

# Méthodologie de qualification de site de mesures en réseau d'assainissement. Application à la débitmétrie en collecteur d'assainissement

**Hossein BONAHDARI**

*Université de Razi, Kermanshah, Iran  
LCPC, Centre de Nantes, France*

**Frédérique LARRARTE\***

**Claude JOANNIS**

*LCPC, Centre de Nantes, France*

**Daniel LEVACHER**

*M2C UMR 6143 CNRS, Caen, France*

## ■ RÉSUMÉ

Afin de répondre à des objectifs réglementaires, techniques et financiers, de plus en plus d'appareils de mesure sont installés en réseau d'assainissement. Mais les conditions hydrauliques nécessaires à leur fonctionnement tout comme le choix des sections adaptées peut s'avérer délicat car les performances des matériels disponibles sont tributaires des conditions d'écoulement. Les recherches proposées utilisent l'outil numérique dans le but d'étudier l'influence d'une modification du contexte hydraulique sur les champs de vitesses et donc les résultats que l'on peut attendre suite à la mise en place de capteurs. Cet article présente la méthodologie puis un exemple d'application à la mesure des flux dans un collecteur pluvial. Afin d'effectuer un suivi en continu des flux polluants, la mise en place de turbidimètres est prévue mais la hauteur d'eau est faible. L'article montre tout l'intérêt d'une étude numérique qui a permis, d'une part, l'étude de l'influence d'un seuil sur le relèvement de la ligne d'eau afin d'avoir une hauteur suffisante pour installer un turbidimètre et, d'autre part, la détermination du lieu d'installation d'un capteur à effet Doppler afin d'obtenir des mesures représentatives de la vitesse moyenne. Les premiers résultats de débitmétrie sont détaillés.

## Methodology for qualifying measurement sites within a drainage network: Application to flow readings in a main drain

### ■ ABSTRACT

*In order to satisfy regulatory, technical and financial objectives, an increasing number of measurement devices have been installed in drainage networks. Yet the hydraulic conditions necessary for their effective operations, such as the choice of adapted pipe sections, can prove difficult to obtain since the performance of available equipment relies upon actual flow conditions. The research proposed herein makes use of a numerical tool in the aim of studying the influence of a change in hydraulics on velocity fields, thereby yielding the results expected subsequent to sensor placement. This article presents the methodology followed by an application example devoted to measuring flows within a storm drain. In order to carry out a continuous monitoring of pollutant flows, the installation of turbidity meters has been envisaged, yet water height remains rather low. This article reveals the benefits associated with a numerical study that enables examining the influence of a weir on raising the water surface profile so as to obtain adequate height for installing a turbidity meter, in addition to determining the site for setting up a Doppler sensor to generate measurements representative of average velocity. The initial set of flow metering results will also be provided.*

\* AUTEUR À CONTACTER :

**Frédérique LARRARTE**  
frederique.larrarte@lcpc.fr

## INTRODUCTION

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 [1], le fonctionnement des systèmes est souvent assez éloigné des hypothèses déterminées lors de leur conception. Ainsi des mesures *in situ* doivent être mises en œuvre pour appréhender, puis améliorer le fonctionnement réel des réseaux d'assainissement. En effet, 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 [2-4] 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 tels qu'un tronçon rectiligne, sans dépôt, permettant le respect des conditions de sécurité pour le personnel et le matériel [5].

Afin de contribuer à une évolution des pratiques, une méthodologie de qualification des sites de mesures est développée dans le cadre des recherches sur les flux polluants en assainissement urbain [6]. Cette méthodologie 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 les différentes étapes de la méthodologie avant de montrer un exemple d'application au cas de la mise en place de capteurs dans un collecteur pluvial.

## MÉTHODOLOGIE

La mise en place de réseaux de mesures est une composante importante d'une politique de gestion des systèmes d'assainissement [7]. 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 [8]. De plus, certains capteurs peuvent être raccordés en entrée de système de gestion en temps réel, permettant notamment la surveillance du bon fonctionnement des ouvrages, ou encore 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.

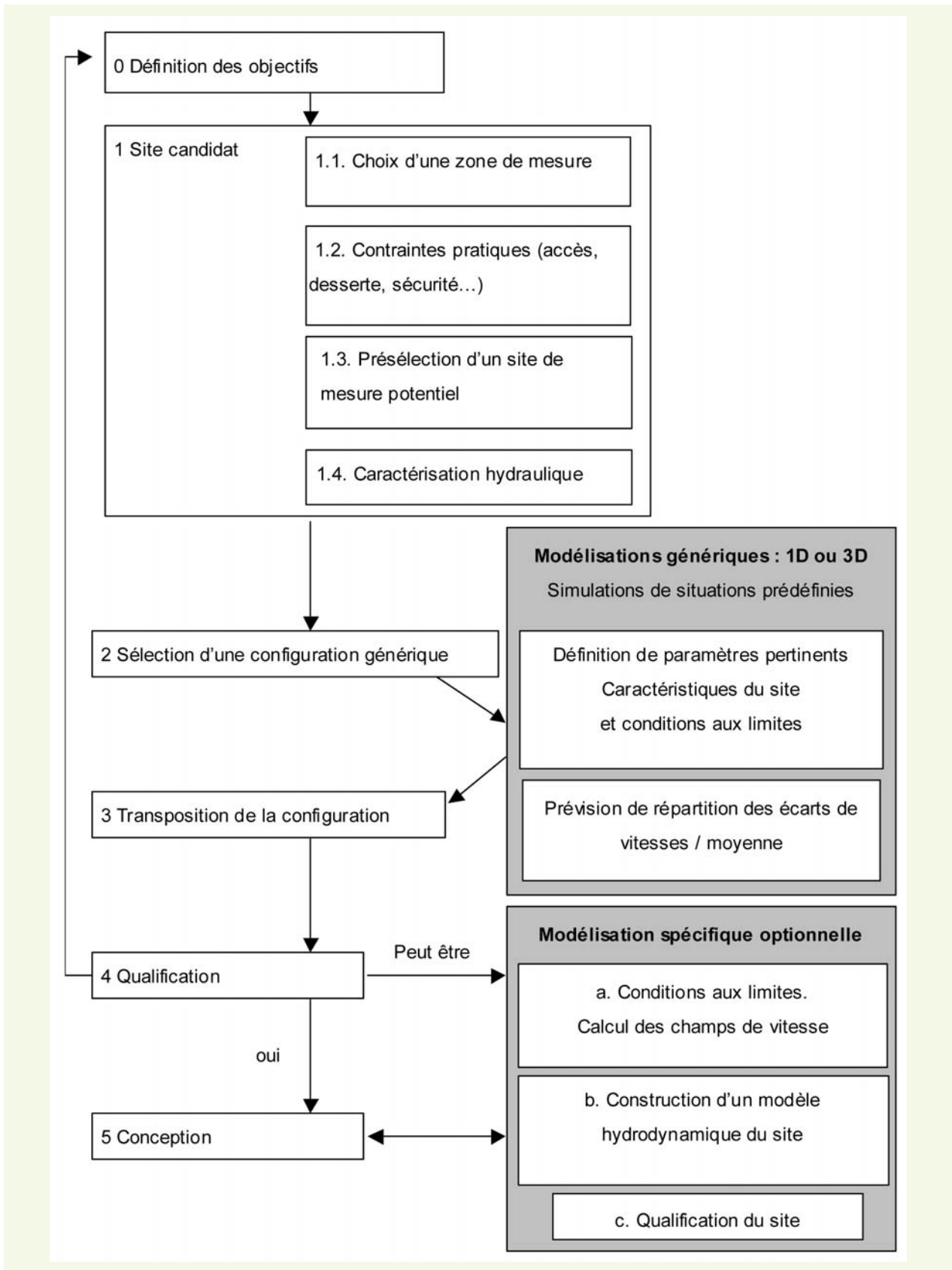
Par ailleurs le choix d'une section de mesure doit prendre en compte d'autres contraintes telles que les possibilités d'accès depuis la surface, les problèmes de sécurité, la desserte par les réseaux d'énergie et de télécommunication. Le tout est contraint non seulement par des exigences d'adéquation 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 donnent globalement satisfaction, mais des difficultés subsistent. Les débitmètres utilisés en réseau d'assainissement déterminent les débits à partir d'une mesure de vitesse et de hauteur. Si cette dernière ne pose généralement pas de problème, les mesures de vitesses se révèlent souvent délicates. C'est pour cela que notre travail s'est pour l'instant focalisé sur la détermination des vitesses. Notre approche est fondée sur l'utilisation de la modélisation hydrodynamique pour concevoir des points de mesures en réseaux d'assainissement. On vise 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. On vise 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.

On a imaginé une méthodologie intermédiaire entre les pratiques actuelles assez empiriques et une modélisation systématique des sites de mesures. La **figure 1** 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.

## MISE EN ŒUVRE DE LA MÉTHODOLOGIE

La division Eau et Environnement du Laboratoire central des ponts et chaussées mène des travaux sur le bilan hydrologique d'un bassin versant urbain. Pour cela, il est prévu de mesurer les débits et les charges polluantes dans les réseaux d'eaux pluviales et usées. Pour la clarté du propos, limitons-nous au réseau d'eaux pluviales. L'objectif, étape 0 de la méthodologie telle que résumée sur la **figure 1**, est donc de mesurer les débits et les charges. Au niveau du site candidat, étape 1, le choix se porte sur l'exutoire qui est le point le plus aval du réseau. Les plans du réseau ont été fournis par la collectivité gestionnaire, Nantes Métropole. Ils indiquent que collecteur d'eaux pluviales a une section circulaire de 1,20 m de diamètre. Des visites de terrain ont alors été effectuées pour caractériser l'hydraulique du site. Elles ont montré la présence en temps sec d'un écoulement dont la hauteur d'eau est comprise entre 0,05 et 0,10 m avec une vitesse de  $0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  soit un débit de temps sec inférieur à  $4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Par temps de pluie, la hauteur d'eau dans le collecteur dépasse 0,25 m même pour les événements courants. L'objectif de bilan requiert des mesures en continu or les débitmètres à effet Doppler prévus pour instrumenter le site ne fonctionnent correctement que pour une hauteur d'eau d'au moins 0,15 m. De plus le suivi en continu des charges polluantes nécessite la mise en place d'un turbidimètre mais sa mise en œuvre implique une hauteur suffisante pour immerger les cellules du capteur. Le bilan à la fin de l'étape 1 montre que le site candidat ne permet pas, en l'état, d'effectuer les mesures prévues pour répondre à l'objectif. Il convient d'aménager le site pour rehausser la ligne d'eau et permettre des mesures de temps sec. Le choix a alors été fait d'installer un seuil. Afin de conforter notre décision, nous sommes passés à l'étape 2 de sélection d'une configuration générique. Cela s'est traduit par une modélisation unidimensionnelle de la ligne d'eau.



**figure 1**  
*Détails de la  
 méthodologie proposée.*

## ■ Modélisation des lignes d'eau

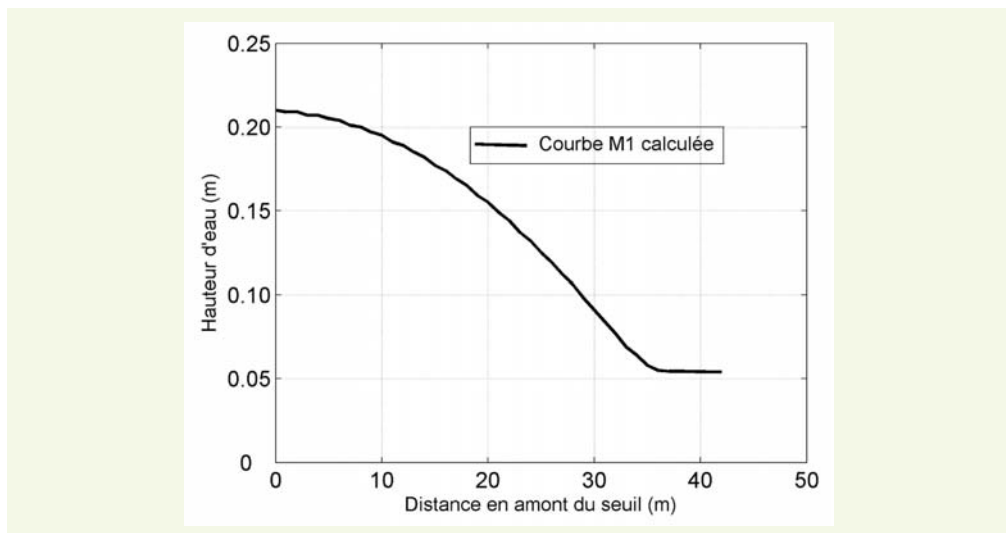
La mise en place d'un seuil induit un écoulement graduellement varié. Pour cela, il faut chercher à résoudre le problème de la détermination de la surface libre ou de la hauteur d'eau  $h(x)$  selon l'équation suivante :

$$\frac{dh(x)}{dx} = \frac{I - I_f}{1 - F_r^2} \quad (1)$$

où  $x$  est la direction de l'écoulement,  $I$  la pente du collecteur,  $I_f$  la pente de ligne d'énergie,  $F_r$  le nombre de Froude. Dans le collecteur étudié, la pente du radier est de 0,3 % donc la hauteur normale est supérieure à la hauteur critique. L'écoulement est de type fluvial ou sous-critique, soit un nombre de Froude inférieur à 1. En présence d'un seuil, la hauteur d'eau tend vers la hauteur normale du canal quand la distance en amont du seuil tend vers l'infini, cette hauteur d'eau augmente quand on se rapproche du seuil, ce type de profil est nommé M1.

La **figure 2** présente l'évolution de la ligne d'eau dans le canal en amont du seuil avec la courbe M1 calculée par la méthode numérique de Euler [9] pour un débit de  $4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Pour ce débit, en l'absence de seuil, la hauteur d'eau était de 0,10 m et la vitesse de  $0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  à 25 m en amont. On ne pouvait donc pas installer de turbidimètre. En présence du seuil, la hauteur d'eau pour ce même débit est de 0,21 m mais la vitesse se réduit à  $0,035 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Or Larrarte *et al.* [10] ont montré que les débitmètres à effet Doppler ne fonctionnent pas correctement avec des vitesses d'écoulement aussi faibles. On a alors décidé de mesurer les débits les plus élevés avec le débitmètre à effet Doppler et les débits les plus faibles avec un déversoir qui ne doit pas perturber la mesure du débitmètre pour les forts débits. Ainsi une modélisation spécifique telle que proposée dans la méthodologie (étape 4 de qualification sur la **figure 1**) est mise en œuvre.

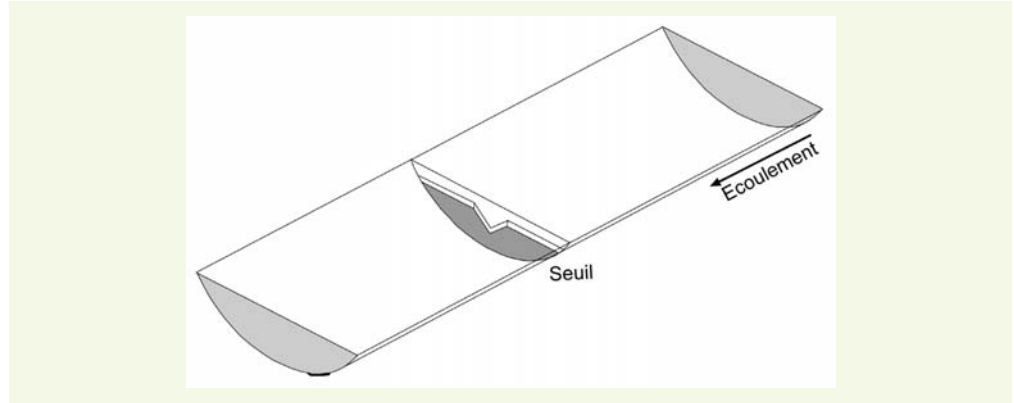
**figure 2**  
Évolution de la ligne  
d'eau en amont du seuil.



## ■ Modélisation spécifique

Une fois ce constat bien établi, le choix s'est porté sur un seuil de 0,20 m de haut entaillé d'un V de 0,19 m de haut avec un angle au sommet de 70°. Afin de prévoir le contexte hydraulique induit par la mise en place de ce seuil, on a utilisé une modélisation tridimensionnelle de l'écoulement dans un collecteur circulaire de 1,20 m de diamètre avec une pente de 0,3 %, une hauteur d'eau égale à 0,10 m et une vitesse  $\bar{U} = 0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  à 30 m en amont. La **figure 3** présente le domaine de calcul. La longueur en amont du seuil a été choisie pour permettre d'obtenir, à partir d'une simple information de hauteur d'eau et de vitesse  $\bar{U}$  dans la section amont, un champ de vitesses développé dans le domaine du calcul.

**figure 3**  
Schéma du seuil utilisé  
dans le collecteur  
circulaire.



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 mouvements.

Dans l'étude des écoulements turbulents, l'approche statistique est utilisée. Chaque champ instantané  $\mathcal{F}$  est considéré comme étant la somme d'un champ moyen  $F$  et d'un champ de fluctuations turbulentes  $f$  autour de ce champ moyen :

$$\mathcal{F} = F + f \quad (2)$$

Dans cette approche, pour chaque champ d'un écoulement turbulent, on peut considérer une valeur moyenne et une valeur correspondant aux fluctuations turbulentes. Les valeurs moyennes correspondantes sont définies par les relations suivantes :

$$F = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \mathcal{F} dt \quad (3)$$

$$\overline{f(t)} = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} f(t) dt = 0 \quad (4)$$

Il faut noter que, par définition, la moyenne temporelle des fluctuations est nulle. En appliquant la décomposition des paramètres, on peut réécrire les équations de conservation de la masse et de conservation de la quantité de mouvement pour un écoulement incompressible, par les relations ci-dessous :

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j} \right) \quad (6)$$

Les termes  $-\overline{\rho u_i u_j}$  forment le tenseur de Reynolds. Ce tenseur s'exprime en fonction du tenseur de corrélation entre les composantes fluctuantes du vecteur vitesse :

$$-\overline{\rho u_i u_j} = -\rho \begin{pmatrix} \overline{u^2} & \overline{uv} & \overline{uw} \\ \overline{vu} & \overline{v^2} & \overline{vw} \\ \overline{wu} & \overline{wv} & \overline{w^2} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Ils représentent les effets des fluctuations turbulentes sur l'écoulement moyen et posent un problème de fermeture du système des équations.

Le système d'équations est fermé par l'emploi d'un modèle de turbulence. Compte tenu du caractère anisotrope des écoulements dans des canaux étroits à surface libre, on a utilisé un modèle de turbulence au second ordre. L'équation des contraintes de Reynolds est résolue tout comme les équations du champ moyen. Les modèles de fermeture du second ordre modélisent plusieurs quantités de transport de turbulence, en utilisant les équations aux dérivées partielles. On a utilisé un modèle à équation de transport des contraintes (RSM). Dans ce cas, il s'agit de résoudre le système d'équation de transport faisant intervenir six équations pour les contraintes de Reynolds, plus une équation de transport impliquant une grandeur donnant accès à une unité de longueur (ou de temps). C'est souvent le taux de dissipation  $\varepsilon$ .

Les équations du transport des contraintes de Reynolds sont classiquement fondées sur l'équation (8) :

$$\frac{\partial(\overline{u_i u_j})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (U_k \overline{u_i u_j}) = P_{ij} + \phi_{ij} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \left( \mu + \frac{2}{3} c_s \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \right) \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_k} \right] - \frac{2}{3} \delta_{ij} \rho \varepsilon \quad (8)$$

où  $P_{ij}$  est un terme de production et  $\phi_{ij}$  le terme de pression-contrainte définis comme suit :

$$P_{ij} = - \left[ \overline{u_i u_k} \frac{\partial U_j}{\partial x_k} + \overline{u_j u_k} \frac{\partial U_i}{\partial x_k} \right] \quad (9)$$

$$\phi_{ij} = \phi_{ij1} + \phi_{ij2} \quad (10)$$

$$\phi_{ij1} = -\rho \varepsilon \left( C_{s1} a + C_{s2} \left( a \bullet a - \frac{1}{3} a \bullet a \delta_{ij} \right) \right) \quad (11a)$$

$$\phi_{ij2} = -C_{r1} \rho a + C_{r2} \rho k S - C_{r3} \rho k S \sqrt{a \bullet a} + C_{r4} \rho k \left( a S^T + S a^T - \frac{2}{3} a \bullet S \delta_{ij} \right) + C_{r5} \rho k (a W^T + W a^T) \quad (11b)$$

avec :

$$a = \frac{\overline{u_i u_j}}{k} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \quad (12)$$

$$S = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (13)$$

$$W = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (14)$$

On note :  $P = \frac{P_{kk}}{2}$ ,  $k = \frac{\overline{u_k u_k}}{2}$ , le terme  $a$  est le tenseur d'anisotropie, le symbole  $\bullet$  représente le produit matriciel ou de tenseur, le terme  $S$  le tenseur de contraintes,  $W$  le tourbillon et l'exposant  $T$  signifie la transposée de la matrice. La fermeture du modèle est complétée par l'équation du taux de dissipation de turbulence  $\varepsilon$ , donnée par la relation (15).

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + v_t / \sigma_\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - C_{\varepsilon 3} \frac{\varepsilon}{k} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \right] \quad (15)$$

où  $P_k = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j}$  représente la production d'énergie turbulente par l'écoulement moyen et  $\tau_{ij}$  les contraintes de cisaillement ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ )

Launder *et al.* [11] ont développé deux modèles différents pour la résolution des équations (Isotrope (LRR-IP), Quasi-Isotrope (LRR-IQ)). Speziale *et al.* [12] ont proposé un modèle plus complet pour la résolution de ces équations (modèle de turbulence SSG). C'est ce dernier qui a été utilisé.

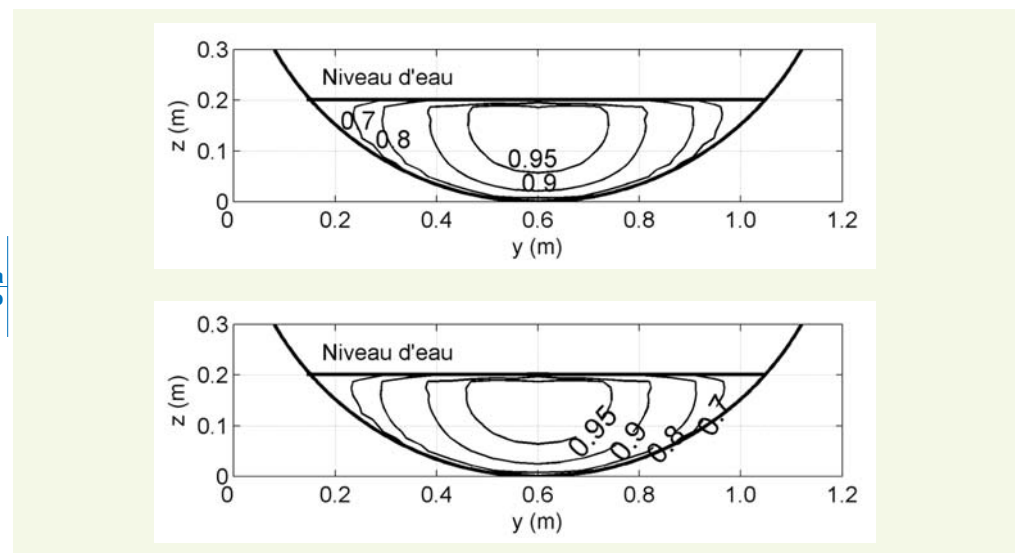
Une condition de pression hydrostatique est appliquée à l'aval. L'écoulement près des parois solides est modélisé avec la fonction de paroi *wall function* [11]. La rugosité est fixée à 0,002 m. La modélisation est faite en utilisant une méthode VOF (*volume of fluid*) qui permet de représenter la surface libre, le domaine numérique est biphasique.

## RÉSULTATS NUMÉRIQUES

Les résultats des modélisations montrent qu'à partir d'une hauteur d'eau de 0,20 m, la vitesse moyenne en amont du seuil est supérieure à  $0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et que donc le débitmètre à effet Doppler va pouvoir fonctionner. On a comparé le champ de vitesses à 5 m en amont du seuil avec le champ de vitesses pour même hauteur d'eau sans présence du seuil. La **figure 4** montre qu'à 5 m en amont du seuil, ce dernier a une influence négligeable sur le champ de vitesses adimensionnel ( $U / U_{\text{max}}$ )

On considère donc que le site aménagé avec un seuil avec forme en V peut être qualifié pour effectuer des mesures (étape 4 sur la **figure 1**).

**figure 4**  
Influence du seuil avec forme en V sur le champ de vitesses adimensionnel ( $U / U_{\text{max}}$ ) à 5 m en amont.  
a : 5 m en amont du seuil en forme V  
b : sans seuil



Il convient maintenant de passer à la conception (étape 5 sur la **figure 1**) et de déterminer où installer le débitmètre en amont du seuil. La **figure 5** représente l'intersection des champs de vitesses à différentes distances en amont du seuil avec le cône ultrasonore du débitmètre Doppler à partir des paramètres déterminés par Larrarte *et al.* [10]. On constate qu'à partir de 2 m en amont du seuil, le faisceau ultrasonore coupe les mêmes zones isovalues, celles pour lesquelles la vitesse est supérieure à  $0,90 U_{\text{max}}$ . On peut donc en déduire que le débitmètre peut être installé entre 2 et 5 m en amont du seuil si l'on veut obtenir une mesure représentative de la vitesse moyenne dans la section.



**figure 5**

Influence du seuil avec forme en V sur les mesures du débitmètre à effet Doppler.

Doppler.

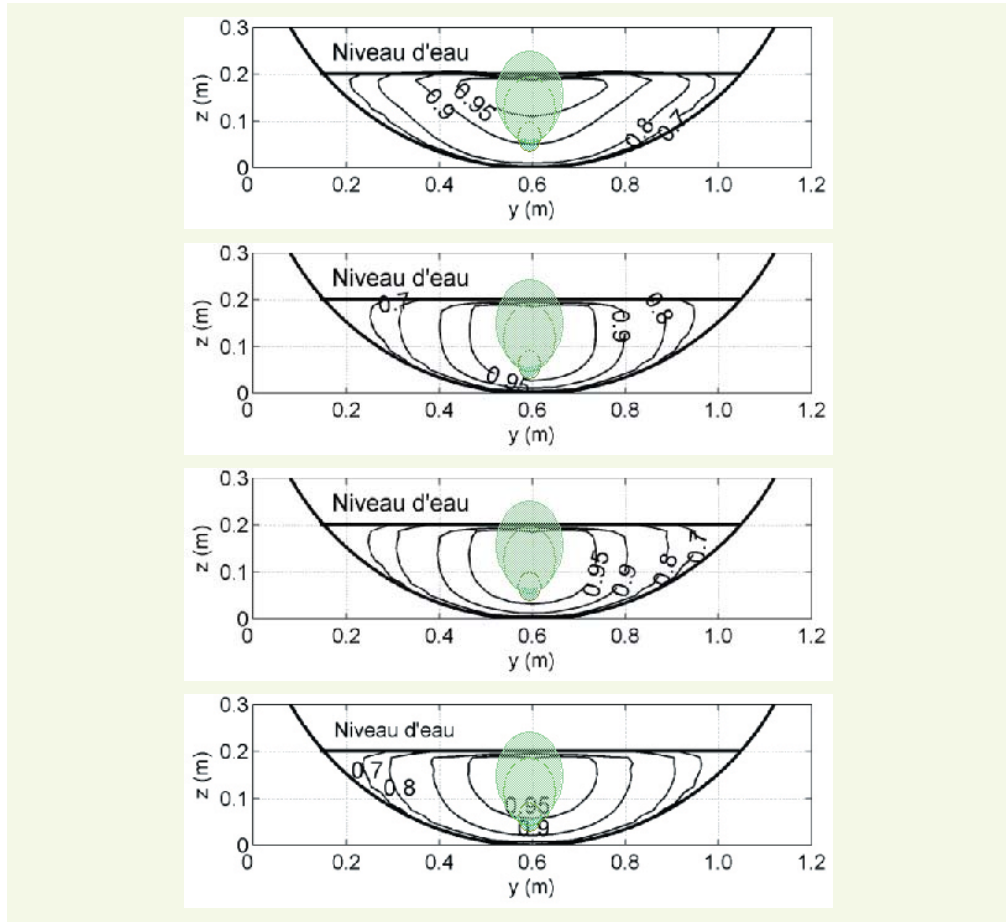
a : 1 m en amont du seuil avec forme en V

b : 2 m en amont du seuil avec forme en V

c : 3 m en amont du seuil avec forme en V

d : 5 m en amont du seuil avec forme en V

a  
b  
c  
d



Les résultats ci-avant permettent maintenant de déterminer le traitement des données acquises avec le débitmètre à effet Doppler. En effet, la vitesse mesurée peut être influencée par la distance à l'amont du seuil. Il convient donc de déterminer un coefficient correcteur permettant de déterminer la vitesse moyenne  $U_{\text{moy}}$  dans la section en fonction de la vitesse mesurée  $U_{\text{moycône}}$  dans le cône. Ce coefficient  $K_U^{\text{moy}}$  est défini par la relation :

$$K_U^{\text{moy}} = \frac{U_{\text{moy}}}{U_{\text{moycône}}} \quad (2)$$

On a calculé que ce coefficient est respectivement de 0,83 si le capteur est fixé à 1 m en amont du seuil, 0,87 si le capteur est fixé à 2 m et 0,88 à 3 m en amont pour une hauteur d'eau de 0,20 m.

## INSTRUMENTATION ET MESURES

Suite aux résultats ci-dessus, le seuil avec forme en V a été installé dans le collecteur d'eaux pluviales. La **figure 6** montre les travaux de scellement.

Le débitmètre à effet Doppler a été installé 5 m en amont du seuil. La **figure 7** montre un exemple des mesures acquises en continu. Leur analyse montre que lorsque la hauteur d'eau est supérieure à 0,23 m, les vitesses sont supérieures à 0,07 m·s<sup>-1</sup> et le capteur à effet Doppler fonctionne correctement. Des comparaisons avec un courantomètre électromagnétique et un réglet ont permis d'évaluer les incertitudes à 0,01 m sur les hauteurs et 0,02 m·s<sup>-1</sup> sur les vitesses.

**figure 6**  
*Mise en place du seuil  
avec forme en V.*



**figure 7**  
*Évolution des vitesses et  
des hauteurs en présence  
du seuil avec forme en V.*



Lorsque la hauteur d'eau est inférieure à 0,20 m, le capteur ne peut mesurer les très faibles vitesses et le calage d'une courbe de tarage  $Q = f(h)$  est en cours. Il reste maintenant à effectuer des mesures lorsque la hauteur est comprise entre 0,20 et 0,22 m afin de déterminer la transition entre les deux situations. Ces travaux sont en cours mais s'avèrent très longs car ces hauteurs d'eau correspondent à des événements pluvieux et donc à des situations extrêmement instationnaires qui s'avèrent appréhendées expérimentalement (**figure 7**). Une quantification de l'influence du seuil sur le champ de vitesses en amont et des cartes de vitesses qui permettront de vérifier les résultats numériques sont prévues mais n'ont pu être réalisées pour le moment.

En pratique, le seuil forme un barrage et un dépôt se forme en amont sur une distance d'une dizaine de mètres au minimum et une épaisseur de 0,05 à 0,06 m. L'utilisation de ce matériel a donné satisfaction pendant six mois mais nécessitait une maintenance hebdomadaire. Depuis la sonde a d'abord dû être changée une première fois car la mesure de vitesse était défectueuse. Ensuite, des particules fines (dues à un déversement de ciment dans le collecteur) se sont introduites dans la sonde de pression permettant la mesure des hauteurs d'eau et le matériel a dû être démonté.

## CONCLUSION

On a défini une méthodologie de qualification des sites de mesures [6], fondée sur l'utilisation d'une modélisation générique, permettant d'évaluer la zone d'influence de diverses singularités, et de décrire le profil de vitesse développé. Les travaux portent actuellement sur la constitution d'une base de situations génériques, tel que l'écoulement à l'aval d'un coude.

Dans certains cas une modélisation spécifique complémentaire reste nécessaire. Cela est illustré par le cas concret du bilan hydrologique d'un bassin versant urbain [13]. Il est nécessaire de mesurer les flux à l'exutoire du réseau d'eaux pluviales mais les hauteurs d'eau faibles ne permettent pas la mise en place de mesures en continu de qualité. On a utilisé les capacités de la modélisation numérique pour étudier l'influence d'un seuil sur la ligne d'eau et le champ de vitesses. On a ensuite déterminé à quelle distance en amont le débitmètre à effet Doppler doit être installé pour que la vitesse mesurée soit représentative de la vitesse moyenne dans la section. Cela a permis d'instrumenter le collecteur et d'obtenir six mois de données dont l'exploitation est en cours.

#### REMERCIEMENTS

*Les auteurs remercient le personnel technique de la division Eau et Assainissement du LCPC pour sa contribution à la partie expérimentale de ce projet.*

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 MOUCHEL J.-M., DEUTSCH J.-C., CHEBBO G., ANDRIEU H., DE GOUELLO B., DIAB Y., L'hydrologie urbaine, une source pour la ville, *La Recherche-Ville et mobilité durables*, 2006, 398, pp. 32-34.
- 2 AFNOR, Norme NF EN 752-2, 1996, 20 pages.
- 3 AFNOR, (1998), Norme NF EN 752-7, 1998, 33 pages.
- 4 AFNOR, Norme NF P15-900-2, 2001, 44 pages.
- 5 LECLERC P., BATTAGLIA PH., Recommandations pratiques pour la conception de stations de mesure de débit, *TSM*, 2001, 2, pp. 45-56.
- 6 LARRARTE F., BONAKDARI H., JOANNIS C., Effect of a bend on the velocity field in a circular sewer with free surface flow, *Novatech 2007*, Lyon, 2007, tome 3, pp. 1401-1408.
- 7 BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G., Quelles mesures pour quels objectifs, *TSM*, 2001, 2, pp. 45-56.
- 8 LE GAUFFRE P., JOANNIS C., BREYSSE D., GIBELLO C., DESMULLIEZ J.-J., *Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains - Guide méthodologique*, éditions Tec & Doc, 2004, 395 pages.
- 9 CHOW V. T., *Open channel hydraulic*, McGraw-Hill, New York, 1959, 680 pages.
- 10 LARRARTE F., BARDIAUX J.-B., BATTAGLIA P., JOANNIS C., Vélométrie Doppler : mise au point d'un protocole d'essai en laboratoire, *TSM Techniques sciences méthodes*, génie urbain génie rural, 2006, 6, pp. 58 - 65.
- 11 LAUNDER B. E., SPALDING D. B., The numerical computation of turbulent flows, *Computational Methods Appl. Mech. Eng.*, 1974, volume 3, pp. 269-289.
- 12 SPEZIALE C.G., SARKAR S., GATSKI T.B., Modelling the pressure-strain correlation of turbulence : an invariant dynamical systems approach, *Journal of Fluid Mechanics*, 1991, volume 277, pp 245-272.
- 13 RUBAN V., RODRIGUEZ F., ROSANT J.-M., LARRARTE F., JOANNIS C., MESTAYER P., ANDRIEU H., Hydrologic and energetic experimental survey of a small urban watershed, *Novatech 2007*, Lyon, 2007, tome 3, pp. 1189-1196.

