

ÉCOULEMENT DIPHASIQUE DANS UN ÉLARGISSEMENT BRUSQUE

R. REZKA¹, M. KADJA²

¹ Université 20 Aout Skikda Algérie, rezkara1@yahoo.fr

²Laboratoire LEAP, Université Mentouri Constantine Algérie, kadja_mahfoud@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Cette étude à caractère numérique, concerne un écoulement diphasique dans un élargissement brusque. La simulation est faite en régime stationnaire avec prise en considération du changement de phase. L'écoulement est modélisé en se basant sur les principes de conservation. Les équations régissant avec les conditions aux limites associées sont résolues par le CFD FLUENT en appréhendant la méthode «mixture». Les résultats obtenus ont révélé que la perte de charge en écoulement diphasique est plus prononcée qu'en écoulement monophasique. L'influence de la géométrie sur ce genre d'écoulement est analysée en considérant trois valeurs du rapport des diamètres de l'élargissement brusque soit $r=1.5$, $r=2$ et $r=2.5$ pour mieux comprendre le phénomène causé par la présence de ce type de singularité.

Mots Clés: *Élargissement brusque, Changement de phase, Pertes de charges, Fluent.*

NOMENCLATURE

Symboles :

\vec{f}	Densité massique des forces extérieures
m	Débit massique, Kgs^{-1}
\vec{n}_k	Vecteur normal à l'interface
P	pression, Nm^{-2}
R	Rayon de courbure de l'interface, m
r	rapport de diamètre
S	Abscisse curviligne
\vec{T}	Tenseur des contraintes
u	vitesse axiale, ms^{-1}
\vec{V}_i	vitesse d'un point de l'interface, ms^{-1}

Lettres grecques :

ρ	masse volumique, kgm^{-3}
μ	viscosité, $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$
α	fraction volumique
σ	Tension superficielle

Indices :

Σ	Surface fermée
k	Indice de phase
v	volumique
1	phase liquide
2	phase vapeur

1. INTRODUCTION

A la différence des écoulements monophasiques, constitués, comme leur nom l'indique d'une seule phase (gaz, liquide ou solide), les écoulements diphasiques mettent en présence deux phases, qu'elles soient ou non relatives au même constituant; en effet il peut s'agir d'un même fluide présent en deux phases différentes (eau et vapeur par exemple), de deux liquides différents dans une même phase (eau et huile liquides par exemple : cela intéresse particulièrement l'industrie pétrolière) ou encore deux fluides différents dans une phase différente (eau et air par exemple)... Le comportement d'un écoulement en présence de deux fluides différents se trouve fortement

modifié par rapport au cas monophasique ; c'est pourquoi il est à l'heure actuelle l'un des sous-domaines les plus actifs au niveau de la mécanique des fluides [1-4].

Le comportement de l'écoulement diffère beaucoup en fonction de divers paramètres entre autre les différents fluides (mélange liquide/gaz ou liquide/liquide) ; la géométrie du système (réservoir, tube horizontal, tube vertical, ...); le chauffage ou non du système et le type de chauffage utilisé en supposant que le chauffage induit l'état diphasique du système par évaporation.

Les écoulements diphasiques dans un élargissement brusque provoquent des modifications importantes des caractéristiques de l'écoulement. Leurs influences sur l'écoulement, peut conduire, par exemple, à la contrainte d'usure mécanique de la structure ou encore à l'augmentation du transfert local de masse et de chaleur[5].

Le problème qui se pose donc est celui de prédire les modifications apportés par un élargissement brusque à un écoulement avec changement de phase établi en amont de celui-ci.

Le but du présent travail est l'étude de l'écoulement diphasique dans une conduite à élargissement brusque. L'outil numérique utilisé est le code FLUENT.

2. MODELE MATHEMATIQUE

On considère une conduite horizontale de longueur 12 m subissant un élargissement brusque. La moitié gauche a un diamètre de 0.08 m et la moitié droite un diamètre de 0.12 m. De l'eau entre avec une pression de 1.9×10^5 Pa. La pression à la sortie est de 1.5×10^3 Pa. Ce qui peut engendrer un changement de phase est donc le modèle de calcul en diphasique doit être approprié.

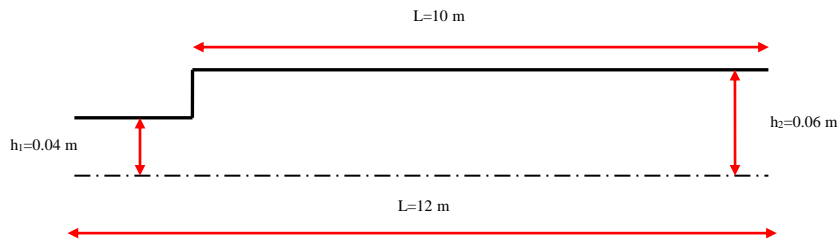


FIGURE 1. Géométrie du problème étudié

L'écoulement est stationnaire, axisymétrique avec prise en compte du changement de phase. Le fluide de base (eau) est Newtonien et incompressible. Sous les hypothèses citées ci-dessus et en rajoutant les conditions d'interfaces des phases pour établir les équations des bilans globaux et locaux de plus l'application de la règle de Leibnitz et le théorème de Gauss [6] nous conduit à l'établissement d'équations locales contenues dans l'intégrale de volume pour chaque phase. Quant aux équations locales contenues dans l'intégrale de surface, elles sont obtenues grâce aux conditions d'interface. Le modèle des équations de conservation (continuité, quantité de mouvement et énergie) s'écrit comme suit :

$$\sum_{k=1}^2 \left(\frac{D}{Dt} \int_{V_k} \rho_k \cdot dv \right) = \frac{D}{Dt} \int_{V_1} \rho_1 \cdot dv + \frac{D}{Dt} \int_{V_2} \rho_2 \cdot dv = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^2 \left(\frac{D}{Dt} \int_{V_k} \rho_k \cdot \vec{V}_k \cdot dV \right) = \sum_{k=1}^2 \left(\int_{V_k} \rho_k \cdot \vec{f} \cdot dV + \int_{\Sigma_k} \bar{T}_k \cdot \vec{n}_k \cdot dS \right) \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^2 \left(\frac{D}{Dt} \int_{V_k} \rho_k \cdot \left(\frac{1}{2} V_k^2 + U_k \right) \cdot dV \right) \sum_{k=1}^2 \left(\int_{V_k} \rho_k \cdot \vec{f}_k \cdot \vec{V}_k \cdot dV + \int_{\Sigma_k} (\bar{T}_k \cdot \vec{n}_k) \cdot \vec{V}_k \cdot dS - \int_{\Sigma_k} \vec{q}_k \cdot \vec{n}_k \cdot dS \right) \quad (3)$$

Pour chaque phase, et en tenant compte également de la tension superficielle les équations s'écrivent de la façon suivante[7] :

$$\begin{cases} \int_{V_1} \left(\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \overline{\text{div}} (\rho_1 \cdot \vec{V}_1) \right) \cdot dV = 0 \\ \int_{V_2} \left(\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \overline{\text{div}} (\rho_2 \cdot \vec{V}_2) \right) \cdot dV = 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\dot{m}_1 \cdot \vec{V}_1 + \dot{m}_2 \cdot \vec{V}_2 - \bar{T}_1 \cdot \vec{n}_1 - \bar{T}_2 \cdot \vec{n}_2 + \frac{d\sigma}{ds} \cdot \vec{\tau} - \frac{\sigma}{R} \cdot \vec{n}_1 = 0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 \left(\frac{1}{2} V_1^2 + U_1 \right) + \dot{m}_2 \left(\frac{1}{2} V_2^2 + U_2 \right) + \vec{q}_1 \cdot \vec{n}_1 + \vec{q}_2 \cdot \vec{n}_2 - (\bar{T}_1 \cdot \vec{n}_1) \vec{V}_1 - (\bar{T}_2 \cdot \vec{n}_2) \vec{V}_2 \\ + \frac{d}{ds} (\sigma \cdot \vec{V}_t) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

De plus pour chaque phase une variable est introduite qui est la fraction volumique de la phase, calculée dans le volume contrôle par:

$$\frac{\partial \alpha_k}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \alpha_k = \frac{S_{\alpha_k}}{\rho_k} \quad (7)$$

En se basant sur la valeur locale de la fraction volumique α_k , les valeurs des paramètres appropriés pour chaque volume de contrôle seront calculés le long du domaine.

3. RESULTATS

Pour prédire la perte due à l'élargissement brusque comme étant une singularité dans l'écoulement d'une part et l'effet du changement de phase d'autre part on a tracé les profils de la pression pour une ligne parallèle à l'axe (Figure 2). Les résultats mettent en évidence le fait que le changement de section entraîne une augmentation de pression, au voisinage immédiat de l'élargissement brusque dans la zone dite de recirculation et de recollement, cette évolution n'est pas linéaire. Plus loin en aval, la distribution rejoint une décroissance linéaire caractéristique de la grande conduite. Le début de la nouvelle évolution linéaire permet de définir une longueur de rétablissement de l'écoulement selon la pression.

Par ailleurs Comme attendu les résultats de simulation montrent que la chute de pression en écoulement diphasique est plus prononcée qu'en écoulement monophasique. En effet le changement de section brusque donne lieu à une chute brusque des vitesses débitantes de liquide et de gaz, ceci a pour effet l'augmentation de la pression jusqu'à atteindre un maximum à partir duquel la pression décroît linéairement pour tendre vers le régime établi.

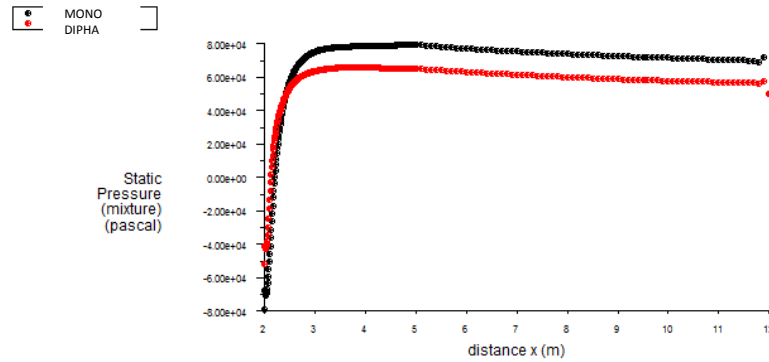


FIGURE 2. Profil de la pression statique en aval de l'élargissement brusque

D'autre par l'effet de l'élargissement sur les caractéristiques de l'écoulement ainsi que les différents phénomènes qui y apparaissent sont étudiés en tenant en compte de trois différents rapports de diamètre $r = \frac{D}{d} = 1.5, 2, 2.5$

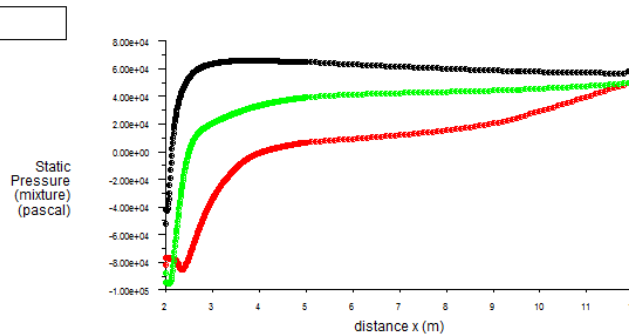


Figure 3. Profils de la pression statique pour différents rapport de diamètre en aval de l'élargissement brusque

Le profil longitudinal de la pression est tracé pour différent rapport de diamètre de l'élargissement (Figure 3). On peut dire que d'une part l'élargissement va augmenter la perte de charge par substitution de sa perte singulière à la perte régulière et d'autre part l'augmentation du rapport de l'élargissement crée une instabilité au niveau de l'écoulement qui engendre des écoulement secondaire tel que les zones de recirculations. Ce ci est claire puisque l'établissement de l'écoulement pour le rapport $r=2.5$ prend plus de temps.

L'élargissement brusque modifie l'allure des lignes de courant initialement parallèle (Figures 4 (a, b,c)). Une zone de recirculation apparait pour combler le vide créer par l'élargissement, cette zone est importante d'autant plus que le rapport des diamètres est important. Elle devient, à chaque fois que le rapport de diamètre augmente, plus intense et plus large.

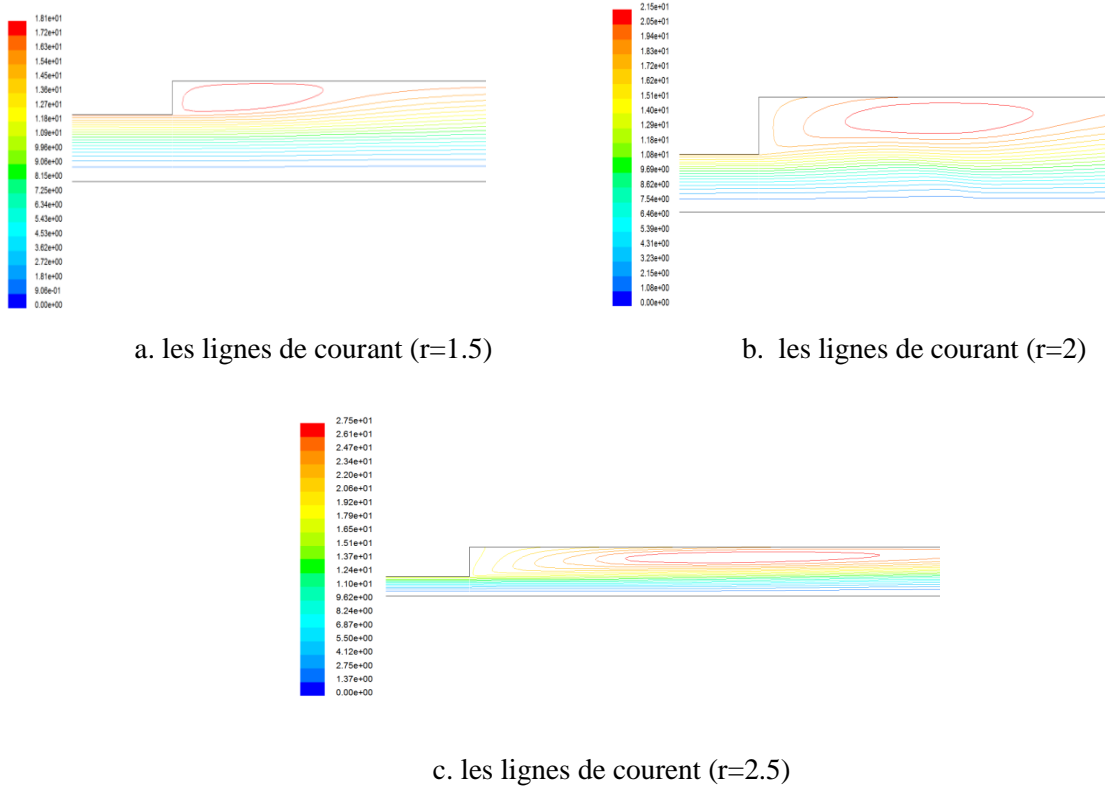


Figure 4. Les lignes de courants pour différents rapports d'élargissement

La présence d'un élargissement brusque, siège d'une variation locale de vitesse et par conséquent de pression, peut conduire, si la pression statique décroît plus bas que la pression de vaporisation du liquide, à la formation des bulles de cavitation. C'est le phénomène d'ébullition à basse pression.

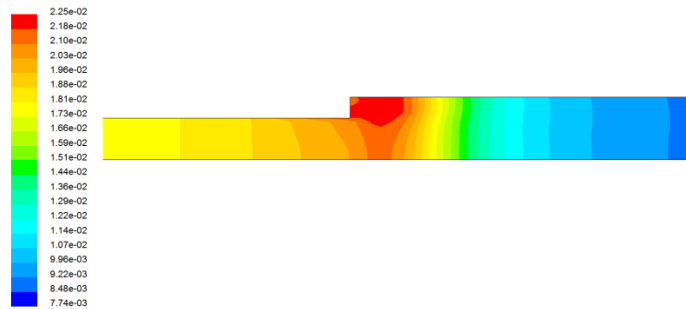


Figure 5. le contour de la fraction volumique (vapeur)

La Figure 5 présente la distribution de la fraction volumique de l'état vapeur le long de la conduite étudiée. Nous remarquons que dans l'écoulement diphasique l'apparition des gouttelettes de vapeur d'eau le long de l'écoulement et une concentration de celles-ci près des parois. Le collapse de ces bulles transmet des ondes de choc vers l'amont et l'aval de l'élargissement. Ces ondes de choc peuvent causer des dégâts importants à la surface des conduites ainsi que du bruit.

4. CONCLUSIONS

L'écoulement traversant un élargissement brusque rencontre une variation de la pression de part et d'autre causée par le jet qui provoque l'attachement des molécule à la paroi. Cependant pour un écoulement diphasique où le fluide perçoit une ébullition, cet attachement comble l'espace imparti par les bulles de la vapeur. L'écoulement dans ce cas est affecté par des pertes en plus, par des discontinuités, des bruits soit des ondes sonores et bien d'autre phénomènes, qui ont pour conséquence que l'écoulement diphasique subit une perte de pression spécifique à travers la singularité, et celle-ci peut être très importante par rapport à la perte de pression totale dans les conduites.

REFERENCES

- [1] W.Yao and C.Morel, Volumetric interfacial area prediction in upward bubbly two-phase flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47:307-328, 2004.
- [2] Ruzicka, M.C.J Drahos and M. Fialova et al, Effect of bubble column dimensions on flow regime transition, *Chemical Engineering Sciences*, 56, 20-24, 2001.
- [3] D.Yuguang, *Modelling gas-liquid flow in pipes flow pattern transitions and drift-flux modelling* , Stanford University, 2001.
- [4] A.Tomiyama, I. Zun, A. Sou and T. Sckaguchi, Numerical analysis of bubble motion, *Nuclear Engineering and Design*, 141, 69-82,1993.
- [5] W.H.Ahmed, C.Y.Ching and M.Shoukri, Pressure recovery of two phase flow across sudden expansion, *Int.J. Multiphase flow*,33,575-594,2007.
- [6] J. M. Delhaye, Equations fondamentales dans les écoulements diphasiques, *Rapport CEA- R-3429* , France (1968).
- [7] F. Ozkan, M. Wörner, A. Wenka, and H. S. Soyhan, Critical evaluation of CFD codes for interfacial simulation of bubble-train flow in a narrow channel. *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 55,537, 2007.