

ANALYSE NUMERIQUE D'UN ECOULEMENT DE FLUIDE DANS UN MINI-CANAL AVEC CHANGEMENT BRUSQUE DE SECTION

S.DJELLOULI¹, E.G.FILALI¹

¹Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene

Laboratoire de mécanique énergétique et systèmes de conversion, BP 32 El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie

Djellouli.gm@gmail.com filaliahoo.fr

Résumé : Le micron fait office de transition entre les échelles conventionnelles et l'échelle des particules où règnent les phénomènes quantiques. Entre ces deux extrêmes, les lois de la mécanique des fluides ont rarement été approuvées. Aussi, des questions persistent. A l'échelle du milli et micrométrique, les corrélations conventionnelles restent-elles valables ? Les lois de référence de l'hydrodynamique sont-elles vérifiées ? L'objectif majeur de ce travail est d'évaluer la validité des corrélations classiques dans le cas des mini-canaux, car, on ne dispose d'aucune approche théorique satisfaisante ni d'aucune vérification expérimentale qui justifierait l'utilisation de ces corrélations dans le cas de conduites de diamètre hydraulique inférieure au millimètre. Il s'agit de mettre en évidence, l'effet du confinement, sur les aspects dynamiques d'un écoulement en mini conduite munie de singularités (élargissement brusque et rétrécissement brusque) de diamètre d'entrée 1 mm. Dans le cas d'un élargissement brusque, les rapports des diamètres R_p (diamètre d'entrée/diamètre de sortie) varient de 1,5 à 3 et de 0,3 à 0,525 dans le cas d'un rétrécissement brusque et des nombres de Reynolds allant de 100 à 30000. La résolution numérique des configurations étudiées est réalisée à l'aide du code de calcul CFX 11, basé sur la méthode des volumes finis. Le modèle de turbulence choisi dans d'un écoulement turbulent est le modèle SST. La comparaison des résultats obtenus par rapport aux lois conventionnelles a montré une légère différence en ce qui concerne les coefficients de perte de charge, par ailleurs, nos résultats semblent plus proches des résultats expérimentaux conduits dans des mini et micro-conduites.

Mots clés : Mini canal, Elargissement brusque, Rétrécissement brusque, Pertes de charges singulières, Simulation numérique CFD.

1. Introduction

Jusqu'à présent la théorie de la mécanique des fluides en mini et micro-canaux s'appuie sur des modèles élaborés pour la description des écoulements à l'échelle macroscopique. Mais on ne dispose d'aucune approche théorique satisfaisante ni d'aucune vérification expérimentale qui justifierait l'utilisation de ces corrélations dans le cas de conduites de diamètre hydraulique inférieure au millimètre. C'est dans cet objectif que de nombreuses études expérimentales et numériques

ont été réalisées, afin de pouvoir vérifier la validité de ces corrélations classiques dans le domaine de la mini et microfluidique.

L'objectif majeur de notre travail est d'évaluer la validité des corrélations classiques dans le cas d'un écoulement en mini conduite munie de singularités (élargissement brusque et rétrécissement brusque). Nous nous sommes intéressés de façon particulière au coefficient de perte de charge singulière. La configuration étudiée est une mini-conduite munie de singularités de diamètre d'entrée 1 mm, dans le cas d'un rétrécissement brusque, les rapports des diamètres R_p (diamètre d'entrée/diamètre de sortie) varient de 0,3 à 0,525 et de 1,5 à 3 dans le cas d'un élargissement brusque et des nombres de Reynolds allant de 100 à 30000. L'analyse de l'ensemble des recherches effectuées dans ce domaine, à savoir, Abdelal F.F et al (2005), LIZhuo et al (2008), Chalfi T Y et Ghiaasiaan S M (2008) et Hang GUO et al (2010) ont montré que pour un écoulement de fluide à travers une section à élargissement brusque les résultats sont conformes aux prédictions théoriques. Cependant, le coefficient de perte de charge singulière augmente sensiblement avec le nombre de Reynolds dans le cas du rétrécissement brusque.

2. Configuration de l'écoulement et conditions aux limites

Le domaine d'étude est une mini-conduite lisse, de section circulaire, présentant un élargissement brusque et un rétrécissement brusque axisymétrique suivant le sens de l'écoulement. Dans le cas d'un élargissement brusque le fluide entre avec une vitesse uniforme U_e , variant de 0,1 m/s à 30 m/s, à travers la section de petit diamètre d constant, et sort par la section de grand diamètre D (Fig 1).

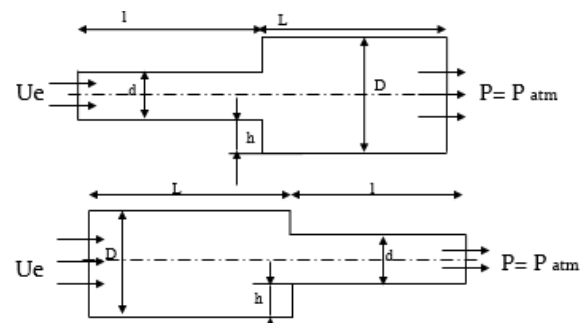


Figure 1. Configuration de l'écoulement étudié.

Le diamètre D est choisi en fonction du rapport d'élargissement « R_p » ($D = R_p \cdot d$). Nous avons choisi des rapports R_p de 1,5 ; 2 et 3. Dans le cas d'un rétrécissement

brusque, le fluide entre avec une vitesse uniforme U_e , variant de 0,1 m/s à 7 m/s, à travers la section de grand diamètre D constant et sort par la section de petit diamètre d choisi en fonction du rapport de rétrécissement « R_p ». Le rapport ($R_p = d/D$) prend les valeurs de 0,5 et 0,3.

Les longueurs « l » et « L » sont choisis de façon à ce que le régime soit pleinement développé avant la singularité de sorte que la position de la sortie n'ait pas d'influence sur la section contractée.

A l'entrée de la mini-conduite : vitesse d'entrée connue, et variant entre 0,1 m/s à 30 m/s pour élargissement brusque et de 0,1 m/s à 7 m/s dans le cas d'un rétrécissement brusque. La température du fluide est maintenue constante, de valeur 20°C.

A la sortie de la mini-conduite : pression constante (pression atmosphérique).

Sur les parois : condition d'adhérence est imposée sur la totalité de la paroi ($V=0$)

Une condition aux limites de **type symétrie** est appliquée à la configuration étudiée.

3. Résolution numérique

La résolution de notre problème est réalisée à l'aide du code de calcul ANSYS CFX 5.7.1. Ce code est utilisé dans la simulation numérique des écoulements des fluides par la résolution des équations de Navier Stokes. Ce code permet de mettre en œuvre une simulation numérique complète, de la modélisation de la géométrie basée sur la méthode des volumes finis, à la visualisation des résultats, en passant par la création du maillage et le solveur CFX (résolution des équations de Navier Stokes). Le modèle de turbulence utilisé est le modèle SST (Shear Stress Turbulence).

4. Résultats et discussions

Dans cette partie on présente les résultats de simulation numérique d'un écoulement dans une mini-conduite munie de deux singularités ; un élargissement brusque et un rétrécissement brusque. Nous avons analysé les pertes de charges singulières provoquées par le changement brusque de la section de passage du fluide ; l'effet de variation du nombre de Reynolds ainsi que le rapport d'élargissement ou de rétrécissement.

4.1 Mini-conduite munie d'un élargissement brusque :

Nous rappelons que le coefficient de perte de charge singulière causé par un élargissement brusque est formulé par la relation théorique de Borda-Belanger qui prévoit une valeur constante pour un rapport de diamètre donné.

La comparaison par rapport aux résultats expérimentaux de Chalfi T Y, Ghiaasiaan S M [3], est représentée sous la forme de figures illustrant l'évolution du coefficient de perte de charge singulière en fonction du nombre de Reynolds (figure 2). Les valeurs du coefficient déterminées à partir des simulations numériques sont globalement du

même ordre de grandeur que les valeurs obtenues à partir des résultats expérimentaux. Ces valeurs tendent à suivre la relation théorique de Borda-Belanger qui prévoit une valeur constante pour un rapport de diamètre donné dans le cas de conduites de taille conventionnelles pour des nombres de Reynolds supérieur à 300.

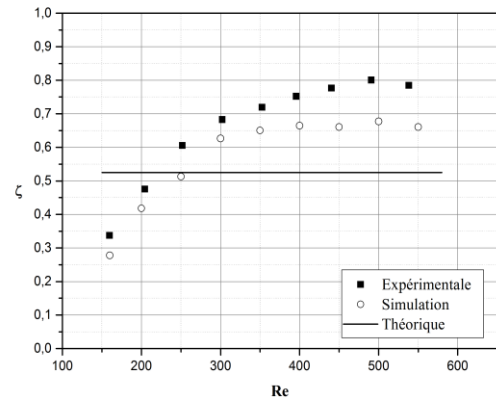


Figure (2) Variation du coefficient de perte de charge singulière ξ expérimental et numérique en fonction de Re , $R_p = 1,9$

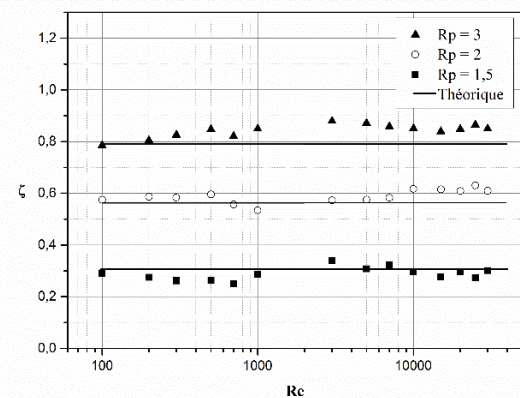


Figure (3) Variation du coefficient de perte de charge singulière ξ en fonction de Re , $R_p = 1,5 ; 2$ et 3

La figure (3) illustre la variation du coefficient de perte de charge singulière pour des rapports de diamètre respectivement 1,5 ; 2 et 3 en fonction du nombre de Reynolds. On remarque que l'évolution du coefficient de perte de charge singulière pour un rapport d'élargissement donné, suit la même évolution avec un écart maximal, en moyenne, de 10 % par rapport à la théorie classique (Borda-Belanger) qui prévoit une valeur constante. A noter aussi que le coefficient de perte de charge augmente proportionnellement avec le rapport d'élargissement R_p , ceci est prévu par les corrélations proposées dans le cas de conduites de taille conventionnelle, Notons que cette remarque rejoint les observations de AbdelallF.F et al [1]. En général, les résultats obtenus par simulation numérique d'un écoulement à travers une mini-conduite munie d'un élargissement brusque, sont à la fois similaires aux résultats

expérimentaux, et proche de ceux prévu par la théorie relative aux écoulements dans des conduites de taille conventionnelle.

4.2 Mini-conduite munie d'un rétrécissement brusque :

Afin de comparer les résultats de simulation aux résultats mesurés expérimentalement, nous avons considéré la même géométrie que Chalfi T Y, Ghiaasiaan S M [1]. Le diamètre à l'entrée de la mini-conduite $D = 1,6$ mm et le diamètre de la section rétrécie $d = 0,84$ mm soit un rapport de d'élargissement $R_p = 0,525$ avec des nombres de Reynolds de sortie allant de 160 à 539.

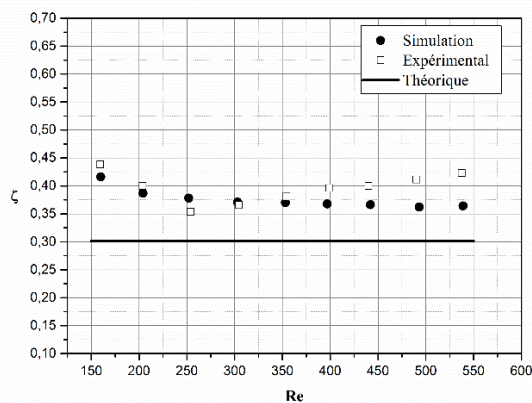


Figure 4. Variation du coefficient de perte de charge singulière ξ expérimental et numérique en fonction de $Re, R_p=0,52$

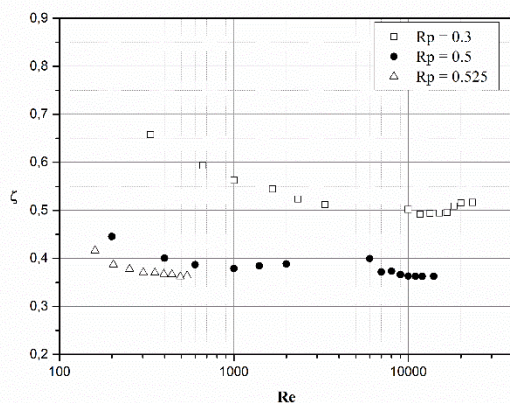


Figure 4. Variation du coefficient de perte de charge singulière ξ en fonction de $Re, R_p = 0,3 ; 0,5$ et $0,525$

La figure (4) illustre l'évolution du coefficient de perte de charge singulière ξ en fonction du nombre de Reynolds de sortie, à remarquer que les résultats obtenus par simulation numérique sont proches de celles mesurés expérimentalement, cependant les deux résultats se situent au-dessus de l'équation de Geiger[6] ; couramment admises pour les conduites de taille conventionnelle.

La figure (4) montre l'évolution du coefficient de perte de charge singulière dû à un rétrécissement brusque en fonction du nombre de Reynolds pour les trois rapports étudiés 0,3 ; 0,5 et 0,525. On remarque une diminution du coefficient du coefficient de perte de charge avec l'augmentation du rapport ; diminution conforme aux prédictions théoriques

Les valeurs du coefficient de perte de charge singulière sont supérieures à celles prévus par la théorie classique qui prévoit des valeurs de 0,36 ; 0,31 et 0,3 respectivement aux rapports de diamètre 0,3 ; 0,5 et 0,525. Notons que cette remarque rejoint les observations de Abdelall.F et al [1], LI Zhuo et al [2], Hang GUO et al [4].

Conclusion

Les résultats obtenus par simulation numérique à travers une mini-conduite à élargissement brusque, sont à la fois similaires aux résultats expérimentaux, et proche de ceux prévu par la théorie relative aux écoulements dans des conduites de taille conventionnelle. Cependant, dans le cas d'une mini-conduite à rétrécissement brusque le coefficient de perte de charge singulière est supérieur aux lois couramment admises pour les conduites de taille conventionnelle. A noter que ces résultats sont rapportés par Abdelall.F et al [1], LI Zhuo et al [2], Hang GUO et al [4].

D'une manière générale, les résultats de cette étude ne sont pas de nature à remettre en cause la validité des lois classiques dans le cas des mini-canaux jusqu'à un diamètre de 0,1mm.

Références

- [1] F.F. Abdelall, G. Hahn, S.M. Ghiaasiaan, S.I. Abdel-Khalik, S.S. Jeter, M. Yoda, D.L. Sadowski, « Pressure drop caused by abrupt flow area changes in small channels », Exp. Thermal and Fluid Science 29,(2005), p 425-434.
- [2] LI Zhuo, YU Jian & MA ChongFang "Characteristics of pressure drop for single-phase and two-phase flow across suddencontraction in microtubes" Science in China Series E: Technological Sciences, Volume 51, Issue 2, (2008), p 162-169.
- [3]ToufikY. Chalfi, S.M. Ghiaasiaan« Pressure drop caused by flow area changes in capillaries under low flow conditions » International Journal of Multiphase Flow 34,(2008) p 2-12.
- [4] Hang Guo, Ling Wang, Jian Yu, Fang YE, Chongfang MA, Zhuo LI "Local resistance of fluid flow across sudden contraction in small channels" Front. Energy Power Eng, China, 4(2), (2010), p 149-154.
- [5]ANSYS CFXTutoriel.
- [6] G.E. Geiger, « Sudden Contraction Losses in Single and tow-phase» PHD Thesis, University of Pittsburgh (1694).