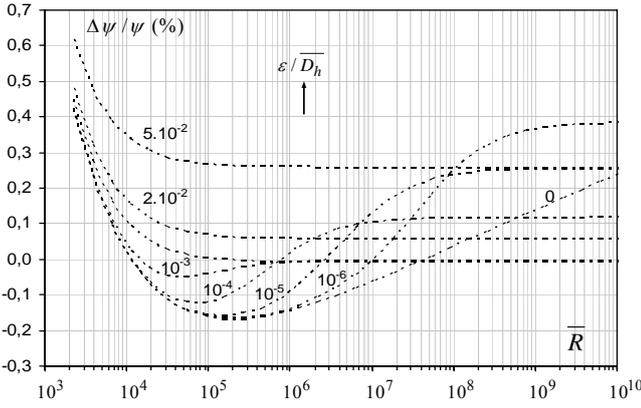


Figure 1 : Ecarts relatifs en % entre les valeurs exactes de ψ de la relation (25) et celles approchées de la relation (26)

La figure 1 montre bien que les écarts relatifs $\Delta\psi/\psi$ sont faibles et ne dépassent guère 0,6% pour $\overline{R} \geq 2300$ et $0 \leq \varepsilon/\overline{D}_h \leq 5.10^{-2}$. Pour les valeurs pratiques de \overline{R} telles que $\overline{R} \geq 10^4$, les écarts relatifs restent inférieurs à 0,35% pour l'ensemble de la gamme considérée de la rugosité relative $\varepsilon/\overline{D}_h$.

Ainsi, la relation (24) devient :

$$R \cong \frac{\overline{R}}{1,35} \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/\overline{D}}{4,75} + \frac{8,5}{\overline{R}} \right) \right]^{2/5} \quad (27)$$

La relation (27) permet d'évaluer le nombre de Reynolds R de l'écoulement même si le diamètre D de la conduite est inconnu. Le diamètre \overline{D} et le nombre de Reynolds \overline{R} doivent être calculés par les relations (7) et (9) respectivement, pour $Q = \overline{Q}$ et $J = \overline{J}$, soit :

$$\overline{D} = (2\pi^2)^{-1/5} \left[\frac{Q^2}{gJ} \right]^{1/5} \quad (28)$$

$$\overline{R} = (2048/\pi^3)^{1/5} \frac{(gJQ^3)^{1/5}}{\nu} \quad (29)$$

L'application de la relation (27) entraîne une erreur relative maximale inférieure à 0,6 % sur le calcul du nombre de Reynolds R puisque, selon la relation (25) $(\Delta R/R)_{\max} = (\Delta\psi/\psi)_{\max}$. Cependant, il est possible d'établir une relation beaucoup plus précise pour R après avoir adopté le changement de variable $R^* = \overline{R}(D = \overline{D}, J = \overline{J}, Q \neq \overline{Q})$. Ainsi, en vertu de la relation (16), nous pouvons écrire :

$$R^* = 4\sqrt{2} \frac{\sqrt{gJD^3}}{\nu} \quad (30)$$

En tenant compte de (22), la relation (30) devient :

$$R^* = 4\sqrt{2}\psi^{3/2} \frac{\sqrt{gJ\overline{D}^3}}{\nu} \quad (31)$$

La relation (31) traduit donc les égalités suivantes :

$$\begin{aligned} R^* &= (D = \overline{D}, J = \overline{J}, Q \neq \overline{Q}) \\ &= \psi^{3/2} \overline{R}(D \neq \overline{D}, J = \overline{J}, Q = \overline{Q}) \end{aligned} \quad (32)$$

En substituant les relations (22) et (32) dans (15), nous pouvons montrer que :

$$R = \frac{1}{2} R^* \log \left(\frac{\varepsilon/\overline{D}}{3,7\psi} + \frac{10,04}{R^*} \right)^{-1} \quad (33)$$

Ainsi, le nombre de Reynolds R peut être évalué de manière explicite même si la valeur du diamètre D de la conduite est inconnue. Les paramètres $\overline{D}(Q, J, \nu)$ et $\overline{R}(Q, J, \nu)$ sont calculés respectivement par les relations (28) et (29) et le facteur de correction $\psi(\varepsilon, \overline{D}, \overline{R})$ est alors déduit de la relation (26). Les nombres de Reynolds R^* et R ont ensuite évalués par les relations (31) et (33) respectivement. Les valeurs calculées de R , en application de la relation (33), peuvent être considérées comme pratiquement exactes.

3.2.2 Expression du coefficient de frottement f

Même si la valeur du diamètre D de la conduite n'est pas connue, le coefficient de frottement f peut être évalué par une relation explicite. En effet, en considérant la relation (32), la relation (19) s'écrit :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{10,04}{R^*} \right) \quad (34)$$

Ou bien, en tenant compte de la relation (22) :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/\overline{D}}{3,7\psi} + \frac{10,04}{R^*} \right) \quad (35)$$

Les paramètres \bar{D} , \bar{R} , ψ et R^* doivent être calculés selon la même démarche que celle indiquée au paragraphe 3.3.1.

Les valeurs de f issues de l'application de la relation (17) sont quasiment égales à celles données par la relation (2), pour $R > 2300$ et dans toute la gamme $0 \leq \varepsilon/D \leq 5 \cdot 10^{-2}$.

Selon la relation (23), l'écart relatif occasionné sur le calcul de f est : $\frac{\Delta f}{f} = 5 \frac{\Delta \psi}{\psi}$

Ce résultat permet de conclure que pour les valeurs du nombre de Reynolds \bar{R} telles que $\bar{R} \geq 2300$, correspondant à un écart relatif maximal $(\Delta \psi / \psi)_{\max} = 0,6\%$, l'erreur relative maximale occasionnée sur le calcul du coefficient de frottement f en vertu de la relation (25) est : $\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_{\max} = 5 \times 0,6 = 3\%$

Cependant, cet écart relatif se réduit considérablement lorsque l'on considère les valeurs pratiques du nombre de Reynolds \bar{R} telles que $\bar{R} \geq 10^4$ et pour lesquelles $(\Delta \psi / \psi) \leq 0,35\%$: $\left(\frac{\Delta f}{f}\right) \leq 5 \times 0,35 = 1,75\%$

D'un point de vue pratique, cet écart relatif n'est pas excessif compte tenu de l'incertitude avec laquelle la rugosité absolue ε est généralement évaluée.

Dans le domaine lisse, correspondant à la rugosité relative $\varepsilon/D_h = 0$, la figure 3 indique clairement que pour $\bar{R} \geq 10^4$, l'écart relatif sur le coefficient de correction ψ est tel que : $\frac{\Delta \psi}{\psi} \leq 0,25\%$. Cet écart est cependant obtenu pour les valeurs extrêmement élevées du nombre de Reynolds \bar{R} est tel que $\bar{R} \cong 10^{10}$. En règle générale cette valeur de \bar{R} n'est jamais atteinte en pratique. Ainsi, dans le domaine lisse, nous pouvons écrire que : $\left(\frac{\Delta f}{f}\right) < 5 \times 0,25 = 1,25\%$

3.2.3 Expression du diamètre D

Pour les valeurs données des paramètres ε , Q , J et ν , le diamètre D de la conduite peut être calculé selon la relation explicite suivante, obtenue par la combinaison des relations (1) et (35) :

$$D = \left(\frac{2}{\pi^2}\right)^{1/5} \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/\bar{D}}{3,7\psi} + \frac{10,04}{R^*} \right) \right]^{-2/5} \left(\frac{Q^2}{gJ} \right)^{1/5} \quad (36)$$

Le diamètre D peut être également calculé en application de la relation explicite suivante, issue de la combinaison des relations (3) et (33) :

$$D = \left(\frac{8Q}{\pi\nu} \right) \left[-R^* \log \left(\frac{\varepsilon/\bar{D}}{3,7\psi} + \frac{10,04}{R^*} \right) \right]^{-1} \quad (37)$$

En termes adimensionnels, la relation (37) s'écrit :

$$N^{-1} = \frac{\pi}{8} R^* \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7\psi} + \frac{10,04}{R^*} \right)^{-1} \quad (38)$$

Notons que la relation (38) aurait pu être déduite de la relation (18) en substituant \bar{R} par R^* et D par $(\psi \bar{D})$ conformément à la relation (22).

EXEMPLE DE CALCUL

Soit à déterminer le diamètre D d'une conduite circulaire en charge refoulant un débit d'eau $Q=200$ l/s, sous un gradient de la perte de charge $J=0,03$. La rugosité absolue caractérisant la paroi interne de la conduite est $\varepsilon = 0,1$ millimètre et la viscosité cinématique de l'eau est $\nu = 10^{-6}$ m²/sec ?

Selon la méthode que nous avons présentée, trois démarches explicites peuvent être retenues pour la résolution de ce type d'application. Ces démarches reposent sur le calcul des paramètres \bar{D} , \bar{R} , ψ et R^* . Les relations à appliquer sont celles que nous avons développées au paragraphe 3.2, puisque le diamètre D est le paramètre inconnu du problème.

Selon la relation (28), le diamètre \bar{D} est :

$$\bar{D} = (2\pi^2)^{-1/5} \left[(0,200)^2 / (9,81 \times 0,03) \right]^{1/5} = 0,36955245m$$

Le nombre de Reynolds \bar{R} est, en vertu de la relation (8) pour $\bar{Q} = Q$:

$$\bar{R} = 4 \times 0,200 / (\pi \times 0,36955245 \times 10^{-6}) = 689420,59$$

Les paramètres \bar{D} et \bar{R} permettent d'évaluer le facteur ψ selon la relation (26), soit :

$$\psi = 1,35 \times \left[-\log \left(\frac{0,1 \times 10^{-3} / 0,36955245}{4,75} + \frac{8,5}{689420,59} \right) \right]^{-2/5} = 0,763354554$$

Le nombre de Reynolds R^* est, en application de la relation (32) :

$$R^* = \psi^{3/2} \bar{R} = (0,763354554)^{3/2} \times 94.153,4908 = 459805,0135$$

Le diamètre D se calcule par la relation (22), soit :

$$D = \psi \bar{D} = 0,36955245 \times 0,78879753 = 0,28209955 \text{ m}$$

Le diamètre D se calcule aussi par la relation (36), soit :

$$D = \left(\frac{2}{\pi^2} \right)^{1/5} \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/\bar{D}}{3,7\psi} + \frac{10,04}{R^*} \right) \right]^{-2/5} \left(\frac{Q^2}{gJ} \right)^{1/5} = 0,28206937 \text{ m}$$

Le diamètre D se calcule également par la relation (3), après avoir évalué le nombre de Reynolds R en application de (33), soit :

$$R = \frac{1}{2} \times 459805,0135 \times \log \left(\frac{0,1 \cdot 10^{-3} / 0,369552451}{3,7 \times 0,763354554} + \frac{10,04}{459805,0135} \right)^{-1} = 903387,5172$$

Par suite, le diamètre D est :

$$D = \frac{4Q}{\pi R v} = \frac{4 \times 0,200}{\pi \times 7903387,5172 \times 10^{-6}} = 0,282024121 \text{ m}$$

Le diamètre D peut être déduit de la relation (1) après avoir évalué le coefficient de frottement

$$f = \left[-2 \times \log \left(\frac{0,1 \times 10^{-3} / 0,369552451}{3,7 \times 0,763354554} + \frac{10,04}{459805,0135} \right) \right]^2 = 0,016191208$$

Ainsi, le diamètre D est :

$$D = \left(\frac{8fQ^2}{gJ\pi^2} \right)^{1/5} = \left[\frac{8 \times 0,016191208 \times (0,200)^2}{9,81 \times 0,03 \times \pi^2} \right]^{1/5} = 0,282069374 \text{ m}$$

Pour les quatre méthodes utilisées, le diamètre calculé est pratiquement le même c'est-à-dire $D = 0,282 \text{ mm}$

4 CONCLUSION

La relation de base du calcul de l'écoulement par la théorie du modèle rugueux de référence est celle de *Darcy-Weisbach*. La clé de voûte du calcul de l'écoulement turbulent par la méthode du modèle rugueux (MMR) est

bien le facteur de correction des dimensions linéaires ψ . Lorsque ce paramètre est connu, les dimensions linéaires recherchées sont immédiatement déduites ainsi que la valeur du coefficient de frottement f au sens de *Darcy-Weisbach*.

Les relations (1), (3), (8), (26), (28), (32), (33) et (37) sont fortement conseillées pour le calcul des dimensions linéaires des conduites circulaires sous pression. La relation (33) peut être utilisée pour le calcul du nombre de *Reynolds* R et qui peut être évalué de manière explicite même si la valeur du diamètre D de la conduite est inconnue.

Enfin cette nouvelle approche ou méthode offre une grande possibilité pour résoudre les problèmes liés aux dimensionnements des conduites et canaux.

PRINCIPALES NOTATIONS

\bar{A}	Aire de la section mouillée du modèle rugueux	(m^2)
D	Diamètre d'un profil circulaire	(m)
\bar{D}	Diamètre du modèle rugueux d'un profil circulaire	(m)
f	Coefficient de frottement	$(-)$
\bar{f}	Coefficient de frottement dans le modèle rugueux (= 1/16)	$(-)$
g	Accélération de la pesanteur	(m/s^2)
J	Gradient de la perte de charge linéaire	$(-)$
\bar{J}	Gradient de la perte de charge linéaire dans le modèle rugueux	$(-)$
Q	Débit volume	(m^3/s)
\bar{Q}	Débit volume écoulé par le modèle rugueux	(m^3/s)
R	Nombre de <i>Reynolds</i> d'un écoulement	$(-)$
\bar{R}	Nombre de <i>Reynolds</i> de l'écoulement dans le modèle rugueux	$(-)$
ε	Rugosité absolue d'une paroi	(m)
$\bar{\varepsilon}$	Rugosité absolue de la paroi du modèle rugueux	(m)
ε/D_h	Rugosité relative	$(-)$
$\bar{\varepsilon}/\bar{D}_h$	Rugosité relative du modèle rugueux (= 0,037)	$(-)$
ψ	Facteur de correction de la dimension linéaire	$(-)$
L'indice "r"	indique le domaine rugueux	$(-)$

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ACHOUR B. (2007). *Calcul des conduits et canaux par la MMR*, Tome 1: Calcul des conduites en charge, Larhyss Edition Capitale, 2007, 610p.
- [2] ACHOUR B., BEDJAOUI A. (2006a). Calcul du coefficient de frottement en conduite circulaire sous pression, Note Technique, Larhyss/Journal, N°5, 197-200.
- [3] ACHOUR B., BEDJAOUI A. (2006b). *Discussion of «Explicit Solutions for Normal Depth problem»* by Prabhata K. Swamee, Pushpa N. Rathie, *J. Hydraulic Research*, Vol.44, 5, 715-717.
- [4] COLEBROOK C.F. (1939). *J. Inst. Civil Eng.*, Vol.11, 133-156.
- [5] DARCY H. (1854). Sur les recherches expérimentales relatives au mouvement des eaux dans les tuyaux. Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, Vol.38, 1109-1121.
- [6] HAGER W.H. (1987). Computation of turbulent conduit flows, *3R-International*, Vol.26, 116-121.
- [7] SWAMEE P.K., JAIN A.K. (1976). Explicit equations for pipe-flow problems. *Proc. ASCE, J. Hydraulics Division*, Vol.102, HY5, 657-664.