

MODELISATION NUMERIQUE DES ECOULEMENTS TURBULENTS INSTATIONNAIRE DANS LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT

NUMERICAL MODELING OF UNSTEADY TURBULENT FLOWS IN THE SEWERAGE NETWORK

Farida MERROUCHI Univ. Batna 2 - Dépt d'Hydraulique
merrouchi.farida@yahoo.fr

Ali FOURAR Univ. Batna 2 - Dépt d'Hydraulique afourar78@gmail.com

RESUME : Ce travail de recherche propose d'étudier la distribution de vitesse des écoulements turbulents instationnaires de l'eau dans les canaux composés en présence des jonctions. Dans un premier temps nous sommes intéressés à la simulation numérique de l'hydraulique dans les réseaux en présence des jonctions. Dans ce but nous avons considéré le système de REYNOLDS qui n'admet pas de solution analytique. Leur résolution a été effectuée à l'aide de la méthode des volumes finis (schémas ADI) qui est un schéma numérique robuste c'est-à-dire capable de réduire les contraintes sur les pas de temps et d'espace pouvant altérer la convergence de ce schéma. Une fois ce modèle établi nous allons dans le second temps l'implémenter en procédant à l'écriture d'un code sous fortran 90 version 6.6. Les résultats obtenus s'avèrent intéressants à plus d'un titre comparativement à ceux réalisés dans des conditions similaires dans un canal notamment ceux relatifs aux profils des vitesses dans un divergent.

Mots clés : Canal a géométrie complexe, distribution de vitesse, modèle de turbulence $k-\varepsilon$, écoulement à surface libre, pleinement développé, confluence.

ABSTRACT: This research project proposes to study the velocity distribution of unsteady turbulent flows of water in compound channels in the presence of junctions. At first, we were interested in the numerical simulation of hydraulics in networks in the presence of junctions. For this purpose, we have considered the REYNOLDS system, which does not admit an analytical solution. Their resolution was carried out using the finite volume method (ADI schemes) which is a robust numerical scheme that is to say, capable of reducing the constraints on the time and space steps that

can alter convergence of this scheme. Once this model is established we will in the second time implement it by writing a code Fortran 90 version 6.6. The results obtained are interesting in more than one way compared to those achieved under similar conditions in a channel, particularly those relating to velocity profiles in a divergent direction.

Key words: Canal with complex geometry, speed distribution, turbulence model k- ϵ , free-surface flow, fully developed, confluence.

INTRODUCTION

Les singularités et les ouvrages spéciaux que l'on peut rencontrer dans les réseaux d'assainissement sont très nombreux là où l'évaluation du débit dans un collecteur d'assainissement est particulièrement difficile. Ce travail de recherche se propose de déterminer la distribution de vitesse dans trois canaux (2entrées et une sortie). Cette connaissance du champ de vitesse permettra d'obtenir le débit moyen. Pour cela une simulation numérique de l'hydraulique dans les réseaux en présence des jonctions est établie pour en déduire la distribution de vitesse dans une section transversale, mais aussi pour pouvoir dimensionner les bonnes conditions aux limites qui permettront de retrouver un écoulement pleinement développé.

CONFLUENCE

Les confluences peuvent parfois poser des problèmes d'ensablement, en particulier lorsque la ligne d'eau dans la conduite aval est beaucoup plus haute que dans l'une des conduites amont. On aura donc intérêt à éviter ce type de configuration, par exemple en implantant des chutes. Lors de la construction, il est nécessaire d'éviter les angles trop accentués et indispensable d'araser les bords de la conduite incidente au ras de la paroi de la conduite réceptrice Behlke, C. E et al . (1966), Buyer M. (2001). Les conduites pénétrantes peuvent en effet considérablement gêner l'écoulement. Il est également souhaitable que les vitesses d'écoulement dans les divers tronçons ne soient pas trop différentes afin d'éviter un refoulement des eaux dans les conduites où les vitesses sont les plus faibles.

POSITION DU PROBLEME

Dans la conception de telles méthodes numériques, nous nous trouvons face à, au moins, 2 difficultés majeures :

- La non génération d'oscillations parasites aux voisinages des forts gradients.

- le traitement convenable des termes sources afin de préserver la haute précision du modèle numérique dans la résolution des problèmes.

Cette étude est une contribution à la résolution des équations de Reynolds (\overline{NVS}) par la méthode des volumes finis dont le domaine d'étude 3 canaux : deux secondaires qui alimentent un canal principale figure (1).

Canal 1: $L= 22.45\text{m}$, $D= 300\text{mm}$, $V= 0.7\text{m/s}$; Canal 2: $L= 37.2\text{m}$, , $D= 400\text{mm}$, $V= 0.97\text{m/s}$;

Canal 3: $L= 42.2\text{m}$, $D= 400\text{mm}$.

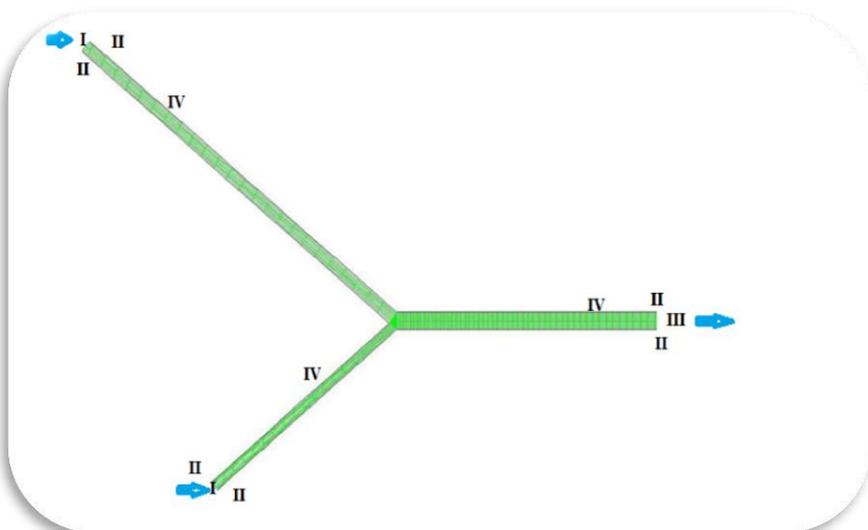


Fig.1.Présentation du domaine d'étude d'un canal à surface libre

I : Entrée du canal,

II : Paroi du canal,

III : Sortie du canal,

IV : Surface libre.

MODELISATION MATHÉMATIQUE DES ÉCOULEMENTS TURBULENTS A SURFACE LIBRE

Dans notre étude on suppose que l'écoulement est turbulent, incompressible, visqueux, et instationnaire. Alors ; il est régi par les équations de conservation moyennées, qui sont écrites dans le système de coordonnées cartésiennes sous la forme suivante Celik I. & Rodi W. (1984) , Chatelier P. (1991) :

Equation de Reynolds (\overline{NVS}) sur les trois axes :

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_k \partial x_k} - \left(\frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} \right) + g_i \\ \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Equation du model $k - \varepsilon$:

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{V}_i \cdot \text{grad } k = \text{div} . (\text{grad } k) + P - \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \bar{V}_i \cdot \text{grad } \varepsilon = \text{div} \left(\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \text{grad } \varepsilon \right) + \frac{\varepsilon}{k} (c_{\varepsilon_1} p - c_{\varepsilon_2} p) \quad (4)$$

LOIS DE PAROIS

L'écoulement au voisinage des parois est complexe, il exige une bonne connaissance du phénomène de la couche limite et la résolution de l'équation de Flakner-Skan mais il présente l'intérêt de simplifier le choix des conditions aux limites

$$u_{moyp} = u_\tau \cdot u^+ \quad \text{Avec } u_t = \sqrt{\frac{\tau_p}{\rho}} \quad (5)$$

MODELISATION DE LA SURFACE LIBRE

La surface libre se modélise similairement à une paroi bien qu'elle n'en ait pas les mêmes effets, on change simplement la loi Garcia-Navarro, et al (2000), Garcia-Navarro et al (1992). Pour évaluer les valeurs des fluctuations de vitesse au voisinage de la surface libre, on fixe d'abord k et ε avec la formule de Celik & Rodi (1984), (Drew, 1983).

X_w signifie : valeur du paramètre X à la surface libre.

$$\varepsilon_w = \frac{kw^3}{\alpha h},$$

A : coefficient déterminé empiriquement (Hérouin,1991)

h : hauteur d'eau dans le canal

MODELISATION AVEC LA METHODE DES VOLUMES FINIS

Toutes les équations peuvent être mises sous la forme d'une équation générale de convection diffusion pour la variable ϕ KVersteeg Molasekera. H.W. (1995) :

$$\underbrace{\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\phi u_j)}_1 = \underbrace{\partial(\tau_\phi \frac{\partial\phi}{\partial x_j})}_2 + \underbrace{s_\phi}_3$$

(5)

1- Termes de convection, 2- Termes des diffusions, 3- Termes de source

CONDITIONS AUX LIMITES

- Un système dynamique sensible - Utilisation des lois empiriques - Couche limite modélisée Keller, R.J et al. (1988).

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

La figure 2 montre que dans la zone de jonction une forte zone de recirculation où l'écoulement la referme pour revenir vers le point de l'intersection et former ainsi un tourbillon. Avec le modèle $k - \varepsilon$ on a une surestimation de la composante horizontale de la vitesse ce qui conduit à une augmentation de l'énergie cinétique turbulente.

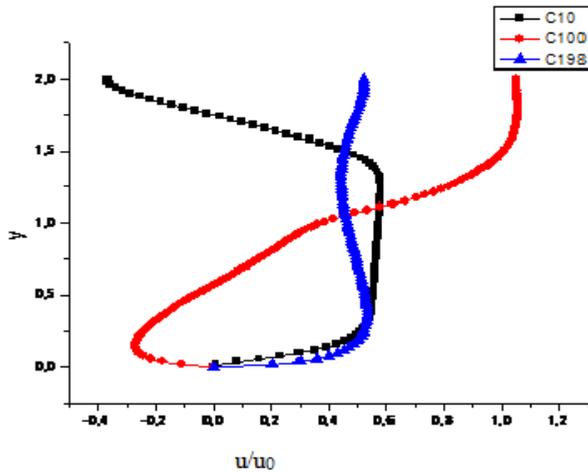


Fig.2. Profils de vitesse en (m/s) calculée dans un plan horizontal

La figure 3 montre que la composante tangentielle du tenseur de Reynolds (r_{12}) est la plus grande pour les zones proches de la surface libre. Mais les valeurs diminuent on s'éloignant de la surface libre et se déplaçant vers les parois, les valeurs négatives peuvent être aussi observées fig. (3). L'effet de turbulence est clairement manifeste dans le profil transversal des composantes du tenseur de Reynolds.

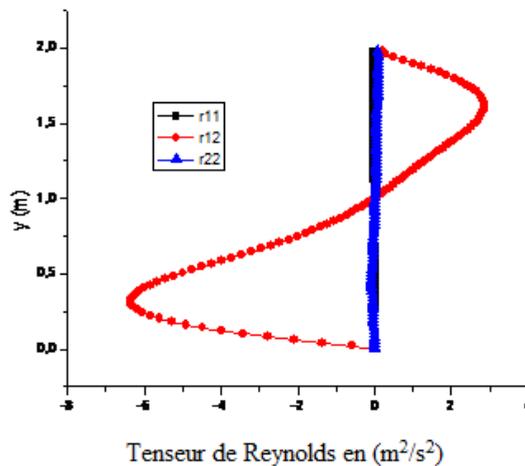


Fig.3. Profil transversal des composantes du tenseur de Reynolds

La présence de la jonction provoque des changements du régime d'écoulement (Djebbar, 1996). Il serait intéressant de voir la variation temporelle du champ de vitesse dans les trois canaux (Fig.4.a), (Fig.4.b), (Fig.4.c), (Fig.4.d). Il est très clair que le temps nécessaire pour voir l'équilibre stationnaire est longue car le flux est entièrement renouvelé à chaque fois, parce que les tourbillons créés sur la surface libre et la zone de l'intersection entre très vite c.a.d petite circulation.

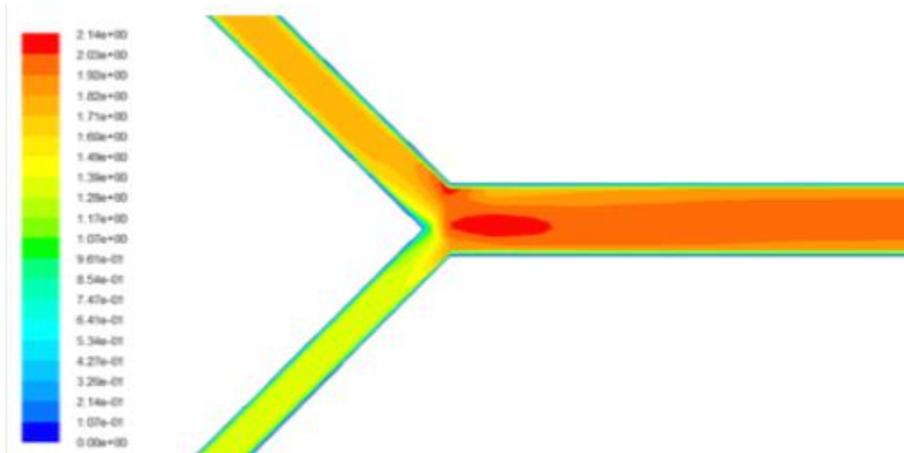


Fig.4.a . Variation temporelle des vitesses en (m/s) dans les trois conduites (pour T = 0.5 s)

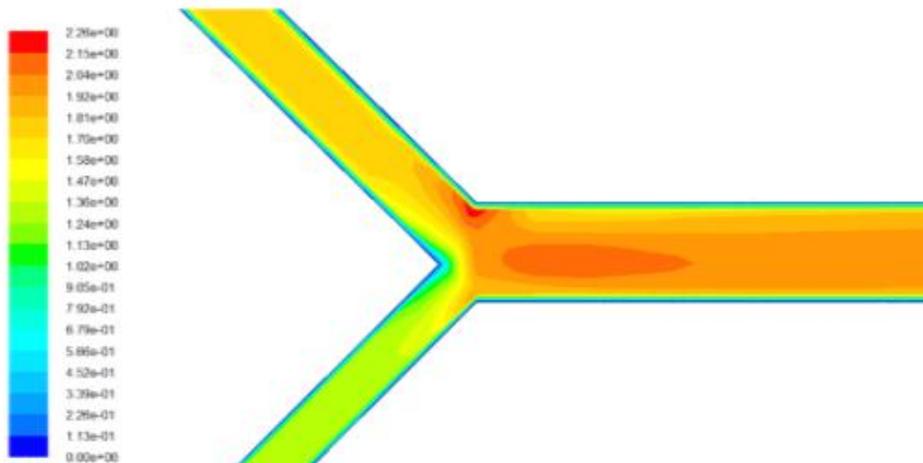


Fig.4.b. Variation temporelle des vitesses en (m/s) dans les trois conduites (pour T = 1 s)

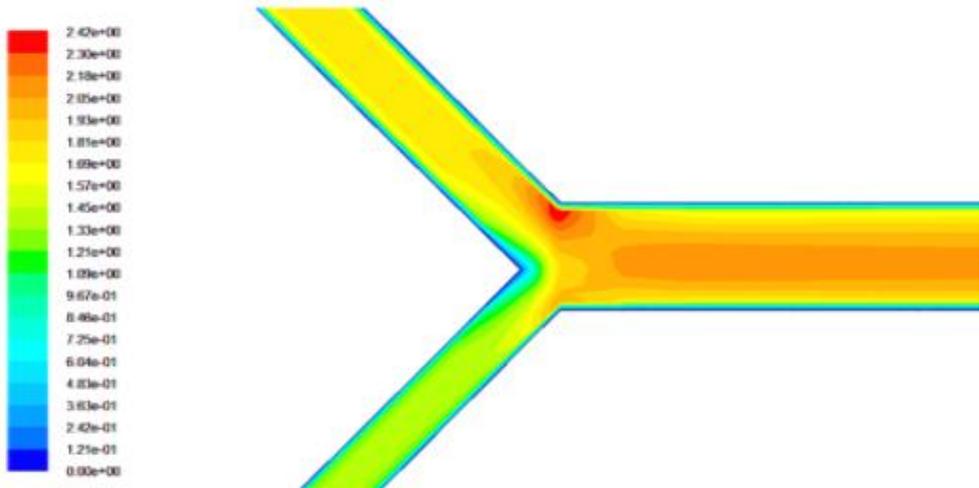


Fig.4.c. Variation temporelle des vitesses en (m/s) dans les trois conduites (pour T = 4.5 s)



Fig.4.d. Distribution de la vitesse horizontale en (m/s) dans la conduite principale (pour T=4.5 s)

La forte convergence à l'entrée du canal principal crée une chute soudaine due au niveau de l'eau, qui s'accompagne d'un régime torrentiel de transition et la création d'ondes de gravité stationnaires. Des vagues similaires sont créées à l'entrée du canal principal (Fig.6).

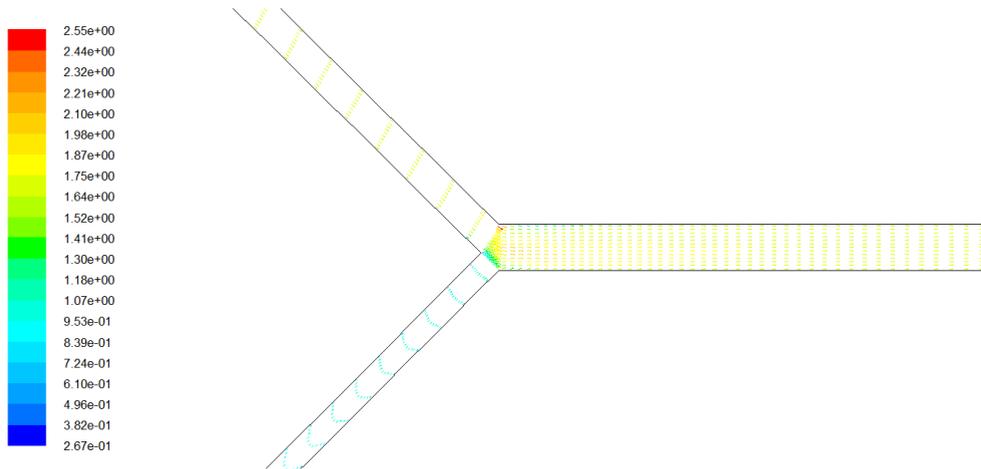


Fig.6. Vecteurs des vitesses en (m/s) dans les trois conduites

CONCLUSION

Dans cette étude, la simulation numérique de l'écoulement de l'eau dans les confluences, et ceci pour le type d'écoulement turbulent, a été présentée par l'approche 3D. Le système entier (les branches) est considéré comme un seul système est discrétisé avec des cellules rectangulaires formant un maillage structuré rectangulaire, la jonction est discrétisée en cellules triangulaire formant alors un maillage non structuré. Nous avons ainsi appliqué simplement les équations de Reynolds sans recours à des équations supplémentaires empiriques. L'approche fonctionne correctement pour tous les types d'écoulement et les différents angles de jonction (angle 45° pour notre cas).

En conclusion, il apparaît clairement que le traitement bidimensionnel ou tridimensionnel de la jonction est indispensable notamment dans le cas de réseau d'assainissement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Behlke, C. E & Pritch, H. D. (1966): *The design of supercritical channel junctions*. Highway Res. Record, Nr. 123, Publication 1365, 17-35. Highway Research Board, Nat. Research Council, Washington, D.C.
- Buyer M. (2001) : *Transport de flux en réseau d'assainissement : modèle 1D pour l'hydraulique des collecteurs et déversoirs avec prise en compte des discontinuités*. Thèse de l'Univ. Louis Pasteur de Strasbourg.
- Celik I. & Rodi W. (1984) : *Simulation of free surface effects in turbulent channel flows*. Physico chemical hydrodynamics, 5(3/4).
- Chatelier P. (1991) : *Simulation de l'hydrodynamique des chenaux d'oxydation par l'utilisation des équations de Navier -Stokes associées au modèle $k - \epsilon$: évaluation de la vitesse de circulation*. Thèse de doctorant INSA Toulouse, 220p.
- Djebbar R. (1996) : *Contribution à l'étude par des approches globales et locales de l'hydrodynamique des dispersions dans une cuve agitée mécaniquement*. Thèse de doctorat. INSA .Toulouse. 180p.
- Drew D.A. (1983): *Mathematical modeling of two-phase flow*. -Ann. Rev. Fluid. Meech.-Vol. 15. pp. 261-291, 1983.
- Garcia-Navarro P. & Saviron J. M, (1992) : *Numerical simulation of unsteady flow at open channel junctions*. Journal of Hydraulic Research, Vol. 30 (5), pp. 595-609.
- Garcia-Navarro, P. & Vazquez-Cendon, M. E. (2000) : *On the numerical treatment of the source terms in the shallow water equations*. Computer Fluids, 29 (8), 951–979.
- Hérouin E, (1991): *Modélisation Des Ecoulements Complexes A Surface Libre En Milieu Naturel*. Rapport CEMARGE LYON - 95 p.,
- Keller, R.J. & Rodi, W, (1988): *Prediction of Flow Characteristics in Main Channel/Flood Plain Flows*. Journal of Hydraulic Research, 1988, vol 26, n°4, pp. 425-441
- KVersteeg Molasekera. H.W, (1995): *An introduction to computational fluid dynamics, the finite volume method* Longman group. Ltd.

&&&&&