

# VALIDATION EXPERIMENTALE DE L'APPROCHE THEORIQUE AU CALCUL DE LA DIMENSION LINEAIRE EN REGIME D'ECOULEMENT PRACTIQUEMENT LISSE

## TENTATIVE VALIDATION OF THE THEORETICAL APPROACH TO THE CALCULATION OF THE LINEAR DIMENSION IN REGIME OF PRACTICALLY SMOOTH OUT-FLOW

**GALI** Belkacem. Université de Batna département d'hydraulique, Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée. 05000, Batna, Algérie. Belkagali@yahoo.fr

**ACHOUR** Bachir, Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS). Université de Biskra, B.P. 145, R.p., 07000, Biskra, Algérie

**KECHIDA** S., Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS). Université de Biskra, B.P. 145, R.p., 07000, Biskra, Algérie. Said\_kechida@yahoo.fr

**Résumé.** L'objectif principal de notre étude est de proposer une méthode de calcul de la dimension linéaire  $a$  d'un profil géométrique quelconque et de valider expérimentalement la relation obtenue. L'approche expérimentale est effectuée sur des conduites circulaires de diamètres. Le développement théorique se base sur la formule de Darcy-Weisbach appliquée à un profil géométrique de référence pour lequel le régime d'écoulement  $y$  est turbulent rugueux et dont les parois sont caractérisées par une rugosité relative arbitrairement choisie égale à  $3,7 \cdot 10^{-2}$ . Ceci a permis de déterminer la dimension linéaire du profil géométrique de référence. Pour évaluer la dimension recherchée en régime d'écoulement pratiquement lisse, le développement théorique se propose de corriger la dimension linéaire de référence par un facteur de correction dépendant exclusivement du nombre de Reynolds caractérisant l'écoulement turbulent rugueux dans le profil géométrique de référence.

**Mots clés :** Régime d'écoulement, dimension linéaire, écoulements en charge, écoulement à surface libre, protocole expérimentale.

**Abstract:** The main objective of our study is to propose a method of calculation of the linear dimension  $a$  in any geometric profile and to validate the gotten relation experimentally. The tentative approach is done on the circular conducts of diameters.

The theoretical development takes the formula of Darcy-Weisbach applied to a geometric profile of reference as a basis for which the regime of out-flow is there turbulent rough and whose partitions are characterized arbitrarily by a relative roughness chosen equal to  $3,7 \cdot 10^{-2}$ . It permitted to determine the linear dimension of the geometric profile of reference. To value the dimension searched for in practically smooth out-flow regime the theoretical development intends to correct the linear dimension of reference exclusively by a dependent correction factor of the number of Reynolds characterizing the rough turbulent out-flow in the geometric profile of reference.

**Key words :** Regime of out-flow, linear dimension, out-flows in charge, out-flow to free surface, tentative protocol.

## INTRODUCTION

La présente étude se propose l'élaboration d'une approche expérimentale dont l'objectif principal est la vérification des relations théoriques élaborées. Le protocole expérimental sera soigneusement décrit et sera conçu de manière à permettre l'étude de l'ensemble des régimes d'écoulement turbulent rugueux, de transition et en particulier le régime pratiquement lisse. Pour chacun des régimes d'écoulement ci-dessus mentionnés, les mesures expérimentales visent principalement à comparer les conductivités relatives théoriques et expérimentales sur la base d'un échantillon de points de mesure aussi exhaustif que possible. La fiabilité et la qualité de nos résultats expérimentaux doivent donc reposer d'une part sur une précision suffisante des paramètres mesurés et sur la reproductibilité des essais d'autre part. Ceux-ci seront exécutés sur une série de conduites circulaires de diamètres variés que possible. L'étude expérimentale concerne exclusivement les conduites circulaires en charge, mais elle peut être cependant étendue aux écoulements à surface libre. Ce dernier aspect pourrait faire l'objet d'investigations lors de travaux futurs (Gali, 2002).

## APPROCHE THEORIQUE -DOMAINE PRATIQUEMENT LISSE-

Dans le domaine pratiquement lisse, caractérisé par une rugosité absolue  $\varepsilon \rightarrow 0$ , nous proposons de corriger la valeur de la dimension linéaire  $a_r$  obtenue dans le domaine rugueux, par un coefficient  $\psi$  analogue au coefficient de transition  $\lambda$ . La dimension linéaire recherchée s'écrit :

$$a = \psi \Lambda a_0 = \psi a_r \quad (1)$$

L'expression de  $\psi$  s'obtient de la même manière que celle ayant conduit à.

En faisant appel à la formule de *Darcy-Weisbach* (Darcy, 1854):

$$J = \frac{f}{D_h} \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Où  $f$  est le coefficient de frottement en régime pratiquement lisse. L'aire de la section mouillée est  $A = \psi^2 \Lambda^2 A_0$  et le diamètre hydraulique est  $D_h = \psi \Lambda D_{h0}$

En tenant de ces considérations, la relation (I-56) de *Darcy-Weisbach* devient :

$$J = \frac{f}{\psi \Lambda D_{h0}} \frac{Q^2}{2g \psi^4 \Lambda^4 A_0^2}$$
$$\psi \Lambda = f^{1/5} \sqrt[5]{\frac{Q^2}{2g D_{h0} J}} \quad (2)$$

Dans le domaine rugueux, la relation, (2) s'écrit, avec  $\psi=1$  et  $f=f_r$  :

$$\Lambda = f_r^{1/5} \sqrt[5]{\frac{Q^2}{2g D_{h0} J}} \quad (3)$$

En faisant le rapport entre les relations (2) et (3), on obtient :

$$\psi = \left( \frac{f}{f_r} \right)^{1/5} \quad (4)$$

Cependant, le coefficient de frottement  $f_r$  calculé en application de la formule de *Nikuradse* n'a pas de sens puisque. Afin de lever cette difficulté, nous considérons une conduite hypothétique de même conductivité que la conduite réelle et caractérisée par une rugosité relative  $\varepsilon_r/D_{hr}=8,5.10^{-3}$  dans le domaine rugueux. Pour cette conduite hypothétique, le coefficient de frottement  $f_r$  selon *Nikuradse* est alors :

$$f_r = 0,0359 \quad (5)$$

La relation (4) devient:

$$\psi = 1,945 f^{1/5} \quad (6)$$

Le coefficient de frottement  $f$  (Achour, 1997) se calcule pour  $\varepsilon/D_h = 0$ , avec une erreur inférieure à 0,6% par rapport à la valeur obtenue selon *Colebrook-White* et pour  $R \geq 2350$ .

$$f^{-1/2} = -2 \log \left[ \frac{4,5}{R} \log \frac{R}{6,97} \right]$$

Mais, la relation (6) peut être remplacée par l'équation suivante, obtenue avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,9999$  :

$$\psi = \left( \frac{3,673}{\log R} \right)^{0,478}, \quad R \geq 2350 \quad (7)$$

Comme dans le cas du domaine de transition, le nombre de *Reynolds* figurant dans la relation (7) s'écrit  $R = R_r / \psi$  et la relation (7) devient :

$$\psi = \left[ \frac{3,673}{\log(R_r / \psi)} \right]^{0,478}$$

La valeur recherchée de  $\psi$  peut donc être déterminée, avec une excellente approximation, par la relation :

$$\psi = \left( \frac{3,673}{\log R_r} \right)^{0,478} \quad (8)$$

Rappelons que le nombre de *Reynolds*  $R_r$  et le diamètre hydraulique, dans le domaine rugueux, s'écrivent :

$$R_r = \frac{4(8,2)^{3/8}}{\nu} \left[ \frac{Q^{5/3} \sqrt{gJ}}{\varepsilon^{1/6}} \right]^{3/8} \left[ \frac{\sqrt{A_1}}{R} \right]^{5/4} \quad (9)$$

$$D_{hr} = \frac{4}{(8,2)^{3/8}} \left[ \frac{Q \varepsilon^{1/6}}{\sqrt{gJ}} \right]^{3/8} \left[ \frac{\sqrt{A_1}}{R} \right]^{3/4} \quad (10)$$

Il est intéressant de noter que, pour la conduite hypothétique circulaire partiellement remplie de rugosité relative  $\varepsilon/D_{hr}=8,5.10^{-3}$ ,  $A_1 = \frac{1}{4}(\delta - \cos\delta \sin\delta)$  et  $R = \delta$ , la relation (9) conduit à:

$$R_r = 5 \frac{(gJQ^3)^{1/5}}{\nu} \left( \frac{\sqrt{\delta - \sin \delta \cos \delta}}{\delta} \right)^{6/5} \quad (11)$$

Le diamètre hydraulique pour la même conduite est, selon (10) :

$$D_{hr} \approx \frac{4}{5} \left[ \frac{Q}{\sqrt{gJ}} \right]^{2/5} \left( \frac{\sqrt{\delta - \sin \delta \cos \delta}}{\delta} \right)^{4/5} \quad (12)$$

Pour le cas particulier de la conduite hypothétique pleine pour laquelle  $\delta = \pi$ , les relations (11) et (12) conduisent respectivement à :

$$R_r = \frac{5}{2} \frac{(gJQ^3)^{1/5}}{\nu} \quad (13)$$

$$D_r \approx \frac{1}{2} \left[ \frac{Q}{\sqrt{gJ}} \right]^{2/5} \quad (14)$$

Dans le cas particulier de la conduite circulaire pleine ( $\delta = \pi$ ), l'expression de la dimension linéaire  $a = D$  dans le domaine pratiquement lisse s'écrit :

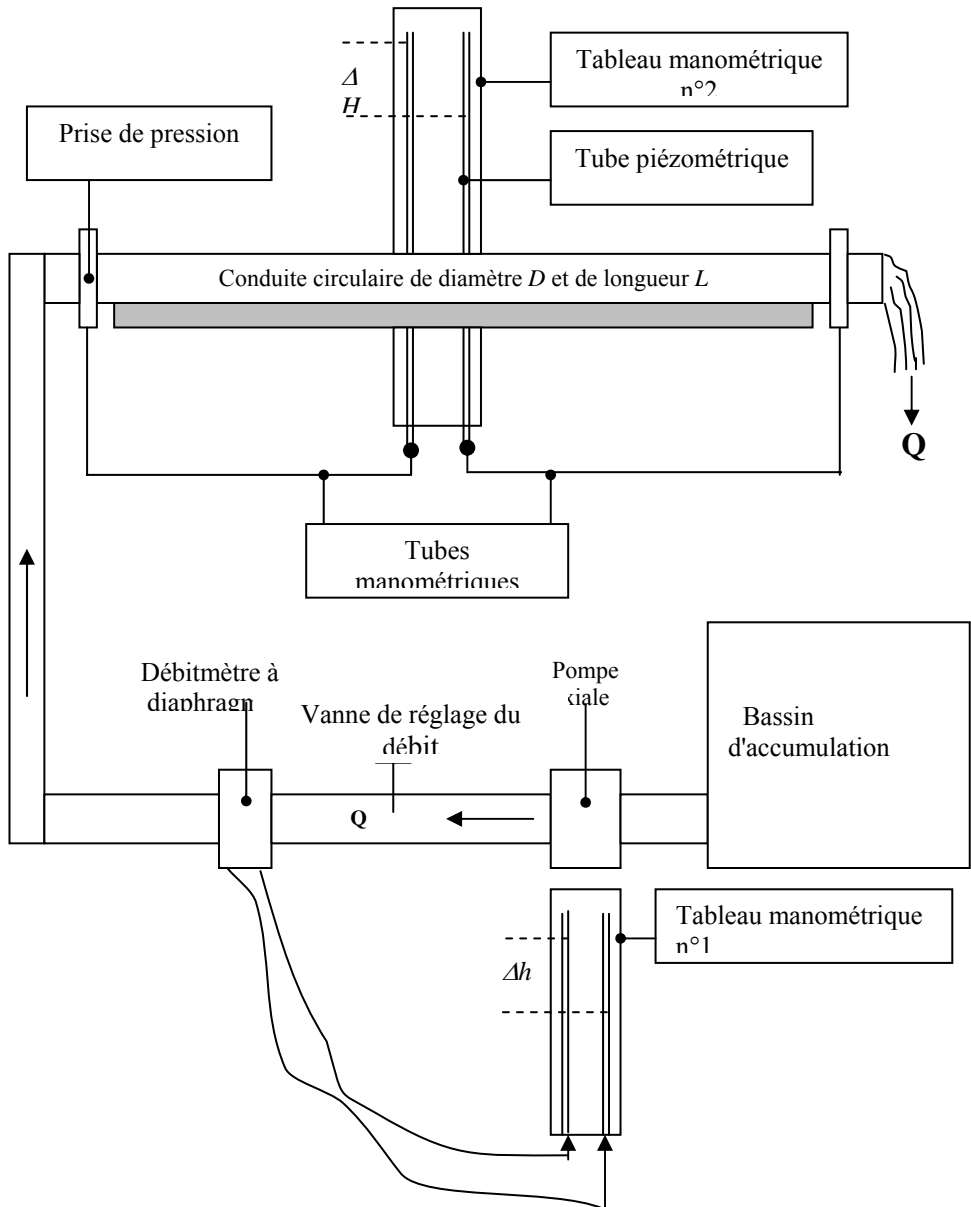
$$D = \frac{1}{2} \left( \frac{3,673}{\log R_r} \right)^{0,478} \left( \frac{Q}{\sqrt{gJ}} \right)^{2/5} \quad (15)$$

## APPROCHE EXPERIMENTALE

Description générale de l'installation

La figure 1 montre le schéma simplifié de l'installation ayant servie à l'étude expérimentale de l'écoulement uniforme dans les conduites en charge. La photo du banc d'essai est en figure 2. Cette installation a été entièrement conçue et réalisée par le Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS) de l'Université de Biskra.

L'installation est conçue pour alimenter en circuit fermé la conduite circulaire testée. Elle est composée :



**Fig. 1:** Schéma simplifié du dispositif expérimental ayant servi à l'étude de l'écoulement uniforme en conduite circulaire en charge.

- D'un support (couleur grisâtre).
- D'une pompe axiale alimentant en eau le système et pouvant débiter jusqu'à 100 l/s.
- D'un débitmètre à diaphragme (photographie 7) insérée dans la conduite d'alimentation à l'aval de la pompe. Ce dispositif de mesure a été préalablement étalonné et sa précision est de l'ordre de 0,5 l/s. Les deux prises de pression sortant du débitmètre à diaphragme sont raccordées à un tableau manométrique (tableau manométrique 1, photographie 8) muni de deux tubes piézométrique.

A chaque débit  $Q$  véhiculé par la conduite d'alimentation correspond une différence de cote  $\Delta h$  des ménisques dans les tubes. Le débit  $Q$  a été corrélé à  $\Delta h$  et l'étalonnage a conduit à écrire que :

$$Q = 0,02218(\Delta h)^{0,5082}, \text{ où } Q \text{ est en m}^3/\text{s et } \Delta h \text{ en m.}$$

- D'un bassin d'accumulation recevant les eaux évacuées par l'extrémité aval de la conduite d'essai.
- D'une vanne plane permettant de régler à volonté le débit  $Q$ .
- De deux prises de pression (Photographie 4) statiques opérées sur la conduite testée, raccordées à un tableau manométrique (tableau manométrique n° 2) doté de deux tubes piézométriques. La différence de cote  $\Delta H$  des ménisques dans les tubes piézométriques correspond à la perte de charge linéaire occasionnée entre les deux prises de pression sur la longueur  $L$  séparant les deux prises. La réalisation des prises de pression a consisté en quatre orifices fins opérés sur le périmètre de la conduite testée. Par l'intermédiaire d'embouts en acier, ces orifices ont été raccordés à un anneau circulaire métallique fermé. Cet anneau a été enfin percé puis relié à son tour à la base du tube piézométrique du tableau manométrique.



**Fig. 2.** Photo du Banc d'essai

## **DEROULEMENT DES ESSAIS – RESULTATS**

### **Répartition des débits et du régime d'écoulement**

Les essais ont concerné 05 conduites circulaires de diamètre intérieur respectif 49 mm, 56 mm, 86 mm, 124 mm et 130 mm.

Chacune de ces conduites a fait l'objet d'essais dans une large gamme des débits volumes  $Q$ . Pour chaque débit, obtenu par manipulation de la vanne de réglage, la perte de charge linéaire  $\Delta H$  a été déterminée par lecture sur le tableau manométrique 2. Les gammes des débits testés ont fait l'objet d'une analyse visant à définir la nature du régime d'écoulement dans la conduite testée.

Selon les possibilités expérimentales, dépendantes fortement des débits fournis par la pompe et des diamètres des conduites, les régimes d'écoulement turbulent rugueux, de transition et pratiquement lisse ont été obtenus et répartis comme suit :

1. Diamètre  $D = 49$  mm

$1,7 \text{ l/s} \leq Q \leq 4,6 \text{ l/s}$  : Régime d'écoulement de transition

$3,6 \text{ l/s} \leq Q \leq 9 \text{ l/s}$  : Régime d'écoulement turbulent rugueux

2. Diamètre  $D = 56$  mm

$1,7 \text{ l/s} \leq Q \leq 6 \text{ l/s}$  : Régime d'écoulement de transition

$6 \text{ l/s} \leq Q \leq 12 \text{ l/s}$  : Régime d'écoulement turbulent rugueux

3. Diamètre  $D = 86$  mm

$5 \text{ l/s} \leq Q \leq 6,5 \text{ l/s}$  : Régime d'écoulement turbulent rugueux

$7,5 \text{ l/s} \leq Q \leq 19 \text{ l/s}$  : Régime d'écoulement pratiquement lisse

$20 \text{ l/s} \leq Q \leq 30 \text{ l/s}$  : Régime d'écoulement turbulent rugueux

4. Diamètre  $D = 124$  mm

$19,5 \text{ l/s} \leq Q \leq 40,6 \text{ l/s}$  : Régime d'écoulement turbulent rugueux

5. Diamètre  $D = 130$  mm

$14 \text{ l/s} \leq Q \leq 44 \text{ l/s}$  : Régime d'écoulement de transition

Cette répartition des débits et des régimes d'écoulement dans les conduites testées permet de faire observer que :

1. Les débits ont pu être variés, pour l'ensemble des régimes d'écoulement (turbulent rugueux, de transition et pratiquement lisse) dans la gamme suffisante  $7,5 \text{ l/s} \leq Q \leq 44 \text{ l/s}$ .

2. Le régime d'écoulement pratiquement lisse n'a pu être observé que dans la conduite de diamètre  $D = 86$  mm et dans la gamme relativement réduite  $7,5 \text{ l/s} \leq Q \leq 19 \text{ l/s}$ .

3. Le régime d'écoulement de transition a pu être observé dans les conduites de diamètre  $D = 49$  mm,  $D = 56$  mm,  $D = 124$  mm.

4. Le régime d'écoulement turbulent rugueux n'a pu être observé dans la conduite de diamètre  $D = 130$  mm où seul est apparu l'écoulement en régime de transition.

5. Les résultats qui pourraient résulter des faibles débits tel que  $Q = 1,7 \text{ l/s}$  ne sont pas du tout significatifs compte tenu de l'erreur absolue du débitmètre à diaphragme utilisé. Cette erreur étant de l'ordre de  $0,5 \text{ l/s}$ , la mesure d'un débit  $Q = 1,7 \text{ l/s}$  occasionne par conséquent une erreur relative significative de  $\Delta Q/Q = 0,5/1,7 \approx 30\%$ .

### **Evaluation du facteur $\psi$ en régime d'écoulement pratiquement lisse**

Comme nous l'avons déjà précisé, le régime d'écoulement pratiquement lisse n'a pu être observé que dans la conduite de diamètre intérieur  $D = 86$  mm et pour la gamme des débits  $7,5 \text{ l/s} \leq Q \leq 19 \text{ l/s}$ .

L'évaluation du coefficient  $\psi$  a nécessité dans un premier temps le calcul du coefficient de frottement  $f_r$  dans l'hypothèse d'un régime d'écoulement turbulent rugueux

dans la conduite hypothétique ou fictive de rugosité relative  $\varepsilon/D_r = 8,5 \cdot 10^{-3}$ , valeur arbitrairement choisie.

Selon *Nikuradsé*, la valeur de  $f_r$  correspondant à cette rugosité relative est  $f_r = 0,0359$ .

L'évaluation du coefficient  $\psi$  a nécessité dans un second temps le calcul du coefficient de frottement  $f$  caractérisant l'écoulement dans la conduite réelle testée. Ce coefficient de frottement  $f$  a été expérimentalement évalué. Ainsi, et pour chacun des débits  $Q$  utilisés, le coefficient de correction  $\psi$  a été évalué par application de la relation :

$$\psi = \left( \frac{f}{0,0359} \right)^{1/5} \quad (16)$$

En considérant la conduite de diamètre  $D = 86$  mm que nous avons testée, le tableau 1 regroupe les valeurs expérimentales et théoriques du coefficient de correction  $\psi$ .

**Tableau 1** : Valeurs expérimentales et théoriques du coefficient de correction  $\psi$

|                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\psi$<br>exp.         | 0,8582 | 0,8360 | 0,8306 | 0,8424 | 0,8435 | 0,8341 | 0,8225 | 0,8065 | 0,8220 |
| $\psi$ th.             | 0,8585 | 0,8524 | 0,8488 | 0,8452 | 0,8433 | 0,8407 | 0,8380 | 0,8351 | 0,8321 |
| $\Delta\psi/\psi$<br>% | 0,03   | 1,96   | 2,19   | 0,33   | 0,024  | 0,8    | 1,88   | 3,55   | 1,23   |
| $\psi$<br>exp.         | 0,8198 | 0,8189 | 0,8238 |        |        |        |        |        |        |
| $\psi$ th.             | 0,8300 | 0,8291 | 0,8280 |        |        |        |        |        |        |
| $\Delta\psi/\psi$<br>% | 1,25   | 1,25   | 0,51   |        |        |        |        |        |        |

Le tableau 1 montre clairement que les écarts observés entre les valeurs expérimentales et théoriques du coefficient de correction  $\psi$  sont acceptables. En règle générale, la valeur maximale de cet écart ne dépasse guère 2%, dans la majeure partie des essais. Ceci semble indiquer que la relation théorique proposée pour l'évaluation du coefficient de correction  $\psi$  est fiable. Cependant, des essais complémentaires devront être effectués à l'avenir pour pouvoir conclure de manière définitive.

### **Vérification expérimentale de la dimension linéaire D des conduites testées -cas régime d'écoulement pratiquement lisse-**

Comme pour les régimes d'écoulement turbulent rugueux et de transition, l'expérimentation que nous avons menée a concerné le régime d'écoulement pratiquement lisse. Celui-ci a été observé dans la conduite de diamètre  $D = 86$  mm et dans la gamme  $7,5 \text{ l/s} \leq Q \leq 19 \text{ l/s}$ .

L'objectif de l'étude a été de comparer les diamètres calculés, en vertu de la méthode que nous avons préconisée au cours du développement théorique, et le diamètre réelle de la conduite testée ( $D = 86$  mm, Diamètre normalisé).

Les points de mesure obtenus dans la gamme des débits ci-dessus indiqués n'ont pas tous été significatifs, notamment pour les débits réduits allant jusqu'à 10 l/s. Pour un débit  $Q = 10$  l/s, l'erreur relative commise sur la mesure est de  $0,5/10 = 5\%$ . Ceci constitue l'erreur relative maximale sur la mesure du débit, compte tenu de la précision de 0,5 l/s du débitmètre à diaphragme utilisé. Pour la plus grande valeur du débit  $Q = 19$  l/s, l'erreur se réduit à  $0,5/19 = 2,6\%$ .

Le calcul du diamètre de la conduite repose sur la mesure expérimentale du facteur de correction  $\psi$ . Le diamètre réel calculé (mais non normalisé) a été obtenu par la correction du diamètre de la conduite hypothétique véhiculant un écoulement en régime turbulent rugueux, selon la relation :

$$D \text{ (réel non normalisé)} = \psi D_r \text{ (conduite hypothétique)}$$

Le diamètre de la conduite hypothétique est évalué, par la relation suivante, en tenant compte des valeurs mesurées des débits  $Q$  et du gradient de la perte de charge  $J$  :

$$D_r \text{ (conduite hypothétique)} = \frac{1}{2} \left( \frac{Q}{\sqrt{gJ}} \right)^{2/5} \quad (17)$$

En vertu du théorème des erreurs relatives, l'erreur commise sur le calcul du diamètre  $D_r$  est

$$\frac{\Delta D_r}{D_r} = \frac{2}{5} \left( \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{1}{2} \frac{\Delta J}{J} \right) \quad (18)$$

Etant donné que  $J = \Delta H/L$ , la relation précédente permet d'écrire, compte tenu de l'erreur insignifiante commise sur la mesure de la longueur  $L$  :

$$\frac{\Delta D_r}{D_r} = \frac{2}{5} \left( \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{1}{2} \frac{\Delta(\Delta H)}{\Delta H} \right) \quad (19)$$

En considérant la plus faible valeur du débit  $Q = 7,5$  l/s de la gamme utilisée, l'erreur relative sur la mesure de ce débit est maximale et vaut  $\Delta Q/Q = 0,5/7,5 \approx 6,67\%$ . Bien que cette erreur soit relativement significative, elle n'a cependant qu'un faible influence sur le calcul du diamètre  $D_r$ . Cette affirmation sera étayée dans ce qui suit.

La perte de charge  $\Delta H$  correspondant au débit  $Q = 7,5$  l/s est  $\Delta H = 0,02$  m = 20 mm. L'erreur relative commise sur la lecture de  $\Delta H$  est par suite  $\Delta(\Delta H)/\Delta H = 1/20$ .

En tenant compte de ces considérations, l'erreur relative maximale affectant le calcul du diamètre  $D_r$  est donc :

$$\frac{\Delta D_r}{D_r} = \frac{2}{5} \left( 0,0667 + \frac{1}{40} \right) \approx 3,67\%$$

Ainsi, compte tenu d'une erreur relative significative maximale de 6,67% sur la mesure du débit  $Q$ , l'erreur relative commise sur le calcul du diamètre  $D_r$  n'est que de 3,7 % environ.

L'erreur relative commise sur le calcul du diamètre réel de la conduite (diamètre non normalisé) s'obtient en écrivant que :

$$\Delta D/D = \Delta \psi/\psi + \Delta D_r/D_r \quad (20)$$

Comme dans le cas du coefficient de correction  $\lambda$ , l'erreur relative engendrée sur le calcul du coefficient  $\psi$  s'écrit :

$$\frac{\Delta \psi}{\psi} = \frac{1}{5} \frac{\Delta f}{f}$$

Avec :

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta J}{J} + 2 \frac{\Delta Q}{Q}$$

Soit :

$$\frac{\Delta \psi}{\psi} = \frac{1}{5} \left( \frac{\Delta J}{J} + 2 \frac{\Delta Q}{Q} \right) \quad (21)$$

Ou bien :

$$\frac{\Delta \psi}{\psi} = \frac{1}{5} \left( \frac{\Delta(\Delta H)}{\Delta H} + 2 \frac{\Delta Q}{Q} \right) \quad (22)$$

Cette dernière relation conduit à écrire que :

$$\frac{\Delta \psi}{\psi} = \frac{1}{5} \left( \frac{1}{20} + 2 \times 0,0667 \right) \approx 3,67\%$$

L'erreur relative occasionnée sur le calcul du diamètre non normalisé de la conduite réelle est donc :

$$\frac{\Delta D}{D} = 3,67 + 3,67 = 7,34\%$$

Il est à noter que les mesures expérimentales sont entachées d'une erreur relative qui demeure dans tous les cas en deçà de l'erreur maximale. Elles montrent en particulier que l'erreur relative issue du calcul et de la mesure des diamètres normalisés de la conduite testée demeure constante et vaut 1,43 %. Ceci permet de conclure, avec une

incertitude très acceptable, à la fiabilité de la démarche théorique que nous avons proposée pour l'évaluation du diamètre de la conduite circulaire en régime d'écoulement pratiquement lisse.

## **CONCLUSION**

L'objectif principal du présent article la vérification expérimentale des relations issues du développement théorique, notamment celle ayant permis l'évaluation de la dimension linéaire en cas du régime pratiquement lisse.

Un protocole expérimental a été réalisé et n'a concerné que la conduite circulaire entièrement remplie par l'écoulement.

Afin d'observer expérimentalement l'ensemble des régimes d'écoulement, plusieurs conduites ont été testées. Il s'agit des conduites de diamètre intérieur 49 mm, 56 mm, 86 mm, 124 mm et 130 mm. Mais, le régime pratiquement lisse est constaté seulement dans la conduite de diamètre 86 mm

Nous avons indiqué, selon la gamme des débits et des conduites utilisées, la nature du régime rugueux, de transition ou pratiquement lisse de l'écoulement.

La vérification expérimentale du diamètre de la conduite testée a été effectuée pour chacun de ces régimes.

Pour l'ensemble des essais effectués, l'analyse des mesures expérimentales a permis de conclure de manière satisfaisante sur la fiabilité des relations théoriques proposées.

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Achour, B., 1997, Dissipateurs d'énergie par ressaut, thèse de doctorat d'état, université de Tizi-Ouzou.
- Chow, V.T. 1973. Open Channel Hydraulics, McGraw Hill Book Company, NewYork.
- Darcy, H. 1854. Sur des recherches expérimentales relatives au mouvement des eaux dans les tuyaux, Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, Vol.38, pp. 1109-1121, Paris.
- Gali, B. 2002, Contribution à l'étude de l'écoulement uniforme à surface libre et en charge, mémoire de magister, université de Batna