

Écoulement d'un fluide Newtonien dans un réservoir vertical rectangulaire avec un orifice

Noarijaona RATOVARIVO^{1*}, Marcelin Hajamalala ANDRIANANTENAINA²
et Belkacem ZEGHMATI³

¹ Ecole Doctorale de Modélisation Informatique (EDMI), Université de Fianarantsoa, BP 1264,
Fianarantsoa, Madagascar

² Laboratoire de Mécanique Énergétique et Environnement (LM2E), Université de Fianarantsoa, Madagascar

³ Laboratoire de Mathématiques et Physiques S (LAMPS), Université de Perpignan Via Domitia, France

* Correspondance, courriel : tovnarivo@yahoo.fr

Résumé

La présente étude porte sur l'écoulement laminaire et stationnaire d'un fluide Newtonien dans un réservoir vertical rectangulaire avec un orifice. Un réservoir ouvert parallélépipédique remplie d'eau, de largeur L et de hauteur H_0 se vide à l'aide d'un orifice de largeur l . Au cours de son vidange, on suppose qu'il n'y a ni transfert thermique, ni variation de volume. L'objectif de ce travail est de modéliser ce système en deux dimensions pour déterminer les vitesses et la pression adimensionnelles du fluide. Pour ce faire, les équations de Navier Stokes et l'équation de continuité ont été utilisées. Les équations adimensionnelles ainsi obtenues associées aux conditions aux limites sont discrétisées par les biais de la méthode des volumes finis. Le couplage pression-vitesse est traité par l'algorithme SIMPLE. Les résultats obtenus montrent la pertinence du modèle proposé. Ils permettent également de constater la proportionnalité entre la vitesse u suivant la direction x et le nombre de Reynolds. Nous validons ce modèle avec la théorie dans le cas où la largeur de l'orifice et celle du réservoir sont comparables. Nous observons un accord presque satisfaisant.

Mots-clés : *modélisation, fluide Newtonien, réservoir vertical, équation de Navier-Stokes.*

Abstract

Flow of a Newtonian fluid in a rectangular vertical reservoir with an orifice

The present study deals with the laminar and stationary flow of a Newtonian fluid in a vertical rectangular reservoir with an orifice. A parallelepiped open reservoir filled water, width L and height H_0 empties with an orifice width l . It is assumed that there is neither heat transfer nor volume variation. The objective of this work is to determine the dimensionless velocities and pressure of the fluid in the reservoir. The Navier-Stokes equations and the continuity equation in two dimensions were used to model this system. The dimensionless equations associated with the boundary conditions are discretized by the finite volume method. The pressure-speed coupling is processed by the SIMPLE algorithm. The results obtained show the relevance of the proposed model and the proportionality between the velocity u and the Reynolds number Re . We validate this model with the theory in the case where the width of the orifice and that of the reservoir are comparable. We observe an almost satisfactory agreement.

Keywords : *modeling, Newtonian fluid, vertical reservoir, Navier-Stokes equation.*

1. Introduction

Le réservoir peut rencontrer souvent dans diverses applications industrielles comme le bélier hydraulique, l'adduction d'eau potable et surtout l'hydroélectricité. Il se présente sous différentes formes en particulier les formes cubiques, parallélépipédiques et cylindriques. Il doit comporter en générale d'entrée et de sortie. Si l'entrée et la sortie fonctionnent proportionnellement et en même temps, le réservoir est un lieu de passage, mais dans le cas contraire, il peut jouer le rôle de stockage. Les travaux de [1] sont consacrés sur l'étude numérique du temps de vidange d'un réservoir cylindrique. Des autres chercheurs ont porté leurs études sur l'écoulement des fluides newtoniens dans le réservoir horizontal avec un débit constant à l'entrée et à la sortie. [2] a étudié expérimentalement et numériquement l'écoulement et le dépôt de sédiments dans les bassins rectangulaires peu profonds qui consiste à l'amont en un élargissement brusque et à l'aval en un rétrécissement brusque. Son œuvre a pour objet d'établir une classification des écoulements pouvant prendre place dans les bassins et de déterminer l'influence de l'écoulement sur la localisation des dépôts et sur l'efficacité de décantation. Pour modéliser son système, il utilise l'équation de Saint Venant bidimensionnelle de type Colebrook et la méthode de volume fini Wolf. E. Camnasio et al. ont aussi étudié expérimentalement et numériquement la vitesse d'écoulement et les modèles de sédimentation dans des réservoirs rectangulaires peu profonds avec différents emplacements asymétriques des canaux d'entrée et de sortie [3].

Les champs de vitesse ont été mesurés dans tout le réservoir, à la fois pour le débit d'eau et pour les sédiments. Les résultats expérimentaux ont été comparés à des simulations numériques effectuées avec le modèle de débit moyenné en profondeur Wolf 2D, en utilisant un modèle de turbulence k- ϵ . Les expériences [4] ont également mené sur l'étude des géométries de réservoir caractérisées par une position symétrique des canaux d'entrée et de sortie, mais avec une longueur et une largeur de réservoir variables. Le modèle de dépôt des sédiments a été mesuré à l'aide d'un échosondeur. Des relations empiriques ont été établies pour prédire l'influence de la géométrie du réservoir sur l'efficacité du piégeage. Il a observé plusieurs exemples de changements du champ d'écoulement. Les simulations numériques de l'écoulement dans les réservoirs rectangulaires peu profonds se concentrent principalement sur les nombres de Reynolds faibles et modérés, pour lesquels la symétrie de l'écoulement peut être brisée lorsque le nombre de Reynolds augmente. Tout ceci montre que les œuvres de ces chercheurs s'orientent particulièrement sur l'écoulement d'eau dans un réservoir ouvert en négligeant sa profondeur. Pour notre cas ici, nous allons présenter la modélisation de l'écoulement de fluide newtonien dans le réservoir profond avec un orifice sans transfert thermique. L'objectif de notre travail repose sur détermination des vitesses et de pression adimensionnelles dans ce réservoir en utilisant l'équation de Navier Stokes et l'équation de continuité en 2D et la méthode de volumes finis pour la discrétisation.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description du problème

Considérons un réservoir ouvert parallélépipédique remplie d'eau, de largeur L et de hauteur H_0 qui se vide à l'aide d'un orifice de largeur l . Il est alimenté en permanence de l'extérieur pour que le volume d'eau contenu dans ce réservoir soit constant. Ce système est illustré par la *Figure 1*.

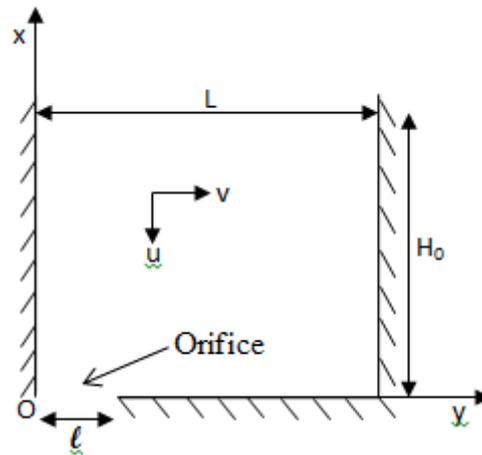


Figure 1 : Configuration géométrique du système

2-2. Modélisation mathématique du système

Le système d'équation régissant ce modèle s'écrit sous la forme suivante en supposant que :

- Les écoulements sont bidimensionnels et laminaire ;
- Les écoulements sont stationnaires ;
- Les transferts thermiques (par convection, conduction et rayonnement) sont négligeables ;
- La force exercée sur ce fluide est seulement la force due au champ de pesanteur ;
- Les propriétés physiques de l'eau sont supposées constantes ;
- Le volume d'eau dans le réservoir reste constant c'est-à-dire que les débits entrant et sortant sont proportionnels.

Équation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

u représente la vitesse du fluide suivant la direction *x* exprimé en $m.s^{-1}$, *v* la vitesse du fluide suivant la direction *y* en $m.s^{-1}$, *x* l'abscisse en *m* et *y* l'ordonnée en *m*.

Équation de Navier Stokes :

$$\begin{aligned} \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} &= - \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\mu}{r} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \rho g \\ \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} &= - \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\mu}{r} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \tag{2}$$

P étant la pression du fluide exprimé en Pa, ρ la masse volumique en $kg.m^{-3}$, μ la viscosité dynamique du fluide en $kg.m^{-1}.s^{-1}$ et *g* l'accélération du champ de pesanteur en $m.s^{-2}$.

Conditions aux limites :

- Sur le fond du réservoir :

Pour $x = 0$ et $0 \leq y \leq l$

$$\begin{aligned} \dot{u} &= -\frac{6U_m y(1-y)}{l^2} \text{ (Profil de Poiseuille);} \\ \dot{v} &= 0; \\ P &= P_{atm}; \end{aligned} \quad (3)$$

U_m étant la vitesse moyenne du fluide à la sortie du réservoir qui est exprimée en $m.s^{-1}$, l la largeur de l'orifice en m , L la largeur du réservoir en m et P_{atm} la pression atmosphérique en Pa .

Pour $x = l$ et $0 \leq y \leq L$

$$\begin{aligned} \dot{u} &= 0; \\ \dot{v} &= 0; \end{aligned} \quad (4)$$

- A l'entrée du réservoir :

Pour $x = H_0$ et $0 \leq y \leq L$

$$\begin{aligned} \dot{u} &= 0; \\ \dot{v} &= 0; \end{aligned} \quad (5)$$

H_0 est la hauteur du réservoir exprimé en m .

- Aux parois :

Aux parois, les vitesses sont nulles [5, 6, 7, 8] :

Paroi gauche :

Pour $y = 0$ et $0 \leq x \leq H_0$

$$\begin{aligned} \dot{u} &= 0; \\ \dot{v} &= 0; \end{aligned} \quad (6)$$

Paroi droite :

Pour $y = L$ et $0 \leq x \leq H_0$

$$\begin{aligned} \dot{u} &= 0; \\ \dot{v} &= 0; \end{aligned} \quad (7)$$

ADIMENSIONNALISATION :

$$\text{Posons : } x^+ = \frac{x}{l}; \quad y^+ = \frac{y}{l}; \quad u^+ = \frac{u}{U_m}; \quad v^+ = \frac{v}{U_m} \text{ et } P^+ = \frac{P - P_{atm}}{\rho U_m^2} \quad (8)$$

x^+ étant l'abscisse adimensionnelle, y^+ l'ordonnée adimensionnelle, u^+ la vitesse adimensionnelle suivant x^+ , v^+ la vitesse adimensionnelle suivant y^+ et P^+ la pression adimensionnelle du fluide.

Équation de continuité adimensionnalisée :

$$\frac{\partial u^+}{\partial x^+} + \frac{\partial v^+}{\partial y^+} = 0 \quad (9)$$

Équation de Navier Stokes adimensionnée :

$$\begin{cases} u^+ \frac{\partial u^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial u^+}{\partial y^+} = -\frac{\partial P^+}{\partial x^+} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial^2 u^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 u^+}{\partial y^{+2}} \right] - \frac{1}{\text{Fr}^2} \\ u^+ \frac{\partial v^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial v^+}{\partial y^+} = -\frac{\partial P^+}{\partial y^+} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial^2 v^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 v^+}{\partial y^{+2}} \right] \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{Re} = \frac{\rho U_m l}{\mu} \quad (11)$$

Re : Nombre de Reynolds

$$\text{Fr} = \frac{U_m}{\sqrt{gl}} \quad (12)$$

Fr : Nombre de Froude

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (13)$$

ν : viscosité cinématique du fluide en $m^2.s^{-1}$.

Conditions aux limites adimensionnées :

- Sur le fond du réservoir :

Pour $x^+ = 0$ et $0 \leq y^+ \leq 1$

$$\begin{cases} \dot{u}^+ = -6y^+(1-y^+); \\ \dot{v}^+ = 0; \\ \dot{P}^+ = 0; \end{cases} \quad (14)$$

Pour $x^+ = 0$ et $1 \leq y^+ \leq \frac{L}{l}$

$$\begin{cases} \dot{u}^+ = 0; \\ \dot{v}^+ = 0; \end{cases} \quad (15)$$

- A l'entrée du réservoir :

Pour $x^+ = \frac{H_0}{l}$ et $0 \leq y^+ \leq \frac{L}{l}$

$$\begin{cases} \dot{u}^+ = 0; \\ \dot{v}^+ = 0; \end{cases} \quad (16)$$

- Aux parois :
Paroi gauche :

Pour $y^+ = 0$ et $0 \leq x^+ \leq 1$

$$\begin{aligned} u^+ &= 0; \\ v^+ &= 0; \end{aligned} \tag{17}$$

Paroi droite :

Pour $y^+ = 1$ et $0 \leq x^+ \leq 1$

$$\begin{aligned} u^+ &= 0; \\ v^+ &= 0; \end{aligned} \tag{18}$$

2-3. Méthodologie Numérique

Les *Équations (3) et (4)* associées aux conditions aux limites adimensionnalisées sont discrétisées à l'aide de la méthode des volumes finis. L'adéquation entre les champs de vitesses et de pressions est assurée par l'algorithme SIMPLE (Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations) qui a été élaborée par Pantakar et Spalding en 1972. Les systèmes d'équations algébriques ainsi obtenus sont résolus en utilisant l'algorithme de Thomas et de Gauss. Le maillage décalé permet de définir un volume de contrôle spécifique à chaque variable en fonction de la grille qui lui est associée pour éviter des champs des vitesses et de pression irréalistes lorsqu'ils sont calculés au même point de la grille du maillage. La discrétisation des équations adimensionnelles conduit à un système d'équations qui peut s'écrire sous la forme suivante :

$$A_{i,j}F_{i,j-1} + B_{i,j}F_{i,j} + C_{i,j}F_{i,j+1} = D_j \tag{19}$$

La variable Φ pouvant être la vitesse ou la pression adimensionnelle. Le maillage du domaine d'étude comporte N_I-2 nœuds par l'indice i ($2 \leq i \leq N_I-1$) et N_J-2 nœuds d'indice j ($2 \leq j \leq N_J-1$). Dans ce domaine d'étude, le système d'équations algébriques précédentes s'écrit sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} B_{i,j} & C_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ A_{i,j} & \cdot & \cdot & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \dots & C_{i,j} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_{i,j} & \dots & B_{i,j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_2 \\ F_3 \\ \vdots \\ F_{N_I-2} \\ F_{N_I-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_2 - A_{2,1}F_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_j \\ \vdots \\ D_{N_I-2} \\ D_{N_I-1} - C_{N_I-1,N_I}F_{N_I} \end{bmatrix} \tag{20}$$

F_1 et F_{N_I} sont données par des conditions aux limites
 La convergence est assurée par le terme source de masse où résidu $b(i, j)$ donnée par la relation :

$$b(i, j) = [u(i, j) - u(i + 1, j)]Dy + [v(i, j) - v(i, j + 1)]Dx \tag{21}$$

Il est alors attendu que cette grandeur soit inférieure à 10^{-8} .

3. Résultats et discussion

On utilise le logiciel Matlab 7.0 pour faire la simulation numérique. Le **Tableau 1** montre les données géométriques du réservoir.

Tableau 1 : Données géométriques du réservoir

Largeur adimensionnelle du réservoir	Largeur adimensionnelle de l'orifice	Hauteur adimensionnelle du niveau d'eau dans le réservoir
$L/l = 5$	$l/l = 1$	$H_0/l = 10$

Les résultats obtenus sont présentés par la visualisation des profils des vitesses u, v et de la pression P ainsi que les lignes des courants. Dans ce cas, on a adopté le maillage 150X50 nœuds.

3-1. Validation du modèle

Pour valider notre modèle, le résultat numérique ainsi obtenu est confronté avec le résultat théorique dans le cas où la largeur de l'orifice et celle du réservoir sont comparable ($l = L$). C'est-à-dire que nous avons une conduite verticale. On trouve d'après la **Figure 2** un bon accord entre la théorie et l'étude numérique.

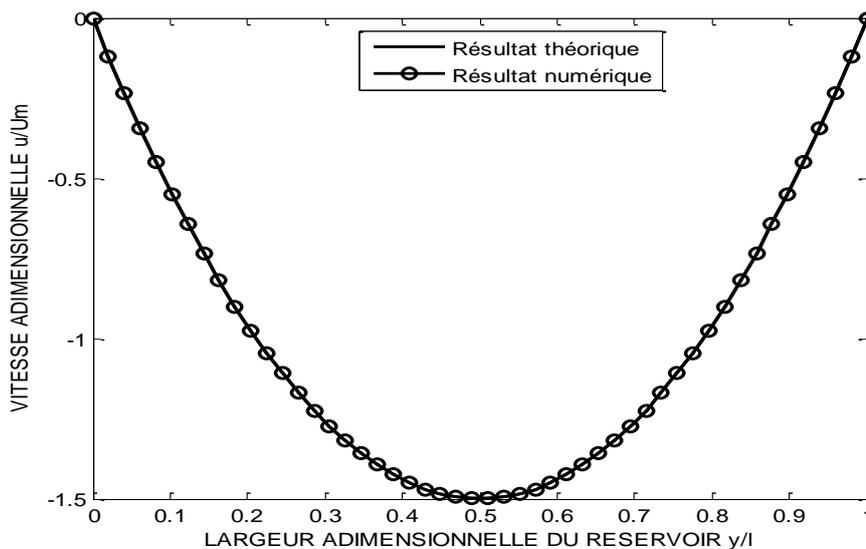


Figure 2 : Courbes de validation

3-2. Profils des vitesses adimensionnelles

Les **Figures 3 et 4** ci-dessous nous donnent respectivement les profils des vitesses adimensionnelles u/U_m et v/U_m en fonction de la largeur adimensionnelle y/l du réservoir pour $Re = 10$, $Fr = 0,1$ et $x/l = 50\%$. D'après ces deux courbes on observe que les valeurs absolues des vitesses adimensionnelles sont très importantes sur la partie gauche et nulle sur la partie droite. Les valeurs importantes des vitesses correspondent à la présence de l'orifice sur la sortie du réservoir. Les vitesses sont nulles sur les parois solides et fixes.

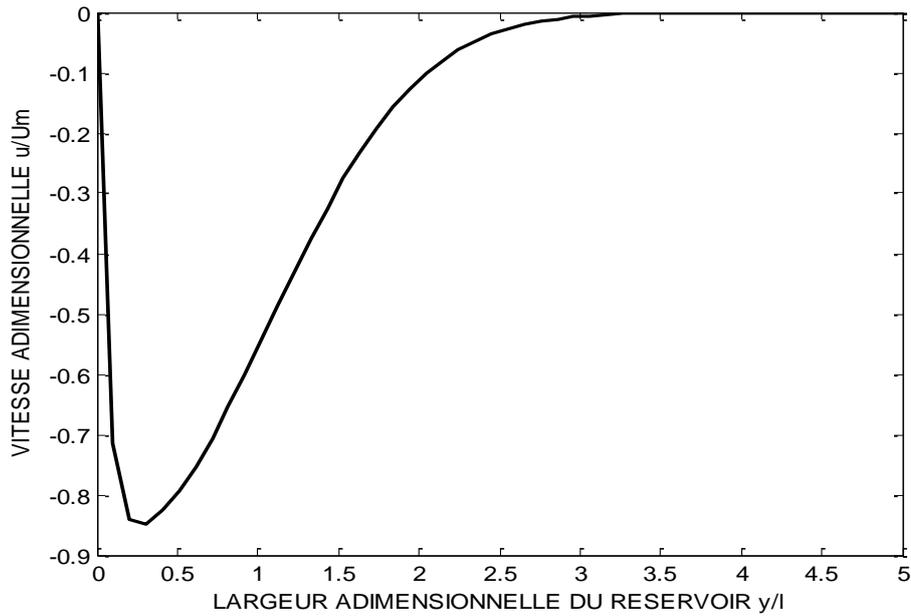


Figure 3 : Profil de vitesse suivant x adimensionnelle en fonction de la largeur adimensionnelle du réservoir

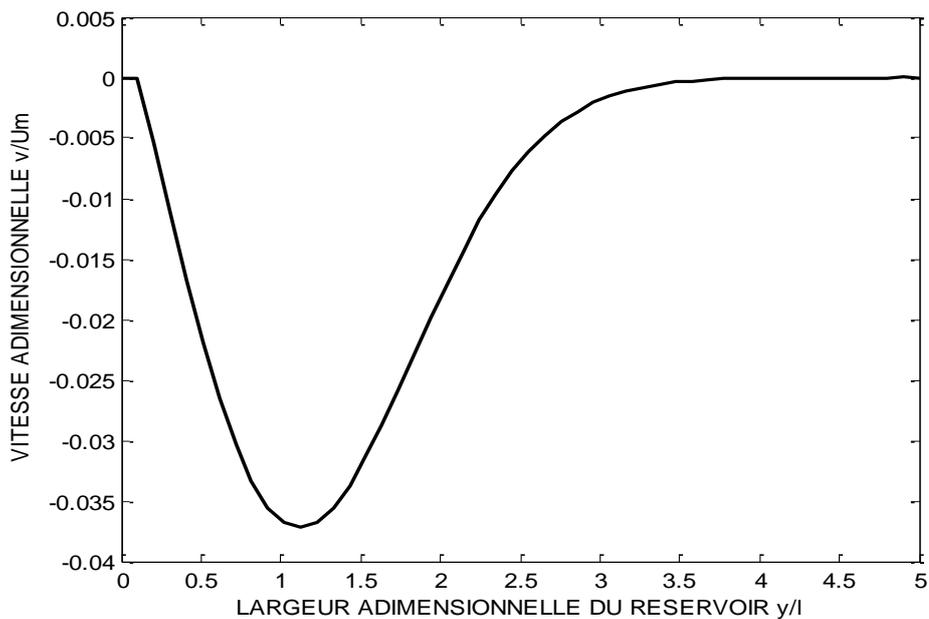


Figure 4 : Profil de vitesse suivant y adimensionnelle en fonction de la largeur adimensionnelle du réservoir

3-3. Profil de pression adimensionnelle

La **Figure 5** représente le profil de pression adimensionnelle P en fonction de la largeur adimensionnelle y/l du réservoir pour $Re = 20$, $Fr = 0,1$ et $x/l = 50\%$. On trouve que la pression est presque constante sauf sur l'endroit où se trouve l'orifice.

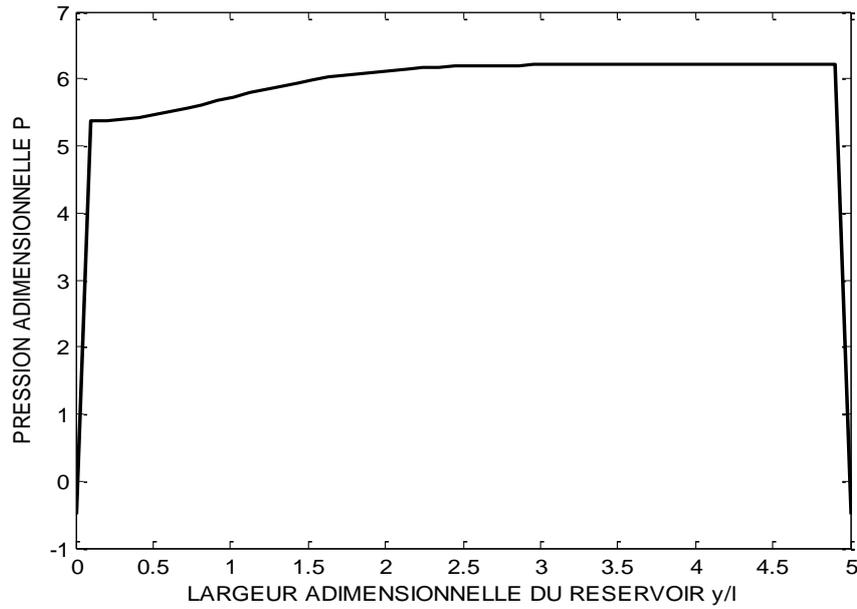


Figure 5 : *Évolution de la pression adimensionnelle P en fonction de y/l*

3-4. Lignes des courants

La **Figure 6** représente les trajectoires des particules des fluides dans le réservoir. On prouve bien que la majorité des fluides convergent vers l'orifice de sortie tandis que la minorité qui se trouve près de l'angle droit du réservoir tend à recirculer.

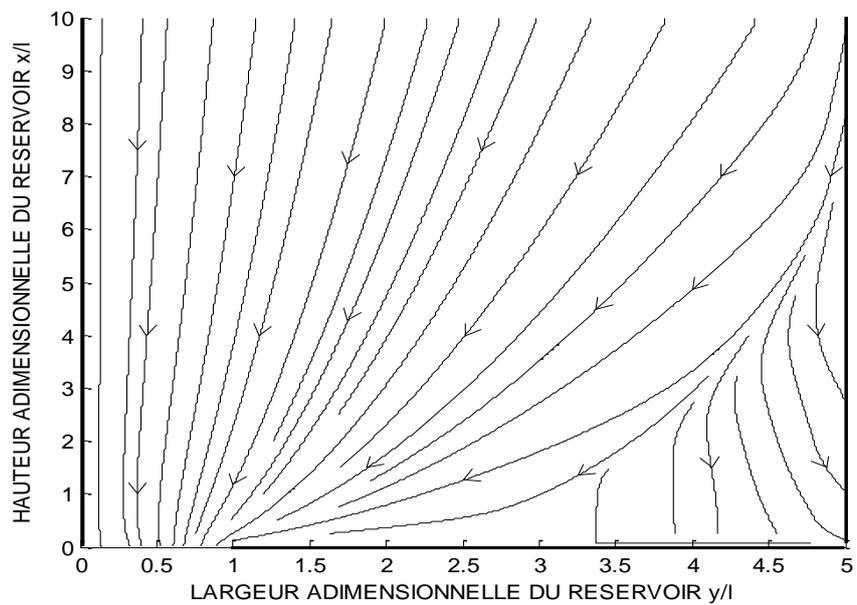


Figure 6 : *Lignes des courants dans le réservoir*

3-5. Influences des quelques paramètres sur l'écoulement du fluide dans le réservoir

3-5-1. Influence de nombre de Reynolds

La **Figure 7** nous donne l'évolution de la vitesse adimensionnelle u/U_m en fonction de la largeur adimensionnelle du réservoir pour $Fr = 0,1$, $x/l = 50\%$ et Re varié. On observe d'après la **Figure** que la vitesse et le nombre de Reynolds augmentent proportionnellement.

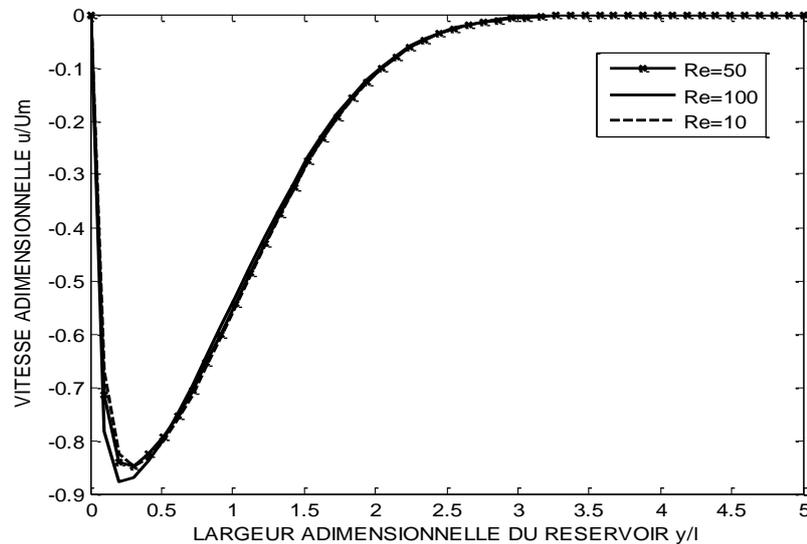


Figure 7 : Influence de nombre de Reynolds sur la vitesse adimensionnelle u/U_m

3-5-2. Influence des rapports H_0/l

La **Figure 8** représente la courbe de variation de la vitesse adimensionnelle u/U_m en fonction de la largeur adimensionnelle y/l du réservoir pour $Fr=0,1$, $Re = 20$ et H_0/l varié. On a constaté que si H_0/l augmente, l'intensité de la vitesse adimensionnelle diminue.

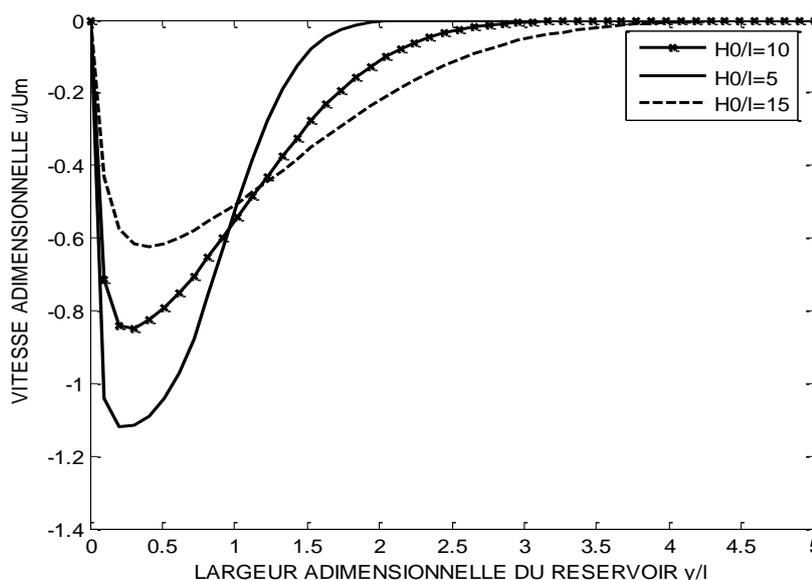


Figure 8 : Influence de la variation de hauteur adimensionnelle H_0/l du fluide sur la vitesse adimensionnelle u/U_m

3-5-3. Influence de l'ouverture de l'orifice

La **Figure 9** représente la courbe de variation de la vitesse adimensionnelle u/U_m en fonction de la largeur adimensionnelle y/l du réservoir pour $Fr = 0,1$, $Re = 20$ et y/l varié. On observe d'après cette figure que le module de la vitesse adimensionnelle suivant la direction x augmente suivant l'ouverture de l'orifice. Si la taille de l'orifice est grand, le fluide peut s'écouler librement à l'intérieur du réservoir.

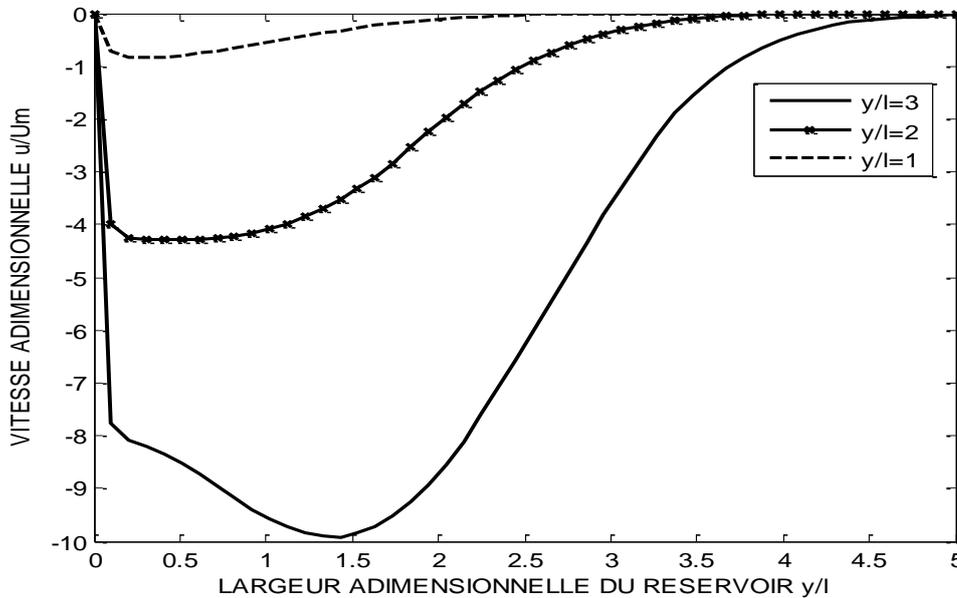


Figure 9 : Influence de la variation de l'ouverture de l'orifice y/l sur la vitesse adimensionnelle u/U_m .

4. Conclusion

Ce travail concerne l'étude numérique d'un écoulement laminaire et stationnaire d'un fluide newtonien dans un réservoir rectangulaire vertical comportant un orifice. Les équations de conservation de masse et de quantité de mouvement ont été utilisées pour modéliser ce système en deux dimensions. Dans ce cas, on a supposé qu'il n'y a pas des transferts thermiques et que les propriétés physiques du fluide sont considérés comme constants. Les équations adimensionnelles ainsi obtenus associées aux conditions aux limites sont discrétisés suivant la méthode des volumes finis. Nous avons utilisés l'algorithme de Thomas pour résoudre le système d'équations obtenues par cette discrétisation. Le couplage vitesse-pression est traité par l'algorithme SIMPLE. Les résultats permettent de visualiser les profils des vitesses et de pression ainsi que les lignes des courants. La simulation numérique du modèle proposé permet d'observer la proportionnalité entre la vitesse et pression P . On peut retenir aussi que la vitesse du fluide dans le réservoir dépend de sa géométrie telle que sa hauteur, sa largeur et la largeur de l'orifice.

Références

- [1] - F. MOHD SAKRI, M. S. MAT ALI, S. A. Z. SHAIKH SALIM and S. MUHAMAD, "Numerical simulation of liquids draining from a tank using OpenFOAM" IOP Conference Series : *Materials Science and Engineering*, 226 (2017) 012152
- [2] - M. DUFRESNE, "Numerical investigation of flow patterns in rectangular shallow reservoirs", *Engineering Application of computational Fluid Mechanics*, Vol. 5, N°2 (2011) 247 - 258 p.
- [3] - E. CAMNASIO, S. ERPICUM, E. ORSI, M. PIROTON, A. J. SCHLEISS and B. DEWALS, "Coupling between flow and sediment a deposition in rectangular shallow reservoirs", *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 51, N°5 (2013) 535 - 54 p.
- [4] - A. KANTOUSH SAMEH, "Geometry effect on flow and sediment deposition patterns in shallow basins", *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 54, (2010)
- [5] - A. AKBARINIA, R. LAUR and A. BUSNE-GERSTNER, "Developing of laminar fluid flow in rectangular microchannel", *Proceedings of 2nd WSEAS International conference on Engineering Mechanics, Structures and Engineering Geology*. ISSN: 1790-2769 ISBN: 978-960-474-101-4, (2014)
- [6] - B. RAMA BHUPAL REDDY, "Finite difference analysis of laminar mixed convection with vertical channel in down flow", *IJREAS*, Vol. 2, Issue 1 (2012) ISSN : 2249 - 3905
- [7] - H. SARVERAM, M. SHAHROKHI and F. SHARIATI, "Numerical modeling of flow Pattern in rectangular shallow Basins", *Journal of Multidisciplinary Engineering Science studies (JMESS)*. ISSN: 2458-925X, Vol. 2 Issue 12, (2016)
- [8] - V. FERRARA, S. ERPICUM, P. ARCHAMBEAU, M. PIROTON and B. DEWALS, "Flow field in shallow reservoir with varying inlet and outlet position" *Journal of Hydraulic Research*, (2018) ISSN: 0022-1686 (Print) 1814 - 2079
- [9] - D. MOJTABA, « Numerical Investigation of the fluid flow around and Past a Circular Cylinder by Ansys Simulation », *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 92, (2016) 49 - 58 p.
- [10] - K. AMGHAR, M. A. LOUHIBI, N. SALHI and M. SALHI, « Numerical simulation of forced convection turbulent in a channel with transverse baffles », *Journal of Materials and Environmental Sciences*, ISSN : 2028-2508- JMES, Vol. 8, Issue4, (2017) 1417 - 1427 p.
- [11] - S. FEZAI*, BEN-CHEIKH, B. BEN-BEYA and T. LILI, « Obstacle Geometry Effect on the stability of two Dimensional Incompressible flow in a channel », *Journal of Applied Fluid Mecanics*, Vol. 9, N°2 (2016) 625 - 633 p.
- [12] - I. HAMIDI and A. OUEDERNI, "Single phase flow characteristics in rectangular microchannel : entrance length and friction factor", *International Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324, Vol. 8, N°2 (2014) 819 - 826 p.
- [13] - I. M. SAKR, W. A. EL-ASKARY, A. BALABELAND and K. IBRAHIM, "Computation of Upward Water/Air Fluid in Vertical Pipes", *ISSR Journals*, Vol. 4, (4) (2012) 193 - 213 p.
- [14] - M. R. M. TABATABAIE, M. R. PIRESTANI and S. ALIMOHAMADI, « Investigating the Effect of Inlet and Outlet Location Pattern of a rectangular settling Basin, Using CCH2D", *Journal of Water Sciences Research*, ISSN: 2251- 7405, Vol. 5, N° 1, Spring (2013) 55 - 63, JWSR
- [15] - D. V. RAMI REDDY, M. R. CHANDRA REDDY and B. R. BHUPAL REDDY, "A Numerical Study develop MHD Laminar Mixed convection with vertical Channel in Down Flow", *Journal Comp. and Math Sci.*, Vol. 3 (6) (2012) 615 - 629
- [16] - HIKARILTD, « Modeling and Numerical Simulation of Fluid Flow in a Parous Tube with Parietal Suction", *Contemporary Engineering Sciences*, Vol. 10, N°9 (2017) 447 - 456
- [17] - M. C. WESTHOFF, S. ERPICUM, P. ARCHAMBEAU, M. PIROTON and B. DEWALS, "Maximum energy dissipation to explain velocity fields in shallow reservoirs", *Journal of Hydraulic Research*, (2017), ISSN 0022- 1686 ISSN 1814 - 2079

- [18] - D. A. MIRANDA, A. M. REIS and M. M. L.PINTO COELHO, “Experimental and numerical investigation of flow patterns in shallow rectangular reservoirs with symmetrically positioned inlet and outlet channels”, *Brazilian Journal of Water resources*, ISSN. 2318- 0331 RBRH, Proto Alegre, v.23, e19, (2018)
- [19] - Y. PENG, J. G. ZHOU and R. BURROUS, “Modeling free surface in rectangular shallow basins by using lattice Boltzmann method”, *Journal of Hydraulic engineering*, 137 (2011) 1680 - 1685
- [20] - D. KUMAR, “Study and Analysis of Flow of an In-compressible Fluid past an Obstruction”, *International Journal of Engineering and General Science*, Vol. 2, Issue 4, (2014) ISSN 2091 - 2730
- [21] - K. K. MANDAL and D. MAITY, “Nonlinear finite element analysis of Water in rectangular tank”, *Ocean Engineering Journal*, 121 (2016) 592 - 601
- [22] - T. AMBREEN, M. H. KIM, “Flow and heat transfer characteristics over a square cylinder with corner modifications”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 117 (2018) 50 - 57

Nomenclature

x	Abscisse	(m)
x^+	Abscisse adimensionnel	
y	Ordonné	(m)
y^+	Ordonné adimensionnel	
L	Largeur du réservoir	(m)
H_0	Hauteur du niveau fluide dans le réservoir	(m)
l	Largeur de l'orifice	(m)
u	Composante de vitesse du fluide suivant la direction axiale z	(m.s ⁻¹)
u^+	Composante de vitesse adimensionnelle du fluide suivant la direction axiale z^+	
v	Composante de vitesse du fluide suivant la direction radiale r	(m.s ⁻¹)
v^+	Composante de vitesse adimensionnelle du fluide suivant la direction radiale r^+	
U_m	Vitesse de référence	(m.s ⁻¹)
P	Pression totale	(Pa)
P_{atm}	Pression atmosphérique	(Pa)
P^+	Pression totale adimensionnalisée	
ρU_m^2	Pression de référence	Pa
g	Accélération du champ de pesanteur	(m.s ⁻²)
Re	Nombre de Reynolds	
Fr	Nombre de Froude	
ρ	Masse volumique du fluide	(kg.m ⁻³)
μ	Viscosité dynamique du fluide	(kg.m ⁻¹ . s ⁻¹)
ν	Viscosité cinématique du fluide	(m ² . s ⁻¹)