

## AVANT PROPOS

Le calcul de l'écoulement dans les conduites de forme circulaire ou non circulaire est fréquemment rencontré dans la pratique de l'ingénieur hydraulicien. Les applications sont nombreuses et nous pouvons citer, à titre d'exemple, le cas de la conduite de refoulement depuis une station de pompage vers un réservoir d'alimentation d'une agglomération ou celui de la conduite gravitaire alimentant, pour des besoins énergétiques, une usine hydroélectrique.

L'écoulement dans une conduite de forme circulaire ou non circulaire en charge est gouverné par trois principales relations qui sont les relations de *Darcy-Weisbach* (1845, 1854), de *Colebrook-White* (1939) et du nombre de *Reynolds*. Ces trois relations forment le système d'équations de base destiné au calcul de l'écoulement turbulent en conduites et canaux.

La première relation exprime le gradient de la perte de charge linéaire appelé aussi pente de frottement. Celui-ci dépend du coefficient de frottement, du débit volume écoulé et des caractéristiques géométriques de l'ouvrage.

La seconde relation exprime le coefficient de frottement en fonction du nombre de *Reynolds* caractérisant l'écoulement et de la rugosité relative de la conduite considérée. Elle a été proposée pour être appliquée au cas des conduites de commerce où la répartition locale des éléments de rugosité est accidentelle, par opposition à une répartition artificielle (*Sinniger et Hager*, 1989).

La troisième relation, ou nombre de *Reynolds*, traduit les effets des forces d'inertie et de viscosité. Lorsque les forces d'inertie sont prépondérantes, l'écoulement est caractérisé par une vitesse élevée et son régime est en règle générale dans le domaine de pleine turbulence. Le coefficient de frottement prend alors une valeur quasi constante et ne dépend que de celle de la rugosité relative. Par contre, lorsque les forces de viscosité sont prépondérantes, l'écoulement est caractérisé par une vitesse moins élevée et son régime appartient souvent au domaine de transition. Le coefficient de frottement dépend alors à la fois de la rugosité relative et du nombre de *Reynolds*. Pour les conduites et canaux à parois lisses ou pratiquement lisses, le coefficient de frottement ne dépend que de la valeur de la rugosité relative caractérisant l'état

des parois internes de l'ouvrage.

L'écoulement turbulent est celui que l'on rencontre souvent en pratique et correspond à des valeurs du nombre de *Reynolds* supérieures ou égales à 2300 et à des valeurs de rugosité relative comprises en 0 et 0,05.

Trois régimes de l'écoulement turbulent peuvent donc être observés. Il s'agit des domaines lisse, de transition et de pleine turbulence appelé aussi domaine du régime d'écoulement turbulent rugueux correspondant souvent aux fortes valeurs de la rugosité relative.

Ces trois régimes d'écoulement sont traduits graphiquement sur le diagramme universellement connu de *Moody* (1944).

L'écoulement turbulent en conduites de forme circulaire ou non circulaire est régi par cinq paramètres qui sont le débit volume, le gradient de la perte de charge, la dimension ou l'une des dimensions de l'ouvrage, la rugosité absolue caractérisant l'état de la paroi interne de la conduite considérée et de la viscosité cinématique du liquide en écoulement.

Dans la pratique de l'ingénieur, trois seulement des cinq paramètres présentent un réel intérêt. Il s'agit du débit volume et dont la valeur nous renseigne sur la capacité d'évacuation de l'ouvrage étudié, du gradient de la perte de charge linéaire qui permet d'ajuster la pente de la conduite pour acheminer le débit volume et enfin la dimension linéaire de la conduite, telle que le diamètre d'une conduite circulaire en charge, indispensable au dimensionnement.

Trois principales catégories de problèmes peuvent donc être retenues pour l'ensemble des applications pratiques :

- La première catégorie consiste à déterminer le débit volume évacué par l'ouvrage.
- La seconde catégorie s'intéresse à la détermination du gradient de la perte de charge linéaire.
- La troisième catégorie répond à un besoin de dimensionnement et a ainsi pour objet d'évaluer la dimension ou les dimensions de l'ouvrage étudié.

Pour répondre à chacune des catégories de problèmes, il est nécessaire que les quatre autres paramètres qui régissent l'écoulement soient connus.

Pour la première catégorie de problème, une solution explicite a été proposée par le passé (*Hager*, 1987; *Sinniger et Hager*, 1989) et permet la détermination directe du débit volume  $Q$  écoulé par une conduite circulaire en charge.

La seconde catégorie de problème nécessite l'emploi de procédés itératifs ou graphiques (*Chow*, 1973) en raison de la forme implicite des équations formant le système de base de l'écoulement turbulent.

La troisième catégorie de problème exige également une résolution itérative ou graphique en raison de la forme implicite de la relation de *Colebrook-White*. Durant ces trente dernières années, des solutions approchées ont été proposées pour la résolution du système d'équations de base de l'écoulement turbulent en conduite circulaires en charge.

Les études les plus significatives ont été certainement celles de *Swamee et Jain* (1976; 1978; 1979), de *Swamee et Rathie* (2004) et de *Hager* (1987). Les premiers auteurs proposent une relation explicite approchée en remplacement de la relation implicite de *Colebrook-White*, tandis que le second a établi des relations explicites applicables à la deuxième catégorie de problème que nous avons précédemment indiquée. Notons que l'étude récente de *Swamee et Rathie* (2007) propose de s'aider du théorème de *Lagrange* dans le but de déduire la solution exacte du coefficient de frottement. Ce théorème a été appliqué à l'équation implicite de *Colebrook-White* et la solution est donnée en termes d'une série illimitée et dont la convergence reste à étudier. Cependant, étant donné le caractère empirique de la relation de *Colebrook-White*, sa solution ne peut être considérée comme étant la solution exacte du coefficient de frottement.

Nous présenterons également la relation explicite de *Achour et al.*, établie en 1997 et publiée en 2002, destinée au calcul explicite du coefficient de frottement d'un écoulement turbulent en conduite circulaire sous pression, ainsi que celle plus récente de *Achour et Bedjaoui* publiée en 2006 (a,b). Celle-ci présente l'avantage d'être applicable à toute forme de conduites ou de canaux en charge ou à surface libre.

Nous utiliserons largement la relation de *Achour et Bedjaoui* publiée en 2006, destinée au calcul du débit volume écoulé par toute conduite ou canal en charge ou à surface libre. Cette relation demeure applicable à l'ensemble des domaines de l'écoulement turbulent tels qu'ils sont décrits par le diagramme de *Moody*.

Pour une meilleure connaissance des multiples relations établies par le passé et ayant eu pour but d'approcher la solution exacte de l'équation de *Colebrook-White*, le lecteur pourra consulter la revue bibliographique proposée par *Zella et al.* (2005).

Le présent tome est entièrement consacré au calcul des conduites en charge de

forme circulaire et non circulaire. Les trois catégories de problèmes de l'écoulement turbulent seront traitées par une nouvelle méthode dite "**MMR**" ou **Méthode du Modèle Rugueux** de référence. Il s'agit d'une méthode destinée au calcul des conduites et canaux, en charge ou à surface libre, initiée et développée par l'auteur entre les années 2002 et 2006 au laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface (LARHYSS) de l'Université de Biskra. L'application de cette nouvelle méthode aux canaux ouverts fera l'objet d'une étude particulière au cours du tome 2 de la même édition.

Par cette méthode, le dimensionnement des conduites et canaux, en charge ou à surface libre, ne nécessite ni la connaissance du coefficient de frottement au sens de *Colebrook-White*, ni celle du coefficient de résistance à l'écoulement au sens de *Chézy* ou de *Manning-Strickler*.

Les effets de chacun de ces coefficients sont implicitement considérés dans le développement théorique.

Le présent ouvrage est subdivisé en trois chapitres.

Le premier chapitre est exclusivement réservé à un état des connaissances sur l'écoulement turbulent en conduite circulaire en charge. Nous passerons en revue les relations les plus significatives, en vigueur, et destinées à la résolution des trois catégories de problèmes que nous avons retenues.

La relation fondamentale régissant l'écoulement turbulent en conduite circulaire sous pression sera présentée et commentée. Le développement théorique, basé sur des considérations énergétiques, a été emprunté de *Cauvin* et *Guerrée* (1978). Mais le lecteur pourra tout aussi bien consulter l'excellent ouvrage de *Daily* et *Harleman* (1973), que ceux de *Graf* et *Altinakar* (1995) et de *Lencastre* (1996).

Le second chapitre est consacré au calcul des conduites circulaires en charge, après avoir présenté la "**MMR**" et ses fondements.

Le troisième chapitre s'intéresse au calcul des conduites en charge de forme non circulaire, fréquemment rencontrées en aménagements hydrauliques.

De nombreux exemples d'application seront donnés pour mieux apprécier la simplicité et la fiabilité de la **MMR** lorsqu'elle est appliquée aux trois grandes catégories de problèmes de l'écoulement turbulent.