
Une méthodologie d'aide à l'implantation de débitmètres en réseaux d'assainissement

Hossein Bonakdari^{1,2}, Frédérique Larrarte², Claude Joannis²,
Daniel Levacher³

¹ Département de Génie Civil, Université de Razi, Kermanshah, Iran,

² Division Eau et Environnement, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées,
route de Bouaye, BP 4129, 44341 Bouguenais Cedex, France,

³ Centre de Géomorphologie, M2C UMR 6143 CNRS, 24 rue des Tilleuls, 14000
Caen - France.

bonakdari@yahoo.com, frederique.larrarte@lcp.fr

RÉSUMÉ. Dans un contexte opérationnel, le maître d'ouvrage ou l'exploitant d'un réseau d'assainissement doit en connaître le fonctionnement réel. Pour cela la mise en place d'instruments de mesures se généralise. La pratique actuelle met à profit la bibliographie, les recommandations des constructeurs et l'expérience des bureaux d'études pour implanter les capteurs, mais la qualité des résultats obtenus reste tributaire du comportement hydraulique des sites de mesure. Cet article décrit une méthodologie d'aide à l'instrumentation en réseaux d'assainissement qui met à profit les potentialités d'une modélisation hydrodynamique générique, dont les résultats sont exprimés sous une forme permettant leur transposition à des sites réels. Cette démarche est illustrée par la détermination de la distance de rétablissement d'un champ développé à l'aval d'une famille particulière de singularités.

ABSTRACT. For management reasons, the control of the flow going through the sewer network is required. Thus, using professional recommendations, the state of the art of engineers, and preconisation of manufacturers, more and more sensors are implemented. But their performance still depends on the hydraulic conditions which may happen on measuring sites. This paper describes a methodology for assessing these conditions in the scope of implementing sensors. The potentialities of numerical hydrodynamic modelling are used to propose generic results that can be extrapolated to real situations. This methodology is illustrated by the case of flows downstream of a bend.

MOTS-CLÉS : Débit, métrologie, singularité, collecteur d'assainissement, mécanique des fluides numérique.

KEYWORDS: Discharge, measuring device, singularity, sewer, Computational Fluid Dynamics.

1. Introduction

Les investissements dans les réseaux d'assainissement n'ont pas cessé depuis plus d'un siècle dans notre pays mais leur objectif a évolué pour intégrer successivement des préoccupations de santé publique, de confort, et de protection de l'environnement. Alors qu'une gestion efficace des réseaux d'assainissement constitue l'une des composantes principales de la gestion de l'eau dans les villes d'aujourd'hui et de demain (Mouchel *et al.*, 2006), le fonctionnement des systèmes est souvent assez éloigné des hypothèses déterminées lors de leur conception. Ainsi des mesures *in situ* doivent-elles être mises en œuvre pour appréhender, puis améliorer, le fonctionnement réel des réseaux d'assainissement et les réseaux de mesure constituent un outil appréciable de surveillance et de gestion, qui prend tout son intérêt dans le cas d'un système de suivi en continu.

Par ailleurs, un contexte réglementaire (arrêté interministériel du 22 décembre 1994) et normatif (EN 752 -2 & 7, NF P 15-900-2) de plus en plus précis demande aux gestionnaires de surveiller les réseaux, d'évaluer leurs performances, d'intervenir rapidement en cas de dysfonctionnements ponctuels, d'informer le maître d'ouvrage sur les aménagements souhaitables pour améliorer les performances et augmenter la fiabilité de la collecte. Mais si la mise en place de capteurs est une pratique qui se généralise, elle est confrontée actuellement au manque de sites répondant aux préconisations et usages des professionnels telles qu'un tronçon rectiligne, sans dépôt, permettant le respect des conditions de sécurité pour le personnel et le matériel, (Leclerc et Battaglia, 2001).

Afin de contribuer à une évolution des pratiques, on se propose de développer une méthodologie de qualification des sites de mesures qui doit permettre de :

- déterminer si un site potentiel est *a priori* favorable, ou nécessite des investigations complémentaires,
- qualifier des sites de mesure,
- définir les modalités d'implantation d'un capteur donné,
- préciser les modalités d'exploitation des résultats issus des capteurs, permettant de passer des valeurs mesurées aux grandeurs physiques recherchées,
- évaluer la précision des données fournies par des sites existants.

Cet article présente d'abord cette méthodologie, puis montre la faisabilité de son élément clé, qui est l'utilisation de modélisations génériques de situations-types.

2. Rappel sur les aspects métrologiques

La mise en place de réseaux de mesures est une composante importante d'une politique de gestion des systèmes d'assainissement (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2001). Exploités en temps différé, les résultats permettent d'avoir une connaissance précise des performances du réseau à l'échelle de l'année et de définir des indicateurs relatifs aux rejets, à la qualité des effluents admis en station et à l'état des ouvrages (Le Gauffre *et al.*, 2004). De plus, certains capteurs peuvent être raccordés en entrée de système de gestion en temps réel, permettant une utilisation optimale de la capacité des ouvrages en fonction des circonstances, en particulier lors des événements pluvieux.

La conception d'un réseau de mesures nécessite une réflexion détaillée, incluant :

- la définition claire des objectifs, pour en déduire des localisations grossières de points de mesure et les paramètres mesurés,
- l'identification précise des sections de mesures, les méthodes et technologies à mettre en œuvre,
- la conception de l'implantation des capteurs et les calculs à effectuer sur les données brutes pour obtenir les informations recherchées.

Par ailleurs le choix d'une section de mesure doit prendre en compte d'autres contraintes telles que les possibilités d'accès depuis la surface, les problèmes de sécurité, la desserte par les réseaux d'énergie et de télécommunication. Le tout est contraint non seulement par des exigences d'adéquation entre la gamme du mesurande et celle des appareils de mesures mais également par des exigences de coût d'investissement et d'exploitation en général assez sévères.

Ces pratiques, schématisées par la figure 1, donnent globalement satisfaction, mais des difficultés subsistent, en particulier pour les collecteurs de grande taille et/ou de section non normalisée. Parmi les difficultés récurrentes, on peut notamment citer le fait que les sites correspondants à toutes les spécifications sont rares, car les singularités sont nombreuses. Certains compromis doivent être acceptés, sans toujours pouvoir en évaluer les conséquences.

Les débitmètres utilisés en réseau d'assainissement déterminent les débits à partir d'une mesure de vitesse et d'une de hauteur. Si cette dernière ne pose généralement pas de problème, les mesures de vitesses se révèlent souvent délicates. C'est pour que notre travail s'est pour l'instant focalisé sur la détermination des vitesses. Notre approche est basée sur l'utilisation de la modélisation hydrodynamique pour concevoir des points de mesures en réseaux d'assainissement. Nous visons en particulier à rationaliser les préconisations relatives à la proximité d'une singularité, et le cas échéant à les assouplir, pour permettre des mesures dans des sites inadéquats, tout en gardant une maîtrise sur l'incertitude des résultats obtenus. Nous visons également pour les sections complexes à remplacer ou à compléter l'étalonnage expérimental *in situ* par un "étalonnage numérique". La modélisation est

néanmoins assez lourde à mettre en œuvre dans le contexte opérationnel de la mise en place des réseaux de mesures, pour lequel les moyens d'étude consentis restent actuellement modestes.

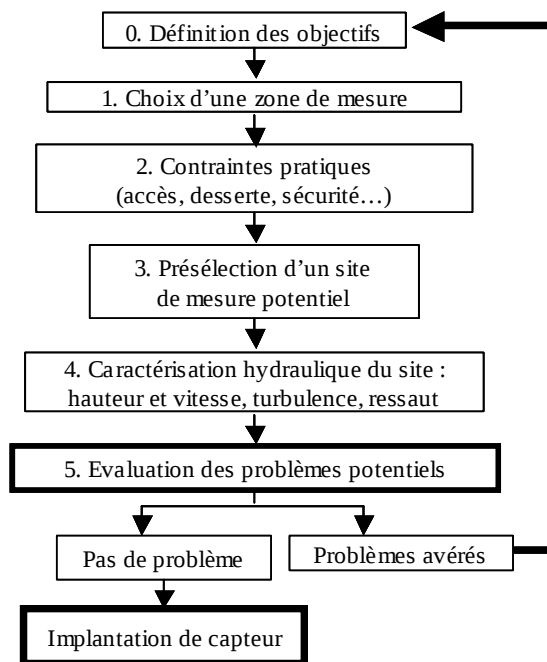


Figure 1. Schéma de la démarche de conception actuellement utilisée

Nous avons donc cherché à imaginer une méthodologie intermédiaire entre les pratiques actuelles assez empiriques et une modélisation systématique des sites de mesures. La Figure 2 détaille cette méthodologie dont l'étape clé est la deuxième. On va chercher dans les modélisations génériques si un cas semblable à celui du site envisagé à l'étape 1 a été traité. Si tel est le cas, on va, à l'étape 3, transposer les résultats de la configuration générique au site retenu. On pourra alors, à l'étape 4, soit rejeter ce site et réitérer dès l'étape 0, soit qualifier le site et aller directement à l'étape 5 de conception du point de mesure, soit considérer que le cas est douteux. On pourra alors faire appel à une modélisation spécifique.

Cette méthodologie est basée sur l'exploitation de résultats de modélisations génériques, réalisées sur des configurations types, et paramétrées de manière à pouvoir être transposées à des sites réels. Bien entendu, cette transposition entraîne des incertitudes dont il convient d'évaluer si elles ont des conséquences sur les conclusions tirées en terme d'instrumentation du site. Si c'est le cas, et si les enjeux le justifient, une modélisation spécifique à un site donné pourra fournir des réponses adaptées.

Les modélisations génériques ou spécifiques sont obtenues au moyen de simulations numériques, réalisées à l'aide d'un code industriel (CFX). Ces simulations permettent en particulier de définir *a priori* les champs de vitesse, et aux hypothèses faites sur les conditions aux limites, et d'évaluer l'influence de divers types de singularités (coudes, défluence, soutirage). (Bonakdari, 2006) a permis de tester la faisabilité de la méthodologie. Cela a nécessité un important travail de comparaison des résultats numériques avec les données de la littérature ou les résultats expérimentaux.

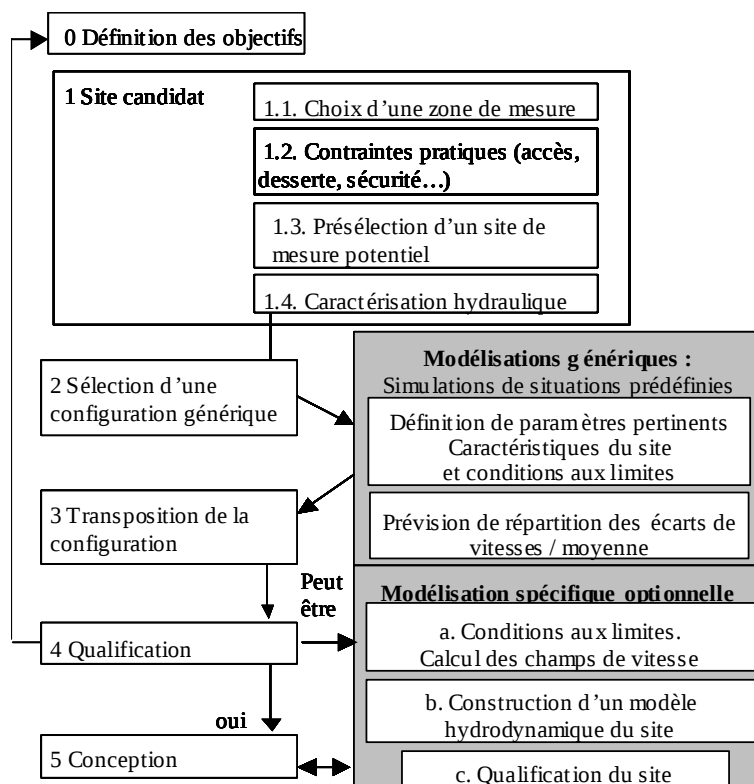


Figure 2. Détails de la méthodologie proposée.

3. Faisabilité de la méthodologie : modélisation générique de l'influence d'un coude

L'étude de faisabilité de la méthodologie a porté tout d'abord sur la modélisation générique (étape 3) en prenant comme cas d'étude celui de l'évolution d'un champ de vitesse dans un collecteur circulaire en aval d'un coude. Il s'agit ici de définir les

zones de l'écoulement influencées par une singularité. Ensuite nous avons testé l'étape 5 de la méthodologie soit la conception d'un point de mesure dans un collecteur de grande section et de géométrie complexe puisqu'il s'agit d'un ovoïde à banquettes.

Les travaux effectués sur la modélisation générique ont porté notamment sur le problème de la mise en place d'instrumentation en aval d'un coude. En effet Nivus (1999) indique que pour assurer une mesure fiable, un capteur vélocimètre à effet Doppler doit être installé dans une zone d'écoulement développé et prévisible, soit à une distance minimale $L \geq 10*B$ en aval d'un coude à 90°, où B est la largeur de la conduite au niveau de la surface libre. Or (Larrarte et al., 2004) ont montré que ces recommandations s'avèrent optimistes. L'étude numérique a par exemple permis de préciser les zones influencées à l'aval d'un coude à 90°.

Pour quantifier l'influence d'une singularité sur le champ de vitesses, nous proposons un indice de singularité au niveau de la section S_x qui a été défini comme suit (Bonakdari, 2006) :

$$I_{Sx} = 100 \times \frac{\sqrt{\sum_n (U(x, y, z) - U(\infty, y, z))^2}}{n\bar{U}} \quad [1]$$

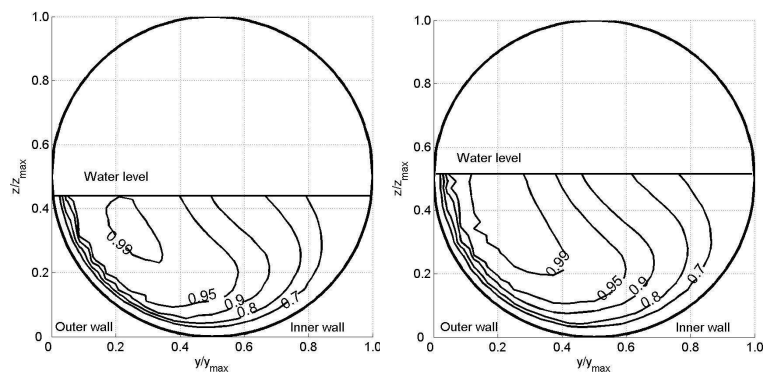
$U(x, y, z)$ est la vitesse locale dans la section d'abscisse x, comptée à partir de la sortie du coude (Figure 3), $U(\infty, y, z)$ est la vitesse dans une section où l'écoulement est pleinement développé, $\bar{U}$ est vitesse moyenne dans la section.

La figure 3 montre les champs de vitesses à dix fois la largeur à la surface libre en aval d'un coude à 90° pour un collecteur circulaire de 1,2 m de diamètre avec une vitesse uniforme en entrée égale à :

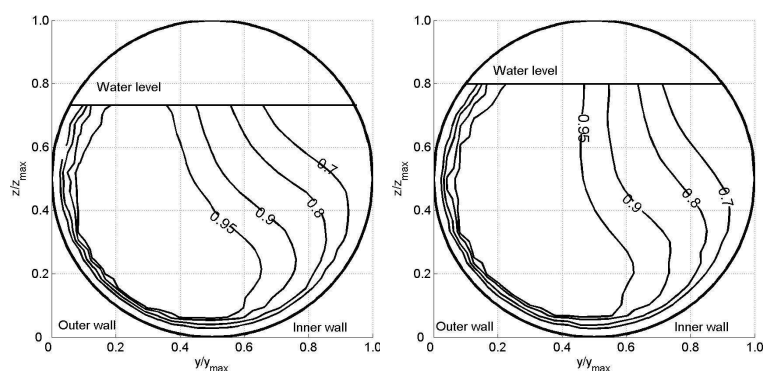
$$\bar{U} = KR_h^{2/3} I^{1/2} \quad [2]$$

où $K = 70$ est le coefficient de Manning Strickler, $I = 4*10^{-4}$ m/m est la pente et R_h le rayon hydraulique. On peut noter que les champs de vitesses ne sont pas symétriques par rapport au plan vertical du collecteur et que les vitesses maximales U_{max} sont décalées vers l'extrados quelle que soit la hauteur d'eau. Les courbes d'iso-vitesses deviennent de plus en plus verticales quand la hauteur d'eau augmente.

La figure 4 montre que le rayon de courbure n'a qu'une faible influence sur l'indice de singularité excepté à très faible distance en aval du coude. Plus loin en aval, l'indice tend vers une valeur commune et inférieure à 0,5%. Cette valeur devrait être nulle mais, du fait de diffusion numérique, un indice égal à zéro est très difficile à obtenir. Cette valeur de 0,5% a donc été retenue car elle correspond au fait que la vitesse n'est différente de plus de 10% de la vitesse cible que pour moins de 10% de la surface mouillée. On note aussi que, pour un rayon donné, le diamètre du collecteur a une grande influence sur l'indice de singularité jusqu'à une distance de 20 fois la largeur à la surface libre en aval du coude.



$h / D = 44\%$, $U = 0.68$ m/s, $I_{sx} = 1.62$ $h / D = 51\%$, $U = 0.73$ m/s, $I_{sx} = 1.44$



$h / D = 75\%$, $U = 0.80$ m/s, $I_{sx} = 1.16$ $h / D = 80\%$, $U = 0.83$ m/s, $I_{sx} = 1.05$

Figure 3. Champ de vitesses U_i / U_{max} à $10*B$ à l'aval d'un coude pour un collecteur de 1,5 m de diamètre pour différentes hauteurs d'eau

4. Conclusion

Nous avons défini une méthodologie de qualification des sites de mesures, basée sur l'utilisation de modélisations génériques, permettant d'évaluer la zone d'influence de diverses singularités, et de décrire le profil de vitesses développé. Dans certains cas une modélisation spécifique complémentaire reste nécessaire. Nous avons ensuite montré la faisabilité de la modélisation générique sur une famille de singularités : des angles et des coudes.

La méthodologie doit maintenant être complétée par l'extension des situations génériques qu'il convient de créer en utilisant la modélisation numérique. Par ailleurs elle doit être mise à l'épreuve des cas pratiques à résoudre.

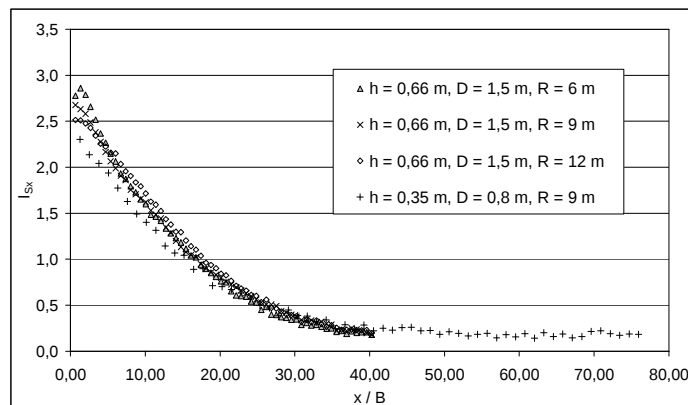


Figure 4. Influence du rayon du coude sur l'indice de singularité pour $h/D = 42\%$.

5. Bibliographie

- AFNOR (1996), Norme NF EN 752-2, 20 pages.
- AFNOR, (2001), Norme NF P15-900-2, 44 pages.
- Bertrand-Krajewski J-L, Laplace D., Joannis C., Chebbo G., (2001), *Quelles mesures pour quels objectifs*. TSM numéro 2, février 2001, pp 45-56.
- Bonakdari H., (2006), Modélisation des écoulements en collecteur d'assainissement – Application à la conception de points de mesures., Thèse de doctorat, Université de Caen – Basse Normandie, 263 pages.
- Bonakdari H., Larrarte F., (2007), *Coude et champs de vitesse en réseaux d'assainissement*, Revue Européenne de Génie Civil, article accepté, 13 pages.
- 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.
- Leclerc P., Battaglia Ph., (2001), *Recommandations pratiques pour la conception de stations de mesure de débit*. TSM numéro 2, février 2001, pp 45-56.
- Le Gauffre P., Joannis C., Breyse D., Gibello C., Desmulliez J. J., (2004), *Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains Guide méthodologique*, éditions Tec & Doc, 395 p.
- Mouchel J. M., Deutsch J. C., Chebbo G., Andrieu H., De Gouvello B., Diab Y., (2006), *L'hydrologie urbaine, une source pour la ville*, La Recherche-Ville et mobilité durables, No. 398, pp 32-34.
- Nivus, (1999), Instructions pour le montage capteurs de vitesse d'écoulement, document fourni lors de l'achat d'un capteur, 101 pages.