Effets des caractéristiques d'un coude sur l'écoulement en réseaux d'assainissement.

Hossein Bonakdari[*,**,***] **- Frédérique Larrarte**[*,***]

Division eau et environnement - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

route de Bouaye, BP 4129, 44341 Bouguenais Cedex

hossein.bonakdari@lcpc.fr, frederique.larrarte@lcpc.fr

*** Centre de Géomorphologie M2C UMR 6143 CNRS*

24 rue des Tilleuls, 14000 Caen

**** Groupement pour l'évaluation des mesures et des composants en eaux et assainissement, 149, rue Gabriel PERI. 54500 Vandoeuvre Lès Nancy*

RÉSUMÉ. Afin de répondre à des objectifs aussi bien techniques que financiers, de plus en plus d'appareils de mesure sont installés en réseau d'assainissement, mais le choix des sections adaptées peut s'avérer délicat car les performances des matériels disponibles sont tributaires des conditions d'écoulements. Les recherches en cours combinent des études expérimentales et numériques dans le but de valider un protocole d'aide à l'instrumentation des collecteurs d'assainissement. Cet article présente un exemple d'application sous forme d'une étude systématique de l'influence d'un coude sur la répartition des vitesses à l'aval d'un coude à 90°.

ABSTRACT. More and more measurement devices are implemented in sewer networks in order to achieves various kind of purposes. Selecting sections for conducting these measurements may prove difficult, as the efficiency of available devices strongly rely on hydraulic conditions. The current research project uses numerical and experimental investigations in order to improve the representativeness of the measurements made in sewer networks by taking account of each site specificities. Our purpose is to create an aid for designing the instrumentation of sewer sections. This paper presents the application to the velocity fields downstream of a bend

MOTS-CLÉS : Champs de vitesses, coude, collecteur, mécanique des fluides numériques

KEYWORDS: Velocity fields, Bend, Sewers, Computational Fluid Dynamics.

1. Introduction

Une meilleure gestion financière mais aussi technique des réseaux d'assainissement incite à les suivre comme tout procédé industriel. Cela rend nécessaire de mesurer les débits liquides transitant dans les collecteurs et l'estimation des flux polluants transportés par l'eau.

Il existe dans la littérature technique des préconisations pour présélectionner les points de mesure (Leclerc et Battaglia, 2001), en tenant compte de leur complémentarité, des grandeurs à mesurer, des coûts d'installation et de maintenance. On préconise en général d'effectuer les mesures sur des tronçons rectilignes uniformes, sans dépôts, ni mises en charge, ni turbulences excessives, ni point singulier à proximité. Toutes ces spécifications visent à s'assurer de conditions hydrauliques permettant d'obtenir un résultat de mesure extrapolable à l'ensemble de la section. Mais elles imposent des contraintes d'utilisation qu'il est parfois très délicat de concilier avec les contraintes de sites (singularités géométriques du réseau, accessibilité, accès aux réseaux électriques ou téléphonique,..).

Il serait donc souhaitable de définir des préconisations moins rigides, en précisant pour chaque cas particulier une zone a priori favorable (répartition « normale » des vitesses voire des concentrations), et en l'étendant le cas échéant à des zones moins favorables (répartition « non normale ») moyennant des corrections adaptées. Un programme de recherche combine actuellement des études expérimentales et numériques afin de proposer un protocole permettant de qualifier des sections de mesure et, connaissant le domaine échantillonné par un capteur donné, de définir le traitement à appliquer aux mesures brutes pour obtenir les meilleures estimations possibles des mesurandes (Larrarte *et al*., 2004). Les travaux se poursuivent pour préciser la zone d'influence de singularités courantes, et les configurations a priori sans problème ou justifiant une étude complémentaire. Cet article présente le travail mené au moyen de simulations numériques des champs de vitesses dans le cas d'un coude à 90°.

2. Contexte

Les canalisations d'assainissement urbain forment un grand réseau qui peut être comparé au réseau des voiries. Aussi, les changements d'orientation sont multiples, en particulier sur les ouvrages visitables anciens. De même, la mise en place d'instrumentation est elle souvent confrontée à la présence de coude à proximité du site pressenti.

Pour notre étude nous avons effectué des mesures sur un site du réseau unitaire de la Ville de Nantes. Il s'agit d'un collecteur ovoïde à banquette, de largeur

maximale y_{max} = 2,20 m à une hauteur z_{max} = 1,76 m, situé à Cordon Bleu et qui présente un coude à 90°. Ce collecteur est en béton de bonne qualité et le coefficient de Manning Strickler a été évalué à 70. Les mesures de vitesses sont effectuées au moyen de vélocimètres à effet Doppler portables (Larrarte et Cottineau, 2005).

3. Etude numérique

Afin de préciser l'influence d'un coude à 90° et du contexte hydraulique (régime fluvial mais pour différents couples hauteur d'eau, vitesse) sur les champs de vitesses, une étude systématique a été menée qui prend en compte différents rayons et différentes hauteurs d'eau.

1.1. Configuration

L'étude numérique s'appuie sur le cas expérimental mentionné ci-dessus, aussi le domaine de calcul correspond il à un collecteur ovoïde à banquette comprenant un coude à 90° (Figure 1)

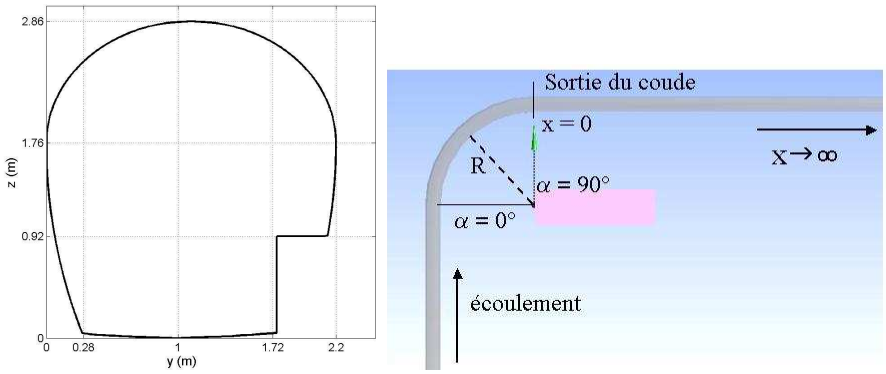


Figure 1. *Schéma et paramètres du domaine numérique*

1.2. Modélisation tridimensionnelle

L'étude numérique repose sur l'utilisation du code industriel CFX qui résout les équations de Navier Stokes tridimensionnelles et permet de calculer les champs des vitesses dans une section droite verticale de collecteur. Le code utilise une méthode des volumes finis avec des volumes de contrôle tétraédriques et un maillage cartésien structuré. Les données hydrauliques sont déterminées par la résolution d'un

système d'équations comprenant l'équation de continuité, les équations de quantité de mouvement, le modèle de turbulence. La hauteur d'eau et la vitesse mesurées expérimentalement sont données comme condition aux limites à l'amont, une condition de pression hydrostatique est appliquée à l'aval,. L'écoulement près des parois solides est modélisé avec la fonction de paroi (« wall function ») (Launder et Spalding, 1974). La rugosité est fixée à 2mm. Afin de maintenir des temps de calculs compatibles avec des essais systématiques, la surface libre est représentée par un toit rigide. Cette méthode simplifiée est bien en accord avec les résultats expérimentaux (Larrarte *et al.*, 2004). Compte tenu du caractère anisotrope des écoulements dans des canaux étroits à surface libre nous avons utilisé le modèle de turbulence Reynolds stress model proposé par (Speziale *et al.*, 1991).

1.3. Facteur d'hétérogénéité

Afin de quantifier l'asymétrie du champ de vitesses, due à la présence d'un coude, le facteur d'hétérogénéité au niveau de la section S_x a été défini comme suit :

$$I_{S_x} = \frac{\sqrt{\sum_n \left(U(x,y,z) - U(\infty,y,z)\right)^2}}{n\overline{U}}$$

où U(x,y,z) est la vitesse locale dans la section d'abscisse x, avec x = 0 m qui est la sortie du coude (Figure 1), $U(\infty,y,z))$ est la vitesses dans une section où l'écoulement est pleinement développé et $\overline{U}$ est vitesse moyenne dans la section. $\overline{U}$ reste constante quelque soit la section puisque la condition de toit rigide impose que la hauteur d'eau est constante.

Pour caractériser la nature pleinement développée ou non de l'écoulement, nous avons défini trois zones :

(1) une zone de forte d'hétérogénéité : le tourbillon est produit par la force centrifuge qui crée des courants secondaires du premier type de Prandtl. Pour une section symétrique, un unique et important tourbillon existe (Figure 2a),

(2) une zone de transition : l'hétérogénéité est faible, mais l'écoulement n'est pas entièrement développé,

(3) une zone où l'écoulement est développé : les tourbillons moyens sont produits par l'effet des contraintes de Reynolds. Pour une section symétrique, ces deux courants sont contrarotatifs centrés au milieu de la section avec une vitesse verticale descendante au milieu (Figure 2b).

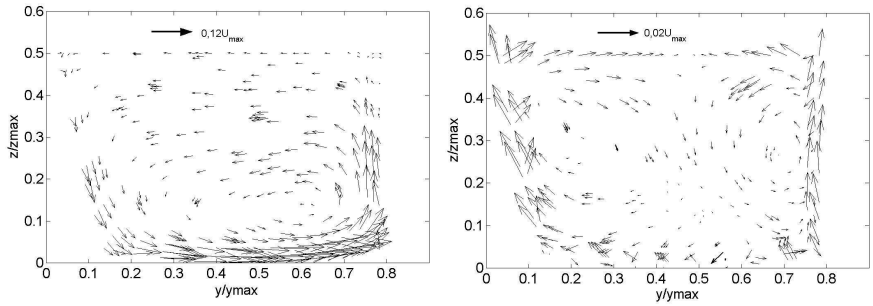
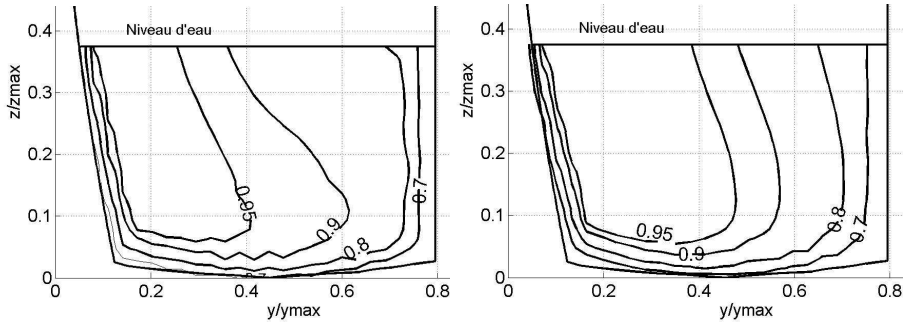


Figure 2. *Les différents types de tourbillons*

4. Résultats

Comme on l'a déjà mentionné, il s'avère parfois nécessaire d'instrumenter à l'aval d'un coude. En pratique la question se pose alors de savoir où en aval ?

Les spécifications d'un fabricant (Nivus 1999) indiquent que, pour une vitesse inférieure à 1 m/s, un débitmètre doit être installé à une distance L supérieure ou égale à dix fois la largeur B à la surface libre. La Figure 3 montre les champs de vitesses à une distance égale à 10B de la sortie d'un coude pour deux rayons de courbure R égaaux respectivement à 9 et 15 m. On constate que si l'asymétrie diminue quand le rayon augmente, elle reste néanmoins très importante.



(a) R = 9 m (b) R = 15 m

Figure 3. *Champs de vitesse Ui/Umax en 10B (16.1 m) en aval du coude pour différents rayons (h=0,66 m).*

La Figure 4 permet de quantifier l'hétérogénéité pour le cas d'un écoulement dans un coude de 9 m de rayon et une hauteur d'eau de 1,20 m. A 7 m en aval du coude on obtient un indice I=1%, ce qui correspond au fait que 75% de la surface mouillée a une vitesse différente de plus de 10% de la vitesse au même point dans la

zone pleinement développée. A une distance de 18 m l'indice est de I = 0,7% et 55% de la surface mouillée a une vitesse différente de plus de 10% de la vitesse au même point dans la zone pleinement développée. Enfin à 40 m en aval du coude, l'indice est de I = 0,2% et 15% de la surface mouillée a une vitesse différente de plus de 10% de la vitesse au même point dans la zone pleinement développée.

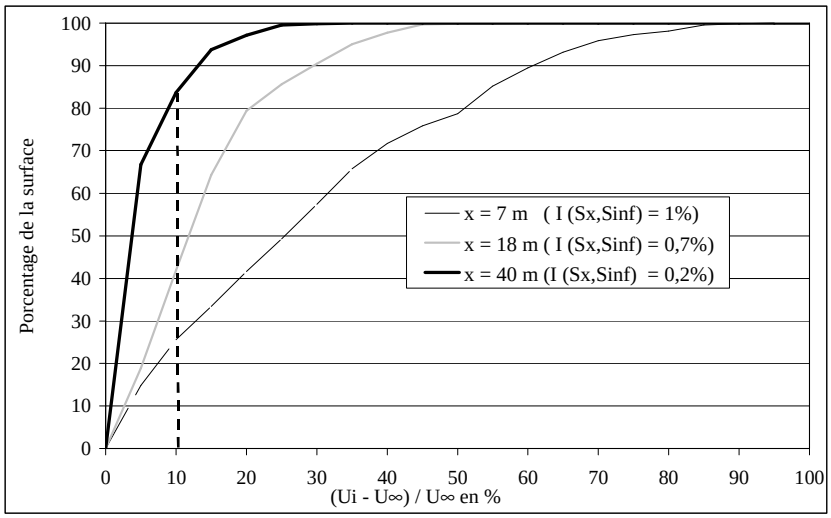


Figure 4. *Quantification de l'indice d'hétérogénéité.*

La Figure 5 illustre l'effet du rayon de courbure sur le facteur d'hétérogénéité pour une hauteur d'eau égale à 1,20 m. Pour les coudes ayant un rayon inférieur à 16 m, le facteur d'hétérogénéité présente un maximum supérieur à 1% dans les 5 premiers mètres en aval du coude, puis ce facteur décroît rapidement pour devenir inférieur à 0,2% quand la distance est de 37 m, soit 20 fois la largeur à la surface libre. Enfin ce facteur tend vers une valeur limite de 0,08% au delà de 60 m. On observe que quand le rayon de courbure est supérieur ou égal à 16 m, le facteur d'hétérogénéité reste en permanence inférieur à 1%, mais décroît plus lentement pour devenir inférieur à 0,2% à une distance de 43 m. Pour des distance supérieures à 60 m ce facteur tend vers une valeur limite de 0,09%. Ces valeurs limites devraient être nulles mais ne le sont pas du fait des incertitudes d'arrondis et de positions des points dans un maillage tétrahédrique. Ces différences de comportement sont dues à la force centrifuge qui dépend du rapport de la vitesse moyenne au carré par le rayon du coude, et qui est la cause des courants secondaires de premier type de Prandtl. Ce résultat est en conformité avec les résultats expérimentaux de (Larrarte *et al.*, 2004). En effet le rayon mesuré sur les plans est de R = 15 m et la distance nécessaire pour obtenir un champ de vitesses symétrique et pleinement développé a été évalué à 30 fois la largeur à la surface, soit 47 m.

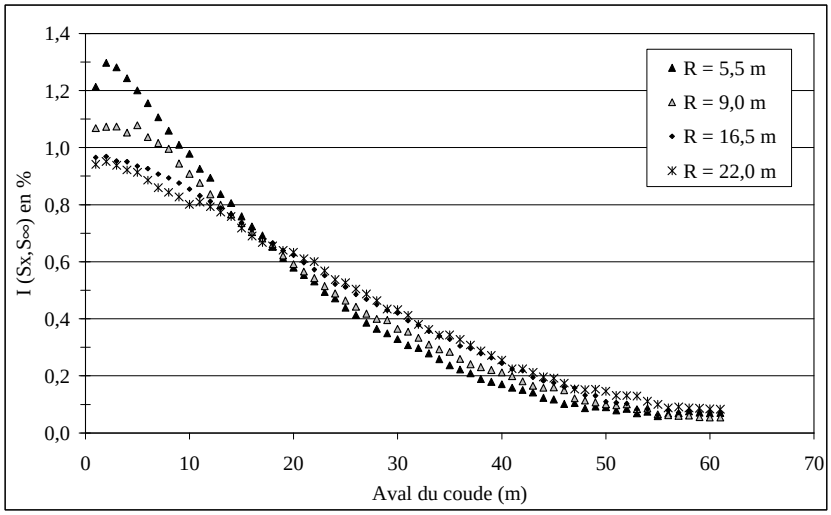


Figure 5. *Effets de rayon sur le facteur d'hétérogénéité en aval du coude.*

Dans les collecteurs la hauteur d'eau varie (Larrarte et Cottineau, 2005), aussi est il intéressant d'étudier l'influence de la hauteur d'eau et de la nature simple ou composée de la section mouillée sur le facteur d'hétérogénéité. La Figure 6 montre que les courbes de facteur d'hétérogénéité présentent un maximum dans les 5 premiers mètres à l'aval du coude. Ce maximum diminue avec la hauteur d'eau et reste inférieur à 0,9% pour la section simple. Le facteur d'hétérogénéité décroît rapidement quand on va vers l'aval est tend vers une valeur limite de 0,08% pour une distance supérieure à 60 m. Comme précédemment, les courbes sont bien différenciées dans les premiers mètres à l'aval du coude, puis tendent vers une valeur commune ensuite.

5. Conclusion

Ces travaux montrent une nouvelle fois l'intérêt de l'outil numérique dans l'étude des phénomènes délicats à appréhender expérimentalement. En particulier, cet outil permet une étude systématique du rôle de paramètres tels que le rayon d'un coude ou la hauteur d'eau sur le champ des vitesses à proximité d'un coude, et le caractère quelque peu réducteur de certaines préconisations de la littérature.

Ces travaux vont se poursuivre par la recherche de nombres adimensionnels caractéristiques et la prise en compte d'autres angulations communément rencontrées dans les collecteurs (30 et 45°).

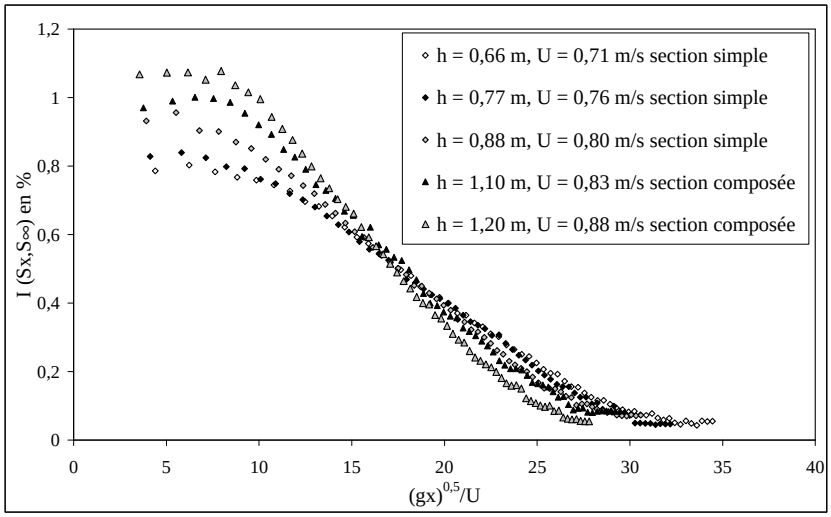


Figure 6. *Influence de la hauteur d'eau et de la géométrie sur le facteur d'hétérogénéité en aval du coude.*

Remerciements

Les auteurs remercient le GIP GEMCEA (Groupement pour l'Evaluation de la Mesure en Continu dans les Eaux et en Assainissement) pour le soutien apporté ainsi que les personnels du LCPC et de la Direction de l'Assainissement de Nantes Métropole pour leur aide lors de ces travaux.

6. Bibliographie

Larrarte F., Jaumouillié P., Joannis C., (2004), Computational Fluid Dynamics: an aid for designing the instrumentation of sewer sections. Novatech 2004, Tome 1, pp. 729-736.

Larrarte F., Cottineau L. M., (2005), Nouveaux instruments pour connaître les champs de vitesses et de concentrations, Revue Européenne de Génie Civil, Vol. 9/7-8, pp. 963-978.

Launder B. E., Spalding D. B., (1974), The numerical computation of turbulent flows, Computational Methods Appl. Mech. Eng., vol 3, pp. 269-289.

Leclerc P., Battaglia P., (2001). Recommandations pratiques pour la conception de stations de mesure de débit. In : TSM, vol 2, pp. 45-56.

Nivus., (1999). Instructions pour le montage de capteurs de vitesse d'écoulement.

Speziale C. G., Sarkar S., Gatski T. B., (1991). Modelling the pressure-strain correlation of turbulence: an invariant dynamical systems approach, In: Journal Fluid Mechanics, vol. 277, pp. 245-272.