

# Mesure du débit par les canaux Venturi présentant des non-conformités : faut-il les détruire et les reconstruire ?

■ M. DUFRESNE<sup>1</sup>, J. VAZQUEZ<sup>1</sup>, M. FISCHER<sup>1</sup>, J. WERTEL<sup>2</sup>

Mots-clés : canaux Venturi, débit, non-conformités

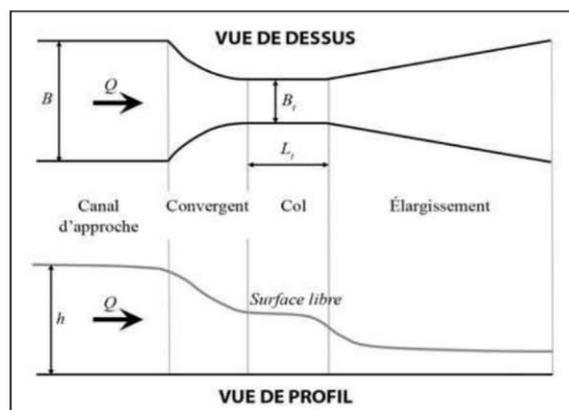
Keywords: discharge, non-compliances, Venturi flumes

## Introduction

Les canaux Venturi sont des ouvrages très couramment utilisés pour mesurer le débit dans les stations de traitement des eaux usées et, plus généralement, sur de nombreux réseaux hydrauliques à surface libre. Ils consistent en un canal ouvert avec un rétrécissement local de la largeur appelé le col (voir la vue de dessus de la figure 1). Sauf influence aval importante (quantifiée par la limite modulaire du canal, voir ACKERS et coll. [1978]), ce rétrécissement de la largeur provoque la transition d'un régime fluvial à un régime torrentiel (voir la vue de profil de la figure 1).

Ce comportement hydraulique garantit une relation directe entre la hauteur et le débit [HAGER, 1999]. Un capteur de niveau d'eau mis en place dans le canal d'approche en amont du col permet de déterminer la hauteur d'eau par différence avec le fond du canal (le « zéro »). Cette hauteur d'eau est alors utilisée pour déterminer le débit au moyen de la relation hauteur/débit fournie par le constructeur du canal Venturi.

Les modèles de petite taille sont généralement construits en une seule pièce (parfois deux avec le chenal d'approche) ; pour les plus gros, seuls la partie convergente et le col sont généralement vendus par les constructeurs, le reste du canal devant être maçonné



$B_c$  : largeur du col ;  $L_c$  : longueur du col ;  $B$  : largeur de la section d'entrée ;  $h$  : hauteur d'eau en amont.

Figure 1. Illustration d'un canal Venturi

sur site. Dans tous les cas, les contraintes de génie civil peuvent être responsables de défauts de pose ou encore de déformations (voir par exemple la figure 2). Par ailleurs, il peut arriver que des contraintes locales (par exemple un manque de place) empêchent de respecter l'intégralité des conditions de pose, notamment la nécessité de disposer d'un canal d'approche de longueur suffisamment importante – généralement dix fois la hauteur d'eau maximale selon l'état de l'art [ISO, 2013]. Enfin, le procédé de fabrication des canaux Venturi peut parfois lui-même occasionner des déformations, notamment dans le cas de canaux en résine fabriqués à partir de moules dont la géométrie n'est pas régulièrement contrôlée. Les organismes en charge du contrôle de ces installations (agences de l'eau, services d'assistance technique aux exploitants de station d'épuration, etc.) réunissent généralement tous ces défauts sous le terme de « non-conformités ».

<sup>1</sup> École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg – Laboratoire ICube (Université de Strasbourg, CNRS, INSA de Strasbourg, ENGEES) – 2, rue Boussingault – 67000 Strasbourg.  
Courriels : matthieu.dufresne@engees.unistra.fr, jose.vazquez@engees.unistra.fr, martin.fischer@engees.unistra.fr

<sup>2</sup> 3D EAU – 4, rue Boussingault – 67000 Strasbourg.  
Courriel : jonathan.wertel@3deau.fr



Figure 2. Parois gondolées dans la zone convergente d'un canal Venturi

Se pose alors la question de la fiabilité de la détermination du débit par des canaux non conformes. À partir de quelle amplitude un défaut de pose ou une déformation a-t-elle un impact significatif sur la relation hauteur/débit ? Dans le cas où il y aurait un impact significatif, est-il possible de corriger la relation hauteur/débit pour permettre une détermination précise du débit ? S'il est possible de corriger la relation hauteur/débit d'un canal présentant des non-conformités (déformations, défauts de pose, conditions d'approche non respectées...), alors il ne sera pas nécessaire de le détruire pour en construire un nouveau, ce qui permettra de limiter le coût pour le maître d'ouvrage.

Dans ce contexte, les objectifs de cet article sont de proposer des outils permettant de fiabiliser la relation hauteur/débit de canaux Venturi non conformes sans devoir les reconstruire. Dans un premier temps, un état de l'art sur les méthodes de détermination de la relation hauteur/débit sera effectué. Ensuite, l'impact de déformations et de défauts de pose « typiques » sur la détermination du débit sera quantifié. Enfin, des méthodes de correction de la relation hauteur/débit seront proposées pour fiabiliser la détermination du débit pour des canaux dits non conformes.

## 1. État de l'art sur les méthodes de détermination de la relation hauteur/débit

On peut identifier trois méthodes de détermination de la relation hauteur/débit d'un canal Venturi. La première et la plus « naturelle » consiste à procéder à des essais en laboratoire. La deuxième consiste à utiliser la méthode de l'écoulement critique, forma-

lisée pour les canaux à col long, par exemple, par la norme ISO 4359. Enfin, la troisième – historiquement la plus récente – consiste à utiliser la mécanique des fluides numérique 3D (souvent appelée « modélisation 3D »).

### 1.1. Expérimentation en laboratoire

Cette méthode consiste à mettre en place le canal Venturi sur un banc hydraulique et à le faire fonctionner sur l'intégralité de sa gamme de débit (figure 3). Pour chaque débit testé, la hauteur d'eau au niveau du point de mesure doit être déterminée. La courbe hauteur/débit est alors construite point par point.

En ce qui concerne la précision de cette méthode, un dispositif de mesure du débit de type débitmètre électromagnétique peut aujourd'hui être précis à environ 0,1 % ou 0,2 % près. Quant à la mesure de hauteur d'eau (différence entre le niveau d'eau et le zéro), on peut atteindre une précision de quelques dixièmes de millimètre (environ 0,5 mm). En propageant ces incertitudes dans une relation hauteur/débit (ainsi qu'une incertitude de 0,5 mm sur la largeur du col), il est possible de tirer un ordre de grandeur de la précision de cette méthode. Considérons, par exemple, un canal Venturi de largeur de col 100 mm dont on cherche à déterminer la relation hauteur/débit expérimentalement. Avec les ordres de grandeur précédents, on atteint une incertitude sur le coefficient de débit d'environ 0,7 % à 1,6 % (selon le débit considéré). Pour un canal plus large (300 mm), l'incertitude serait entre 0,1 % et 0,5 %. Ces valeurs constituent des ordres de grandeur obtenus dans de très bonnes conditions de mesure, notamment dans le cas où l'installation utilisée permet de maintenir le débit d'alimentation constant (parfois difficile si l'alimentation est effectuée au moyen de pompes centrifuges sans réservoir surélevé).

On peut donc raisonnablement conclure que lorsqu'elles sont mises en œuvre dans de très bonnes conditions, des mesures en laboratoire peuvent conduire à une incertitude de l'ordre de 1 %, voire moins, sur la relation hauteur/débit.

Cette première méthode est souvent utilisée par les constructeurs de canaux Venturi pour établir la loi hauteur/débit. Elle présente néanmoins un coût non



Figure 3. Vue depuis l'amont d'un canal Venturi étudié en laboratoire

négligeable, notamment pour les canaux de grande taille nécessitant une installation importante.

Un certain nombre de canaux ont fait l'objet d'un travail expérimental important, parmi lesquels les canaux de type Parshall et les canaux de type SANIIRI (voir par exemple ACKERS et coll. [1978] ou encore BOS [1989]). Les lois hauteur/débit de tels canaux peuvent être trouvées dans la littérature technique citée ci-dessus ou bien encore dans la norme ISO 9826 ; ces lois ne sont cependant valables que si les canaux présentent des dimensions qui ont fait l'objet d'essais expérimentaux. Il existe ainsi 21 canaux Parshall normalisés par l'ISO 9826, les débits mesurables allant de 1,50 L/s à 93,0 m<sup>3</sup>/s.

## 1.2. Méthode de l'écoulement critique pour les canaux à col long

Cette méthode repose sur la théorie de l'écoulement critique (voir par exemple HAGER [1999]) et l'utilisation d'un coefficient de débit. Ce dernier peut provenir de l'expérience (voir par exemple BOS [1989]) ou bien être déterminé en utilisant, par exemple, le concept de la couche limite [HARRISON, 1967 ; ACKERS *et al.*, 1978]. Cette méthode considère que le rétrécissement au niveau du col du canal est responsable d'une contraction de la veine liquide ; cette dernière entraîne l'apparition d'une zone à proximité du fond et des parois dans laquelle la vitesse de l'écoulement peut être considérée comme nulle. La méthode permet d'évaluer l'épaisseur de cette zone et diminue d'autant la section de passage. C'est cette méthode qui est préconisée par la norme ISO 4359 [ISO, 2013].

Malgré les critiques pouvant être formulées à l'encontre de cette correction [YEUNG, 2007 ; DABROWSKI et POLAK, 2012], l'application du concept de couche limite aux canaux Venturi permet néanmoins de déterminer la relation hauteur/débit d'un canal de mesure avec une précision de quelques pour cent (environ 5 %, voir BOS [1989] ou encore la partie traitant du calcul d'incertitude dans la norme ISO 4359). Autrement dit, si cette méthode n'est pas parfaite, elle présente néanmoins l'avantage de parvenir à une évaluation relativement précise du débit sans devoir mettre en place le canal sur un banc hydraulique en laboratoire ou le modéliser en 3D (voir ci-dessous).

Selon la norme ISO 4359, cette méthode n'est cependant applicable qu'aux canaux à col long (c'est-à-dire dont la longueur du col est au moins égale à deux fois la hauteur d'eau maximale) et dont la largeur du col est supérieure à 100 mm. Cela empêche d'utiliser cette méthode pour les canaux de petite taille (indispensables, par exemple, pour la mesure sur les petites stations de traitement des eaux usées) ou encore pour les canaux à cols courts tels que les canaux Khafagi (qui présentent un plus faible encombrement en longueur). Précisons qu'il existe d'autres canaux Venturi normalisés, tels les canaux Parshall et SANIIRI (ISO 9826).

## 1.3. Mécanique des fluides numérique 3D

La mécanique des fluides numérique 3D, appelée *computational fluid dynamics* (CFD) en anglais, est utilisée depuis plusieurs années dans le domaine de l'eau. Cette méthode consiste à reproduire par modélisation numérique le comportement hydraulique d'ouvrages tels que des déversoirs d'orage [LIPEME-KOUYI, 2004], des collecteurs [WERTEL, 2009], des bassins d'orage [YAN, 2013]... Dans le cas d'un canal Venturi, on s'intéresse à la reproduction de la surface libre, notamment de la hauteur d'eau au niveau du point de mesure (*figure 4*). La confrontation des résultats de cet outil avec les données expérimentales de YEUNG [2007] a permis de conclure que cet outil présentait une précision de l'ordre de 1 % [DUFRESNE et VAZQUEZ, 2013].

Le principal intérêt de cette méthode est de permettre la détermination de la relation hauteur/débit

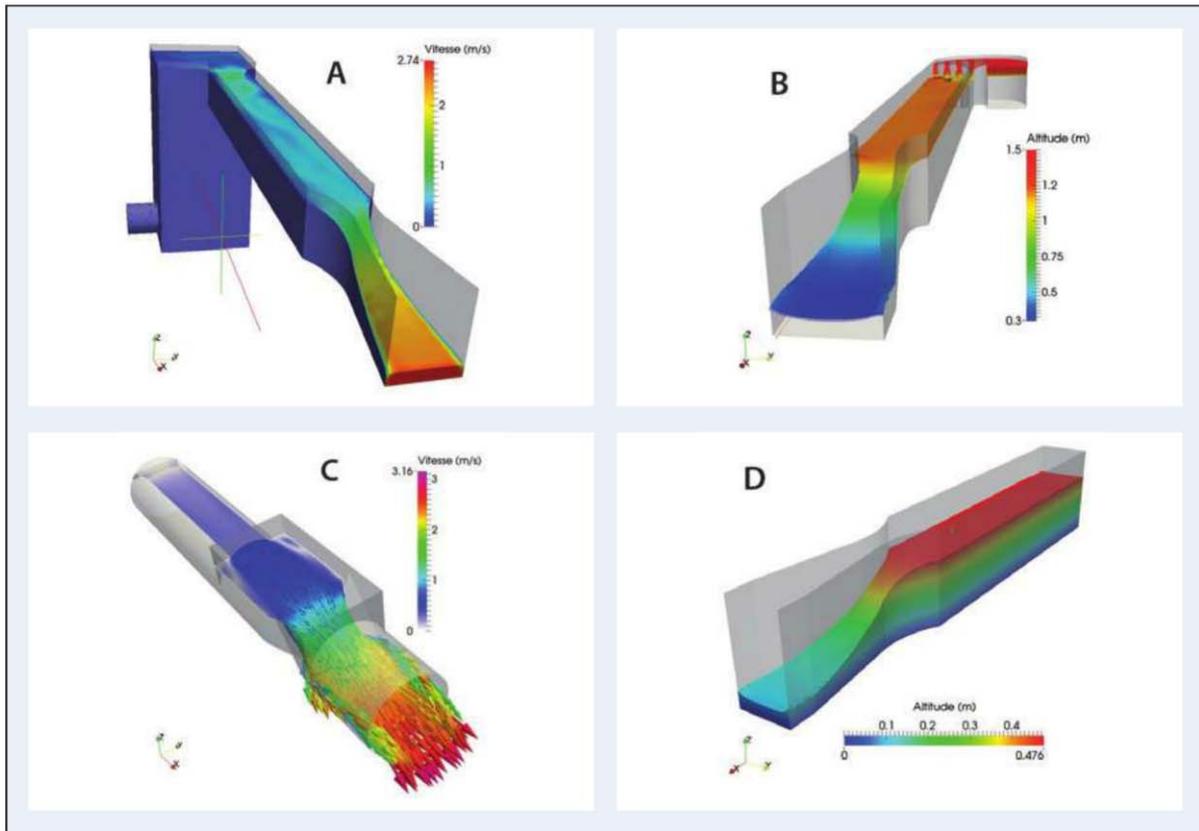


Figure 4. Résultats de modélisation numérique 3D de l'écoulement dans des canaux Venturi non conformes. A : canal Venturi avec une longueur d'approche inférieure aux recommandations de la norme ISO 4356. B : canal Venturi présentant des déformations ainsi qu'une singularité forte en amont. C : canal Venturi mis en place dans un regard. D : canal Venturi présentant une longueur de col non conforme aux recommandations de la norme ISO 4359

d'un canal Venturi qui n'entre pas dans les conditions d'application de la norme ISO 4359 sans nécessiter de passage sur un banc hydraulique en laboratoire, ce qui permet de limiter les coûts sans dégrader la précision. Cet outil peut par ailleurs être utilisé pour déterminer la relation hauteur/débit d'un canal Venturi dans un environnement hydraulique spécifique : déformations du canal, défauts de pose, longueur d'approche insuffisante vis-à-vis des règles de l'art, influence aval... (voir plus loin les méthodes de fiabilisation d'un canal existant).

## 2. Impact de déformations et de défauts de pose « typiques » sur la mesure du débit

Trois défauts typiques ont été identifiés et testés numériquement sur des canaux à col long (respectant les critères de l'ISO 4359) par mécanique des fluides numérique 3D : pose du canal Venturi à une pente non nulle (figure 5), présence de creux ou de bosses sur le fond du col du canal (figure 6), présence

de creux ou de bosses sur les parois du col du canal (figure 7). Il existe bien entendu de nombreuses autres déformations possibles ; le choix a été fait de se focaliser sur les déformations du col dans la mesure où ce dernier est le principal contrôle de la relation hauteur/débit d'un canal Venturi. Le *tableau I* synthétise les gammes de défauts et de déformations

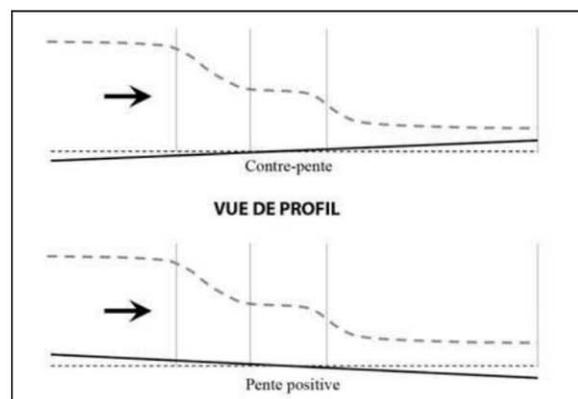


Figure 5. Illustration d'un canal posé à une pente non nulle (le défaut est exagéré pour une question de lisibilité)

testés. Dans ce tableau,  $\Delta$  est l'amplitude des déformations (voir les figures 6 et 7) et  $B_t$  est la largeur du col.

Afin que les résultats soient représentatifs des différentes tailles de canaux rencontrées, deux canaux Venturi ont été considérés dans cette étude : un canal de petite taille (largeur du chenal d'approche 200 mm, largeur du col 100 mm, longueur du col 300 mm) et un canal de grande taille (largeur du che-

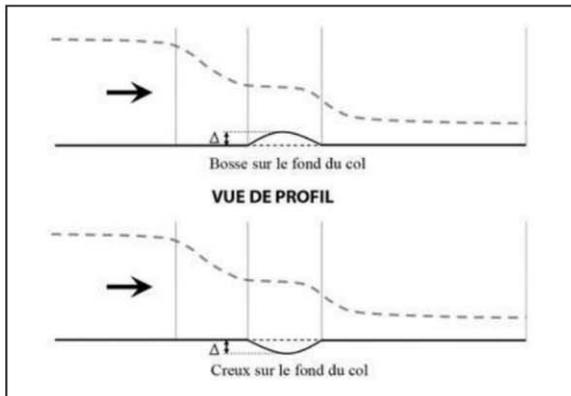


Figure 6. Illustration de la présence d'une bosse ou d'un creux sur le fond du col (la déformation est exagérée pour une question de lisibilité)

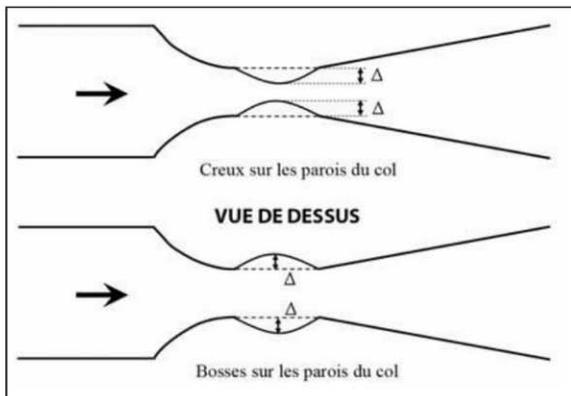


Figure 7. Illustration de la présence de creux ou de bosses sur les parois du col (la déformation est exagérée pour une question de lisibilité)

nal d'approche 800 mm, largeur du col 480 mm, longueur du col 900 mm). Ces deux canaux sont conformes aux recommandations géométriques de la norme ISO 4359. Pour chaque défaut testé, le fonctionnement hydraulique du canal Venturi a été simulé par mécanique des fluides numérique 3D sur toute la gamme de débit. Cela représente un total de 158 simulations pour l'ensemble des déformations/défauts, les deux canaux et trois débits par configuration (débit minimum, débit moyen et débit maximum mesurable par le canal). Les résultats obtenus ont été comparés avec ceux correspondant à un canal sans défaut ; l'erreur relative sur le débit pour une hauteur donnée du fait du défaut a alors pu être calculée.

Les résultats de cette première étape sont synthétisés dans le tableau II dont des exemples de lecture sont donnés par la suite. La première colonne correspond à la description du défaut testé. Les deuxième et troisième colonnes indiquent l'amplitude maximale acceptable pour le défaut considéré ; la deuxième colonne considère ainsi comme acceptable une erreur sur le débit pouvant aller jusqu'à 2 %, la troisième 5 %. Le symbole – signifie que la plus petite déformation testée a conduit à une erreur supérieure au seuil choisi.

• **Exemple n° 1.** Un canal Venturi ISO 4359 présente une contre-pente de -1,0 %. La loi hauteur/débit déterminée au moyen de la norme ISO 4359 est-elle valide pour l'évaluation du débit sur ce dispositif ?

D'après le tableau II, toute contre-pente plus marquée que -0,2 % occasionnera une erreur sur l'évaluation du débit supérieure à 5 %. Utilisation de la loi hauteur/débit déterminée selon la norme ISO 4359

| Défaut/déformation                          | Valeurs testées  |
|---|--|
| Pente                                       | -2,0 % (contre-pente), -1,6 %, -1,2 %, -0,8 %, -0,4 %, -0,2 %, -0,1 %, 0 % (pas de défaut), +0,1 %, +0,2 %, +0,4 %, +0,8 %, +1,2 %, +1,6 %, +2,0 % |
| Déformation des parois du col $2\Delta/B_t$ | -20 % (bosses), -10 %, -4 %, -2 %, 0 % (pas de déformation), +2 % (creux), +4 %, +10 %, +20 %  |
| Déformation du fond du col $\Delta/B_t$     | -10 % (creux), -5 %, -2 %, -1 %, 0 % (pas de déformation), +1 % (bosse), +2 %, +5 %, +10 %   |

Tableau I. Gammes des défauts et déformations testées au cours de l'étude

**ADCPro**

**Débitmètres Canal ouvert**

[www.adcpro.fr](http://www.adcpro.fr)  
06 46 69 59 26

*Canal ouvert  
Cours d'eau naturel*

*Conduite  
jusqu'à 5 m  
partiellement remplie  
pleine ou en charge*

**Eaux usées ou naturelles  
Sans génie civil  
5 faisceaux Doppler**



Des équipes à votre service pour des solutions adaptées à vos besoins

**Effluents Industriels  
Lixiviats  
Biogaz**

Fabrication, Exploitation, Gestion déléguée, Garantie de performance

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

Tél : +33 (0)3 23 76 48 48  
Fax : +33 (0)3 23 76 48 49



Expertise et suivi analytique



Installations de traitement de 2 à 10 m<sup>3</sup>/h



Unités fixes



Forages et réseaux de collecte



Unités mobiles



Breuleurs de 10 à 400 m<sup>3</sup>

| <b>Tolérance acceptable sur le débit</b>   | <b>2 %</b> | <b>5 %</b> |
|--|------------|------------|
| Pente positive                             | –          | + 0,2 %    |
| Contre-pente                               | –          | – 0,2 %    |
| Bosses sur les parois du col $2\Delta/B_t$ | – 2 %      | – 4 %      |
| Creux sur les parois du col $2\Delta/B_t$  | + 4 %      | + 10 %     |
| Creux sur le fond du col $\Delta/B_t$      | – 2 %      | – 5 %      |
| Bosse sur le fond du col $\Delta/B_t$      | –          | +1 %       |

Tableau II. Évaluation des plus grands défauts/déformations acceptables pour une tolérance donnée sur le débit sans correction simple de la relation hauteur/débit

n'est donc pas valide. On peut en revanche corriger cette loi pour qu'elle devienne valide (voir plus loin).

• **Exemple n° 2.** Un canal Venturi répondant aux critères de l'ISO 4359 et de largeur 200 mm présente des creux sur les parois du col de 6 mm de part et d'autre (6 mm en paroi gauche et 6 mm en paroi droite). La loi hauteur/débit déterminée au moyen de la norme ISO 4359 est-elle valide pour l'évaluation du débit sur ce dispositif ?

Pour répondre à cette question, évaluons le pourcentage de déformation  $2\Delta/B_t$ . Ce pourcentage de déformation vaut  $2 \times 6 / 200 = 6\%$ . Selon la cinquième ligne du *tableau II*, ce pourcentage de déformation est inférieur à 10 % qui est la tolérance maximale pour garantir une erreur sur le débit inférieure à 5 %. Si 5 % est considéré comme une erreur acceptable, alors la loi hauteur/débit déterminée selon la norme ISO 4359 pour ce canal Venturi peut être considérée comme valide. Remarquons que le pourcentage de déformation étant supérieur à 4 %, l'erreur sera néanmoins supérieure à 2 %. Elle sera donc comprise entre 2 % et 5 %.

### 3. Fiabilisation de la mesure du débit pour les canaux non conformes

#### 3.1. Cas des déformations/défauts de pose « typiques »

Dans le cas où l'erreur introduite par la déformation serait jugée trop importante (par exemple dans le cas de la contre-pente de l'exemple 1 où l'erreur est supérieure à 5 %), alors il est possible de corriger simplement la relation hauteur/débit pour réduire cette erreur. Ces corrections sont les suivantes :

– dans le cas d'une pente positive ou d'une contre-pente, la correction proposée consiste à faire le zéro

du capteur par rapport non pas au chenal d'approche où est positionné le capteur de niveau, mais par rapport au col du canal Venturi (si le col est long, il faut effectuer le zéro par rapport à la section aval du col qui est l'endroit approximatif où la section critique va prendre place, ainsi qu'expliqué par l'ISO 4359) ;

– dans le cas de bosses sur les parois du col, alors il faut remplacer dans la relation hauteur/débit du canal Venturi la largeur du col  $B_t$  par la largeur effective tenant compte des bosses, c'est-à-dire  $B_t - 2\Delta$ . Le débit se calcule donc en corrigeant la loi hauteur/débit déterminée selon l'ISO 4359 par un facteur  $(B_t - 2\Delta)/B_t$  ;

– dans le cas de creux sur les parois du col, aucune correction simple ne permet de corriger la relation hauteur/débit ;

– dans le cas d'un creux sur le fond de col, aucune correction simple ne permet non plus de corriger la relation hauteur/débit ;

– dans le cas d'une bosse sur le fond du col, alors il faut faire le zéro par rapport au radier effectif du col, c'est-à-dire le haut de la bosse.

Néanmoins, ces corrections ne permettent de limiter l'erreur que pour une certaine amplitude de déformations ; si le canal est trop déformé, les corrections simples données plus haut sont insuffisantes. Les tolérances correspondant aux différentes déformations étudiées lorsque les corrections présentées ci-dessus sont prises en compte sont présentées dans le *tableau III*.

• **Exemple n° 3.** Reprenons l'exemple n° 1 donné plus haut. Le canal présente une contre-pente de  $-1,0\%$ . Sans correction, nous avons vu que l'utilisation de la relation hauteur/débit sans correction conduirait à une erreur supérieure à 5 %. Intéressons-nous à présent au *tableau III* pour déterminer si cette contre-pente est compatible avec une correction

| Tolérance acceptable sur le débit | 2 %     | 5 %     |
|-----------------------------------|---------|---------|
| Pente positive                    | + 0,4 % | + 0,8 % |
| Contre-pente                      | - 1,2 % | - 2,0 % |
| Bosses sur les parois du col      | - 4 %   | - 10 %  |
| Creux sur les parois du col       | -       | -       |
| Creux sur le fond du col          | -       | -       |
| Bosse sur le fond du col          | + 2 %   | + 10 %  |

Tableau III. Évaluation des plus grands défauts/déformations acceptables pour une tolérance donnée sur le débit avec correction simple de la relation hauteur/débit (le symbole - signifie qu'aucune correction simple n'est possible)

simple. D'après la deuxième ligne du *tableau III*, l'erreur de la loi hauteur/débit corrigée en faisant le zéro par rapport au col sera au maximum de 2 %.

Remarque : si la contre-pente avait été de -2,0 %, alors l'erreur aurait été au maximum à 5 %. Si la contre-pente avait été plus marquée que -2,0 %, alors aucune correction simple n'aurait pu être appliquée.

- **Exemple n° 4.** Un canal Venturi ISO 4359 de largeur 500 mm présente des bosses de 20 mm sur chacune des parois du col. La loi hauteur/débit déterminée avec l'ISO 4359 est-elle valide ?

Le pourcentage de déformation correspondant à ces bosses se calcule comme suit :  $-2 \times \Delta / B_c = -2 \times 20 / 500 = -8 \%$  (le signe négatif traduit le fait que la largeur effective du col est plus faible). D'après le *tableau II*, cette déformation est trop importante pour garantir une erreur inférieure à 5 % (la déformation maximale est de -4 %. En revanche, le *tableau III* permet de montrer qu'en appliquant la correction recommandée, l'erreur sur le débit sera inférieure à 5 % (elle sera en revanche supérieure à 2 %). Cette correction consiste, pour une hauteur d'eau donnée, à diminuer le débit obtenu selon l'ISO 4359 de -8 %, soit la valeur de  $-2 \times \Delta / B_c$ .

### 3.2. Cas des non-conformités pour lesquelles aucune correction simple n'existe

D'après notre expérience, s'il est courant que des canaux Venturi présentent un certain nombre de non-conformités, il est en revanche beaucoup plus rare que leur fonctionnement hydraulique soit modifié au point de rendre impossible la moindre mesure du débit. Certes, si la déformation ou le défaut de pose est important, alors la loi hauteur/débit

du canal ne sera pas valable, ni même corrigable simplement selon les informations fournies au § 3.1. En revanche, le fonctionnement hydraulique de l'ouvrage garantissant un lien direct entre la hauteur d'eau et le débit sera préservé dans la majorité des cas. En effet, le col du canal Venturi sera, malgré les éventuelles non-conformités, toujours le siège d'une mise en vitesse de l'écoulement et d'un passage d'un régime fluvial en amont (faible vitesse et forte hauteur d'eau) à un régime torrentiel en aval (forte vitesse et faible hauteur d'eau). Ainsi, la relation hauteur/débit sera inconnue ; aucune méthode simple (norme ISO 4359, corrections proposées plus haut) ne permettra de la déterminer, mais il sera néanmoins possible, par la mise en œuvre d'une modélisation spécifique du canal Venturi, de la déterminer.

Puisqu'il serait probablement très difficile (et sans doute très coûteux) de reproduire la même déformation ou le même défaut en laboratoire, la seule méthode viable est de modéliser par mécanique des fluides numérique 3D le canal Venturi avec sa ou ses non-conformités.

La méthodologie sera alors la suivante :

1°. Tout d'abord, il sera procédé au relevé géométrique des dimensions du canal Venturi et de son environnement hydraulique. Toutes les non-conformités doivent notamment être quantifiées : longueur du chenal d'approche et géométrie de la zone d'arrivée de l'écoulement à l'amont dans le cas d'un chenal d'approche trop court, quantification des déformations sur le fond ou les parois, longueur du col, pente du canal...

2°. Le canal Venturi sera ensuite modélisé avec ses non-conformités sur toute sa gamme de débit.

3°. La comparaison des résultats avec la loi hauteur/débit utilisée sera alors effectuée.

4°. En cas d'erreur significative (5 % semble la valeur la plus pragmatique, voir la remarque ci-dessous sur l'incertitude), il sera proposé une nouvelle loi hauteur/débit permettant la détermination précise du débit.

Ainsi qu'expliqué plus haut, la mise en œuvre de cette méthode permet de déterminer la loi hauteur/débit d'un ouvrage pourtant non conforme avec une précision de l'ordre de 1 %, ce qui est tout à fait cohérent avec une mesure de qualité (et qui est d'ailleurs même meilleur que l'application de la norme ISO 4359 qui n'est précise « qu'à » environ 5 %).

**Remarque sur l'incertitude :** Dans cet article, il est question d'erreur, de précision, d'incertitude... Si toutes ces notions sont plus ou moins liées, elles ne doivent en aucun cas être confondues. L'erreur dont il est question plus haut sur les relations hauteur/débit est l'erreur intrinsèque de la relation, c'est-à-dire l'erreur exacte qui serait commise sur le débit si la relation hauteur/débit était parfaitement connue, si la géométrie du canal était parfaitement connue (déformations comprises) et si la mesure de la hauteur d'eau était elle aussi parfaitement connue. En réalité, la relation hauteur/débit n'est connue qu'à l'incertitude de la méthode de détermination près (environ 1 % pour la mécanique des fluides numérique 3D, 5 % pour la norme ISO 4359, etc.) ; la géométrie du canal qu'à quelques millimètres près (la précision d'un distancemètre laser ou d'un tachéomètre laser étant de cet ordre de grandeur), et la hauteur d'eau qu'à quelques millimètres près (l'incertitude sur la hauteur combinant l'incertitude sur la mesure du niveau d'eau et l'incertitude sur le zéro du capteur). Au final, l'incertitude sur le débit, obtenue en combinant ces différentes sources, est généralement de plusieurs pour cent, voire davantage (> 10 %) pour les petites hauteurs d'eau.

## Conclusion

Les canaux Venturi sont des ouvrages de mesure du débit très couramment utilisés dans le domaine de l'eau, notamment en sortie de station de traitement des eaux usées (parfois aussi en entrée, plus rarement

en réseau). La détermination du débit repose sur la mesure de la hauteur d'eau dans le chenal d'approche et l'utilisation d'une relation hauteur/débit. Pour garantir cette relation hauteur/débit et donc la précision du débit, un certain nombre de conditions doivent être respectées. La norme ISO 4359, mais aussi les constructeurs, recommandent ainsi de respecter un certain nombre de critères géométriques et hydrauliques. Lorsque l'un de ces critères n'est pas respecté, on parle de non-conformité.

Après avoir passé en revue les différentes méthodes existantes pour déterminer la relation hauteur/débit d'un canal Venturi (mesure en laboratoire, méthode de calcul telle que l'ISO 4359, mécanique des fluides numérique 3D), cet article a listé un certain nombre de non-conformités typiques pour lesquelles il est possible de faire un lien entre l'amplitude de la non-conformité et l'erreur sur le débit. Concrètement, des déformations et des défauts de pose maxima sont fournis, pour une tolérance donnée sur le débit (2 % et 5 %), dans le cas des non-conformités suivantes : pente non nulle (pente positive ou négative), creux sur les parois du col, bosses sur les parois du col, bosse sur le fond du col, creux sur le fond du col. Tant que l'amplitude de la déformation ou du défaut de pose demeure inférieure au maximum correspondant, alors l'erreur sur le débit est inférieure à la tolérance considérée. Ces informations sont synthétisées dans le *tableau II*.

Dans le cas où l'amplitude de la déformation ou du défaut de pose serait trop importante par rapport à ces maxima, il est possible, dans une certaine mesure (*tableau III*), de corriger la relation hauteur/débit de façon simple pour garantir une détermination précise du débit.

Dans le cas où l'amplitude de la déformation ou du défaut de pose serait trop grande, même en introduisant ces corrections, comme dans le cas d'une non-conformité ne correspondant pas à celles listées ci-dessus, il est en deuxième recours possible de procéder à une étude spécifique du canal Venturi afin de déterminer sa relation hauteur/débit. En effet, si la non-conformité modifie de façon significative la relation hauteur/débit du canal, il n'en demeure pas moins qu'il existe toujours un lien direct entre la

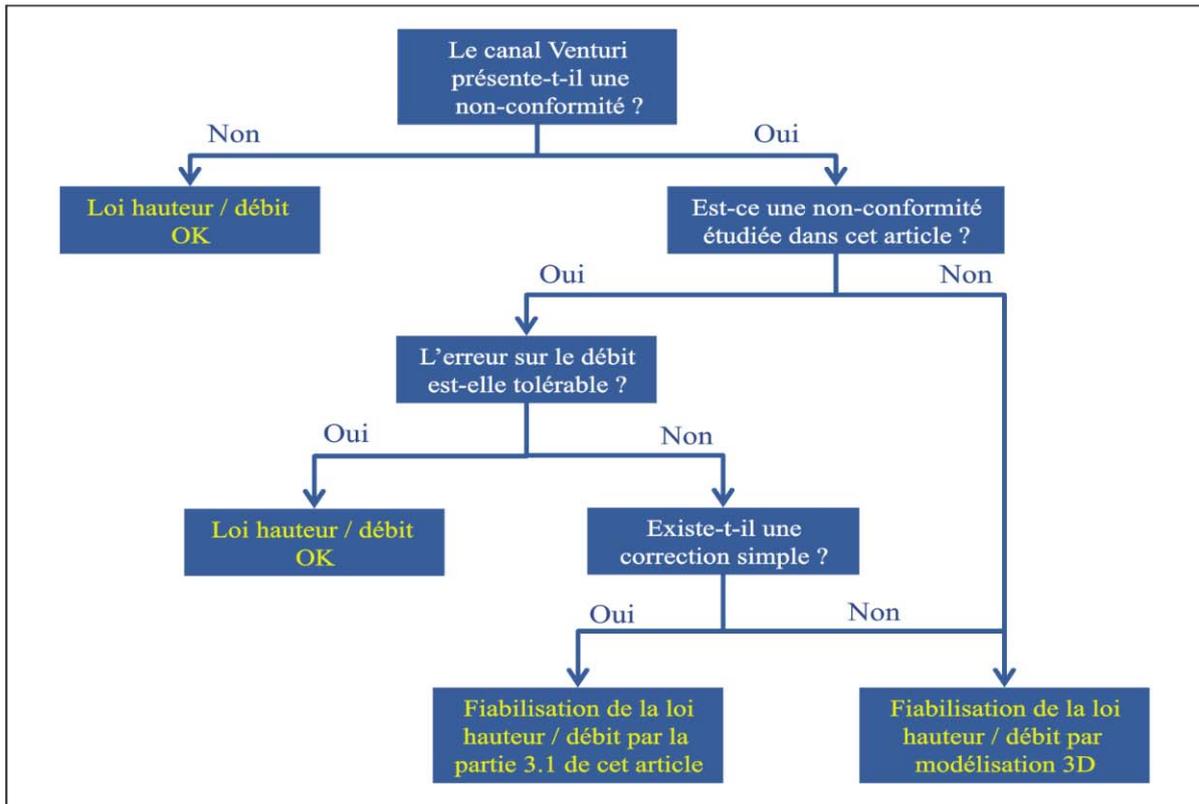


Figure 8. Organigramme décisionnel pour la levée d'une non-conformité

hauteur dans le canal d'approche et le débit. Il suffit alors de déterminer ce lien en procédant à une modélisation du canal par mécanique des fluides numérique 3D. Cette méthode permet de garantir une mesure précise du débit malgré la non-confor-

mité (précision de l'ordre de 1 %) ; elle permet ainsi d'éviter la destruction du canal pour en reconstruire un nouveau qui soit conforme. Cette méthodologie est illustrée à travers l'organigramme décisionnel de la figure 8.

## Bibliographie

ACKERS P., WHITE W.R., PERKINS J.A., HARRISON A.J.M. (1978) : *Weirs and flumes for flow measurement*. Chichester, New York : John Wiley & Sons.

BOS M.G. (1989) : *Discharge measurement structures*. Publication 20. Wageningen, Pays-Bas : International Institute for Land Reclamation and Improvement.

DABROWSKI W., POLAK U. (2012) : « Improvements in flow rate measurements by flumes ». *Journal of Hydraulic Engineering* ; 138(8) : 757-63.

DUFRESNE M., VAZQUEZ J. (2013) : « Head – discharge relationship of Venturi flumes: from long to short throats ». *Journal of Hydraulic Research* ; 51(4) : 465-8.

HAGER W.H. (1999) : *Wastewater hydraulics – Theory and practice*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag.

HARRISON A.J.M. (1967) : « Boundary-layer displacement thickness on flat plates ». *Journal of the Hydraulic Division* ; 93(HY4) : 79-91.

ISO (1992) : *Measurement of liquid flow in open channels – Parshall and SANIIRI flumes*. International Organization for Standardization, ISO 9826.

ISO (2013) : *Flow measurement structures – Rectangular, trapezoidal and U-shaped flumes*. International Organization for Standardization, ISO 4359.

LIPEME-KOUYI G. (2004) : *Expérimentations et modélisations tridimensionnelles de l'hydrodynamique et de la séparation particulaire dans les déversoirs d'orage* [thèse]. Université de Strasbourg.

WERTEL J. (2009) : *Modélisation tridimensionnelle des écoulements turbulents en conduite d'assainissement à surface libre* [thèse]. Université de Strasbourg.

YAN H. (2013) : *Expérimentations et modélisations tridimensionnelles de l'hydrodynamique, du transport particulaire, de la décantation et de la remise en suspension en*

*régime transitoire dans un bassin de retenue d'eaux pluviales urbaines* [thèse]. INSA de Lyon.

YEUNG H. (2007) : An examination of BS3680 4C (ISO/DIS 4369) on the measurement of liquid flow in open channels – flumes. *Flow Measurement and Instrumentation* ; 18 : 175-82.

## Résumé

**M. DUFRESNE, J. VAZQUEZ, M. FISCHER, J. WERTEL**

### Mesure du débit par les canaux Venturi présentant des non-conformités : faut-il les détruire et les reconstruire ?

Les canaux Venturi sont couramment utilisés pour mesurer le débit des écoulements à surface libre. Il arrive fréquemment que ces ouvrages présentent des non-conformités : déformations, non-respect des conditions de pose... Plutôt que de détruire les canaux non conformes pour en reconstruire de nouveaux respectant les règles de l'art, cet article propose de fiabiliser l'existant. Dans le cas de non-conformités typiques, des tolérances sur ces non-

conformités garantissant un certain niveau de précision sont données ; des corrections « simples » de la relation hauteur/débit sont également fournies pour limiter l'erreur sur le débit dans certains cas de déformations et de pente de pose. Dans le cas des non-conformités plus importantes, la modélisation par mécanique des fluides numérique 3D apparaît comme une solution pertinente pour fiabiliser la mesure et ainsi éviter la destruction du canal.

## Abstract

**M. DUFRESNE, J. VAZQUEZ, M. FISCHER, J. WERTEL**

### Discharge measurement using non-compliant Venturi flumes : shall we destroy and rebuild?

Venturi flumes are often used to measure discharge in open channels. Many of them present some non-compliances such as bad installations, geometrical defects, deformations... Instead of destroying and rebuilding these non-compliant flumes, this paper proposes a number of solutions to make their head – discharge relationships reliable. Geometric tolerances

are provided for typical defects or deformations; simple corrections of the head – discharge relationship are also given in order to reduce the error on the discharge. For other non-compliances, computational fluid dynamics appears as a relevant solution to make the discharge determination reliable and avoid the destruction of the flume.

**Geomod**

## MODELISATION DU CYCLE DE L'EAU

Le distributeur français des solutions logicielles développées par **Innovyze**

- Cours d'eau
- Assainissement
- Temps réel
- Gestion des risques
- AEP
- Gestion patrimoniale

Développement logiciels  
Distribution logiciels  
Modélisation & Simulation  
Formation & Support

Expertises: Hydraulique | Bathymétrie | Hydrographie | Océanographie | Acoustique | Electromagnétisme | Géomatique

89 rue de la Villette - 69003 Lyon - France    Tel : +33 (0)4.37.56.10.99 - Email : info@geomod.fr    www.geomod.fr

## AMI Turbiwell -

*Turbidimètre Néphélométrique sans contacts  
pour les eaux potables, de surfaces et chargées.*



### Caractéristiques :

- *Aucun contacts entre les éléments optiques et l'échantillon*
- *Répond à la norme ISO 7027*
- *Plage de mesure 0 -200 NTU*
- *Consommation optimisée 10 L/H*
- *Surfaces optiques thermostatées pour éviter la condensation*
- *Optionnel vanne automatique de purge de la chambre*
- *Optionnel Dégazeur d'échantillon.*

Made in Switzerland 



**CONSULTEZ NOUS !**

[communication@swan-france.fr](mailto:communication@swan-france.fr)



[www.swan.ch](http://www.swan.ch)