

# Améliorations de la mesure du débit en collecteur d'assainissement : vers moins de maintenance et plus de précision

■ S. ISEL<sup>1</sup>, L. SOLLIEC<sup>2</sup>, J. WERTEL<sup>1</sup>, M. DUFRESNE<sup>3,4</sup>, J. VAZQUEZ<sup>3,4</sup>, U. STEPPE<sup>2</sup>

**Mots-clés :** débitmétrie, écoulement à surface libre, instrumentation, collecteur, courbe de remous, réseau de neurones

**Keywords:** discharge measurement technique, free-surface channel, instrumentation, sewer, gradually varying flow equation, neuronal network

## Introduction

L'évaluation du débit en réseau hydraulique à surface libre continue de poser des problèmes théoriques (réduire l'incertitude de la mesure indirecte) et pratiques (concevoir un dispositif robuste et peu coûteux dans le temps). Elle est le problème quotidien des collectivités en charge de la protection des riverains (lutte contre les inondations) et des rivières (lutte contre la pollution).

La solution « classique » de mesure du débit en collecteur d'assainissement consiste à installer un capteur Doppler continu (CW Doppler) en radier de collecteur ou d'installer un radar de vitesse en voûte ou niveau du regard afin de mesurer conjointement la vitesse et la hauteur d'eau de l'écoulement. La hauteur d'eau est alors utilisée pour évaluer la section de passage de l'écoulement, connaissant la forme du collecteur. Quant à la mesure de vitesse (mesure globale sur un volume ou une surface sans résolution spatiale), elle est utilisée pour évaluer la vitesse moyenne selon un modèle généralement tenu secret par les fournisseurs de capteurs (ce qui empêche toute vérification). Le débit est alors obtenu en multipliant la section de passage par la vitesse

moyenne. Cette solution classique présente des inconvénients majeurs :

- un coût de maintenance généralement très important (pour les capteurs intrusifs) dû à la nécessité d'un entretien fréquent des capteurs immergés et donc sensibles aux dépôts. Ainsi, un simple encrassement du capteur peut conduire à perdre l'information de vitesse, rendant toute détermination du débit impossible ;
  - la non-présence de réflecteurs à la surface de l'écoulement conduisant à perdre l'information de vitesse ;
  - une incertitude de mesure très rarement évaluée et potentiellement très importante selon la technologie utilisée et le site de pose. Ainsi le caractère « boîte noire » du modèle, la mesure de vitesse sans résolution spatiale et le fait que les stations de mesure soient régulièrement mises en place dans des environnements hydrauliques perturbés (coude à proximité à l'amont, changement de diamètre...) conduisent à des incertitudes très importantes, probablement plusieurs dizaines de pour cent. Pour comparaison, citons la norme BS ISO 15769 [ISO15769, 2010] qui annonce au mieux une incertitude de 10 %.
- Dans cet article, une nouvelle méthodologie d'instrumentation des réseaux d'assainissement basée sur une synergie entre mesures non intrusives de hauteur d'eau (capteurs à effet ultrason ou radar) et modélisation numérique (1D) est présentée. Cette technique d'évaluation du débit permet, en effet, d'avoir une forte disponibilité de données, de limiter fortement les coûts d'entretien et facilite également l'exploitation.

<sup>1</sup> 3D Eau - 3, rue des Camélias - 75014 Paris. Courriel : jonathan.wertel@3deau.fr

<sup>2</sup> Nivus GmbH - Im Täle 2 - D-75031 Eppingen Allemagne.

<sup>3</sup> École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg - 1, quai Koch - 67070 Strasbourg.

<sup>4</sup> Laboratoire ICube (Université de Strasbourg, CNRS, INSA de Strasbourg, Enges) - 2, rue Boussingault - 67000 Strasbourg.

## 1. Méthode proposée

### 1.1. Principes généraux

Dans ce contexte, une méthode innovante a été développée. Son objectif est de répondre à ces deux difficultés en permettant d'obtenir une donnée fiable pour la gestion intelligente du réseau, notamment en temps réel sans contact avec l'effluent.

La méthode  $h_2Q$  (figure 1) se donne comme objectif principal une minimisation des coûts de maintenance sans dégradation de la précision. Elle est fondée uniquement sur la mesure de niveaux d'eau, de préférence avec des capteurs non immergés (capteur ultrason ou radar). La méthode, qui consiste à calculer le débit transitant dans un collecteur en couplant deux mesures de niveaux d'eau distants d'un ou deux regards (~ 100 m) avec un modèle hydraulique, est issue d'un travail de recherche commencé en 2005 et finalisé par la thèse de doctorat de S. Isel [ISEL, 2014]. Si l'amélioration de la précision n'est pas l'objectif principal de cette méthode, elle permet néanmoins une évaluation précise de l'incertitude de mesure. Les résultats de la méthode peuvent être traduits soit en un tableau de valeurs, soit à l'aide d'une relation  $h/Q$  explicite intégrable dans un transmetteur.

### 1.2. Champ d'application

Un débit résulte du produit d'une vitesse et d'une surface déduite de la hauteur. Or l'hydraulique à surface libre regroupe deux familles d'écoulement :

- les écoulements fluviaux pour lesquels l'information de hauteur est prédominante dans le calcul du débit ;

- les écoulements torrentiels pour lesquels l'information de vitesse est prédominante dans le calcul du débit.

La présente méthodologie, basée sur l'analyse de mesure de hauteurs d'eau est donc plus adaptée au régime fluvial. Notons cependant qu'un écoulement torrentiel converge rapidement vers la hauteur normale, caractéristique du régime permanent uniforme ; la méthode décrite ici est donc également applicable même si l'incertitude de mesure sera probablement plus importante, due au faible niveau d'eau en régime torrentiel.

Cette méthode permet de gérer les phénomènes faiblement transitoires qui sont les plus courants en réseau d'assainissement en lien avec l'effet tampon induit par des organes usuels de gestion des flux (vannes, seuils, puits...).

La méthodologie reste valide en cas de mise en charge du collecteur. Elle peut même être adaptée pour prendre en compte des singularités. Elle peut aussi prendre la bidirectionnalité de l'écoulement.

### 1.3. Le modèle numérique

Le modèle numérique sur lequel se base la méthode permet de reproduire les phénomènes hydrauliques observés en réseau et en particulier l'influence aval. Il peut être vu comme une adaptation de la formule de Manning-Strickler avec une correction pour tenir compte, le cas échéant, d'un point de contrôle aval. Plus précisément, connaissant la pente et la section en travers du collecteur, les gammes de hauteur d'eau et la plage de débit pouvant y transiter sont évaluées. Sur la base de ces caractéristiques, spécifiques à chaque site, l'équation de la courbe de remous, disponible dans LENCASTRE [1999] est calculée. Cette équation, qui décrit l'évolution de la surface libre d'un écoulement le long du collecteur, est résolue ici pour une centaine de débits et, pour chacun d'entre eux, pour une centaine de hauteurs dans la gamme préalablement identifiée. Cette banque de données ainsi créée peut se traduire sous forme graphique (figure 2) et permettre la validation hydraulique des données d'entrée (les deux mesures de hauteur d'eau).

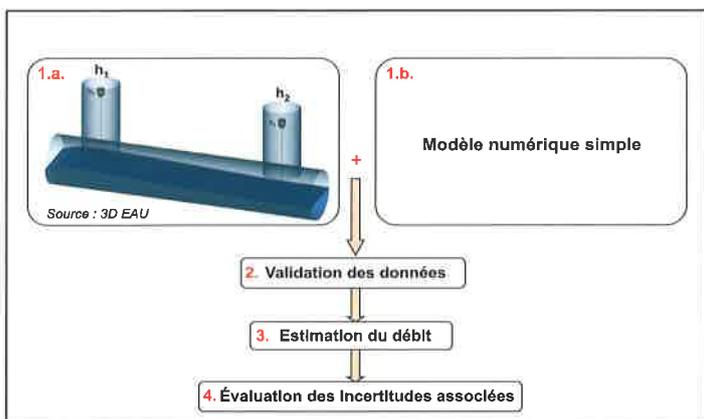


Figure 1. Principe de la méthode de mesure en quatre étapes

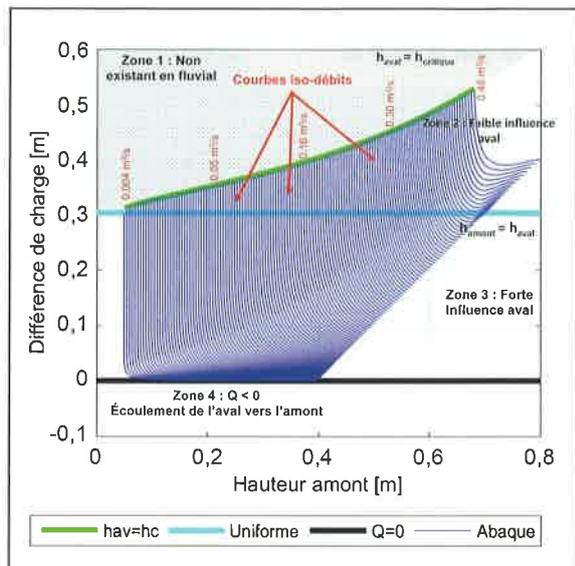


Figure 2. Résultats du modèle hydraulique pour la validation hydraulique des données

Le graphique de la figure 2 présente des courbes iso-débits en fonction de la différence des cotes des hauteurs mesurées par les deux capteurs (en ordonnée) et de la hauteur amont (en abscisse). Il met en évidence différentes zones correspondant à des comportements hydrauliques différents de l'écoulement, ce qui facilite également le traitement et la validation des données. Ainsi, on distingue quatre zones séparées par des transitions, ayant une pertinence hydraulique :

- zone 1 : non existant. En effet, l'évolution de la surface libre d'un écoulement ne permet pas de passer d'une valeur inférieure à la hauteur critique à une valeur supérieure. Il y aurait alors apparition d'une seconde courbe de remous avec une transition marquée par un ressaut ;
- zone 2 : écoulement avec une faible influence aval ;
- zone 3 : domaine qui correspond à un écoulement avec une influence aval prononcée ;
- zone 4 : cas où la condition aux limites aval est tellement importante qu'elle entraîne un débit négatif (c'est-à-dire : l'écoulement coule de l'aval vers l'amont). Si la nécessité de bidirectionnalité de l'écoulement est identifiée, les écoulements négatifs peuvent aussi être pris en compte par l'approche proposée.

En outre, ce type de graphique permet d'effectuer une validation hydraulique des données (en excluant les points hydrauliquement impossibles).

On note également que cette technique est valable en cas de mise en charge du collecteur, pour laquelle la différence de hauteur piézométrique est exploitée via la résolution de l'équation de Bernoulli.

#### 1.4. Relation hauteur-débit pour l'exploitation

Le nuage de quelques centaines de milliers de points issus des résultats de la méthode est traité puis interpolé selon une méthode décrite dans ISEL et coll. [2014] afin d'identifier une relation entre hauteurs et débit. Celle-ci peut s'écrire sous la forme d'un tableau de valeurs ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $Q$ ) ou bien s'exprimer par une relation explicite. Dans tous les cas, ces formats sont intégrables dans un transmetteur ou dans le posttraitement des capteurs. Les incertitudes associées à ces mesures sont également évaluées.

Cette méthode peut par ailleurs être couplée sur un même site à un dispositif de mesure préexistant, tel que le vélocimètre Doppler ou pour plus de précision à un profilomètre de vitesse (Doppler pulsé, corrélation croisée) afin d'en sécuriser la mesure (redundance). Sa précision peut être très largement augmentée par la mise en place de profilomètre de mesure pour lequel le modèle de corrélation est plus clairement établi [SOLLIEC, 2013] que pour les autres vélocimètres.

#### 1.5. Apport et limites de la méthode

Cette méthodologie présente des contraintes de mise en place :

- elle s'attache aux écoulements dont les effets transitoires sont négligeables (ce qui est souvent le cas dans un réseau d'assainissement où les variations sont relativement lentes) ;
- aucun apport latéral significatif ne doit avoir lieu entre les deux mesures de hauteur d'eau (c'est-à-dire sur une centaine de mètres) ;
- enfin, la pose et l'étalonnage (le zéro) des capteurs de hauteur d'eau doivent être particulièrement soignés, car la fiabilité de ces mesures conditionne fortement la qualité des résultats de la méthode. Ainsi, on prendra soin d'éviter les zones à forts risques de dépôt.

L'apport principal de ce travail réside dans le fait que la méthodologie proposée est simple en matière de mise en place et d'utilisation. Elle permet, de plus,

d'intégrer des contraintes hydrauliques complexes du site pour une instrumentation fiable et opérationnelle.

Les coûts d'exploitation sont uniquement liés à l'entretien de deux capteurs de hauteur d'eau non intrusifs (soit le passage d'un seul technicien une à deux fois par an sans descente en réseau). Ces passages sur site pourraient être combinés avec une recalibration et un éventuel changement de batterie (une fois tous les 1 ou 2 ans), si les capteurs sont autonomes. On pourra donc considérer que le coût d'exploitation annuel de la méthode revient à 1 journée technicien (ce qui est bien sûr à différencier du coût d'investissement).

Cela est à confronter avec l'entretien d'un capteur intrusif qui nécessite une maintenance plus régulière (quatre à 12 fois par an selon les sites) et la présence de trois techniciens pour permettre une descente sécurisée dans l'ouvrage. Ce type de méthode de mesure plus classique engendre donc un coût d'exploitation plus important de l'ordre de 5 jours technicien par an en moyenne.

## 2. Cas d'application

Cette méthode a été mise en place sur sept sites grandeur nature dont les caractéristiques sont détaillées dans le *tableau I*.

Cet article présente les résultats de l'application de la méthode sur le site de Mühlgasse à Leingarten (Allemagne).

### 2.1. Description du site

Le site de Leingarten présente une canalisation DN 700 à pente faible et régime fluvial. Les deux capteurs de hauteur sont situés dans des regards distants de 135 m (*figure 3*). Ils utilisent la technologie ultrason aérien. Ces sondes de hauteur sont raccordées à des loggers autonomes. Les zéros des capteurs ont été ajustés. Une redondance de mesure temporaire associant la technologie h2Q avec un débitmètre portable PCM de marque Nivus mesurant le profil de vitesse. Ce débitmètre est installé afin de préciser pour le lecteur les écarts observables entre cette technologie et une technologie plus éprouvée.

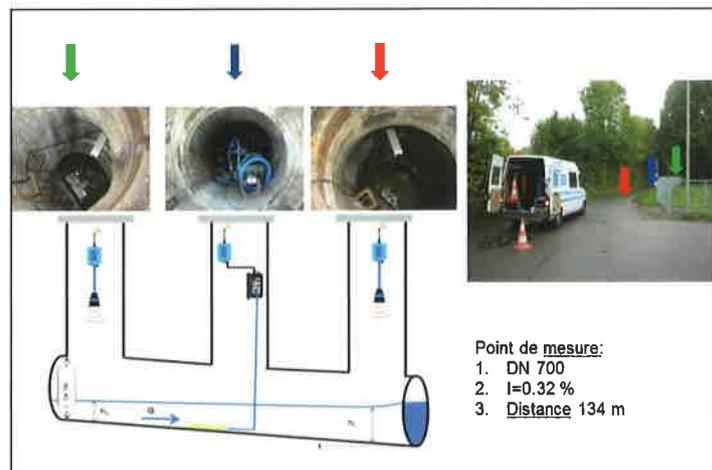


Figure 3. Schéma et photos du site de mesure

Nom du site	Lieu du site	Exploitant	Géométrie	Dimension	Distance	Pente
Steingiessen	Strasbourg	Communauté urbaine de Strasbourg	Circulaire	φ 2 620 mm	80 m	Faible (0,18 %)
Routhouan	Saint-Malo	Veolia Ouest	Semi-circulaire à fond incliné	2,77 * 2,50 m	60 m	Faible (0,17 %)
Milan	Mulhouse	Lyonnaise des Eaux	Fer à cheval	2,80 * 2,21 m	85 m	Faible (0,12 %)
Forst	Mulhouse	Lyonnaise des Eaux	Ovoïde	1,84 * 1,18 m	55 m	Faible (0,1 %)
Mühlgasse	Leingarten	Nivus GmbH	Circulaire	φ 700 mm	135 m	Faible (0,32 %)
Pforzheim	Pforzheim	Nivus GmbH	Circulaire	φ 1 800 mm	95 m	Forte (0,46 %)
PS23	Nanterre	Sevesc	Ovoïde	2 000 mm	350 m	Faible (0,05 %)

Tableau I. Caractéristiques des sept sites grandeur nature

Gamme de hauteur [m]	Gamme de débit [L/s]	Écart moyen et écart type
0,160-0,250	50-150	8,7 % ± 5 %
0,250-0,400	150-250	5,7 % ± 2,6 %
0,400-0,550	250-400	1,6 % ± 1,8 %

Tableau II. Écart suivant la gamme de débit

## 2.2. Comparaison des résultats de la méthode h2Q avec une technique de mesure redondante

Les appareils de mesure ont été soumis à la comparaison du débitmètre sur une période de 9 mois et sont toujours en place. Dans la figure 4 sont présentées les séries temporelles de débit à l'issue de la mise en œuvre de la technologie. Sur les 9 mois de mesure, les disponibilités de données de la technique proposée sont de 99,8 % tandis que le profilomètre propose une valeur de 98,5 %. Les écarts de débit sont forte-

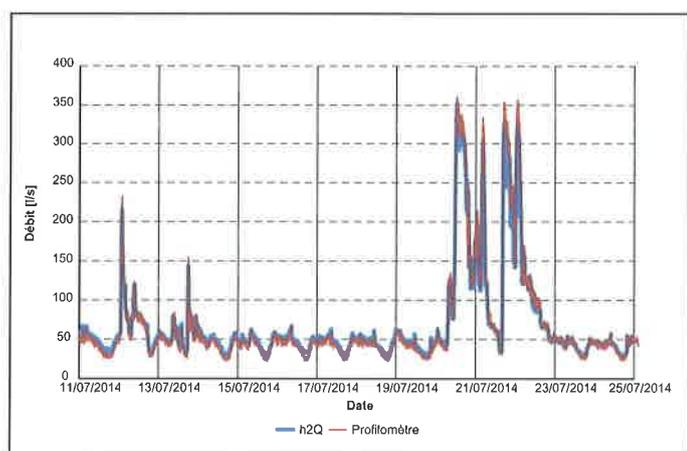


Figure 4. Comparaison des résultats de la méthode avec les mesures de profilomètre

ment liés au niveau d'eau présent dans la conduite. L'écart type entre les deux technologies est d'ailleurs présenté dans le tableau II selon la gamme des hauteurs et des débits considérée.

La figure 4 illustre la comparaison pour un zoom sur une période présentant de fortes variations de débits.

## Conclusion

La méthode h2Q présentée dans cet article présente une facilité d'installation (deux capteurs de hauteurs d'eau) et d'exploitation (capteurs non intrusifs). Basée sur la mesure de deux hauteurs d'eau, sa mise en application est rapide tout en étant adaptative (surface libre, en charge, singularité...). Les calculs de l'incertitude associée ont fait l'objet d'un travail poussé, cette méthode permet d'obtenir une précision au moins équivalente (et assez souvent meilleure) aux méthodes standard (vélocimétrie Doppler, radar). Elle peut d'ailleurs être couplée à ce type de mesure de débit de type profilométrique afin de pourvoir une redondance à moindres frais. Un cas d'application a montré une bonne acuité des résultats de h2Q face à un profilomètre.

## Bibliographie

ISEL S., ARAUD Q., VAZQUEZ J., DUFRESNE M. (2014) : « Développement d'outils et de méthodologies pour déterminer le débit par mesure de hauteurs d'eau en collecteur de réseau d'assainissement ». *Techniques, Science, Méthodes* ; 1/2 : 71-9.

ISEL S. (2014) : *Développement de méthodologies et d'outils numériques pour l'évaluation du débit en réseau hydraulique à surface libre* [thèse]. Université de Strasbourg.

ISO15769, British Standards (2010) : *Hydrometry - Guidelines for the application of acoustic velocity meters using the Doppler and echo correlation methods*.

LENCASTRE A. (1999) : *Hydraulique générale*. Paris : Eyrolles, 648 p.

SOLLIEC L. (2013). *Real time flow rate modelling in disturbed conditions from velocity profilers* [thèse]. Université de Strasbourg.

## Résumé

S. ISEL, L. SOLLIEC, J. WERTEL, M. DUFRESNE, J. VAZQUEZ, U. STEPPE

### Améliorations de la mesure du débit en collecteur d'assainissement : vers moins de maintenance et plus de précision

Cet article s'intéresse à l'évaluation du débit en collecteur de réseau d'assainissement à partir d'une nouvelle méthodologie. Facilement applicable sur site, cette méthode, baptisée h2Q, se fonde uniquement sur la mesure de deux hauteurs d'eau. Ces deux hauteurs d'eau sont combinées à un modèle numérique simple, de type Manning-Strickler adapté pour prise en compte de l'influence aval. Ce modèle tient donc compte de la complexité hydraulique du site de mesure, et en particulier de la variabilité des conditions hydrauliques amont et aval. La relation hauteur-débit résultant de cette méthodologie peut être exprimée soit par un tableau de valeurs, soit par

une loi explicite, qui sont tous deux directement implémentables dans un transmetteur. De plus, cette approche permet une validation hydraulique des données collectées ainsi qu'une estimation des incertitudes correspondantes. Déjà mise en œuvre sur sept sites aux caractéristiques différentes en France et en Allemagne, cet article présente une application sur le site de Leingarten (Allemagne) pour valider l'opérationnalité de la méthode. Les résultats ont été comparés avec une autre technologie de mesure redondante (un profilomètre). Cette association augmente la précision de l'évaluation du débit et permet la fiabilisation du dispositif de mesure.

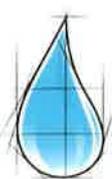
## Abstract

S. ISEL, L. SOLLIEC, J. WERTEL, M. DUFRESNE, J. VAZQUEZ, U. STEPPE

### Improving flow measurements in sewer pipes: towards less maintenance and more accuracy

This article deals with the assessment of the discharge in sewer pipes using a new methodology. Easily applicable on site, this method is only based on two measurements of the water depth. Those two measurements are associated with a simple numerical model, based on a modified Manning-Strickler model integrating the downstream influence. This model takes into account the hydraulic complexity of the measurement site, and in particular the complex boundary conditions. The results can be expressed using either a table of value or an explicit relationship assessing the discharge from the two water level measurements.

Both ways can be integrated into a transmitter. Moreover, this approach enables a validation of the hydraulic behaviour considering the available water depth measurements as well as an estimation of the associated uncertainties. This method has been applied on 7 real-life sites with different characteristics in France and Germany, in order to check its operational nature. This article presents an application located in the sewer network of Leingarten (Germany). Finally, its association with another technology called profilometer leads to an improvement of its precision and of the reliability of the instrumentation device.



**TEKMAD**  
TECHNIQUES ALTERNATIVES  
HYDRAULIQUE & MESURES DE L'EAU  
BUREAU D'ÉTUDES - BRETAGNE / PAYS DE LOIRE & NORMANDIE

[www.tekmad.fr](http://www.tekmad.fr)



Hydraulique      Mesure de l'eau  
Autosurveillance      Techniques alternatives

**Études Générales & Maîtrise d'œuvre :**  
Eau potable / Assainissement

**Techniques alternatives :**  
Phytoépuration / Gestion des eaux de pluies  
/ Baignades Naturelles



Member du réseau  
Les Jardins d'assainissement