



Fiche n°6 : Calcul du débit à partir de la hauteur d'eau

Domaine d'application : Mesurage de débit en réseau d'assainissement

1. Méthodes de calcul du débit à partir de la hauteur d'eau

4 méthodes (dont 3 « simples » notées ci-dessous M1, M2 et M3) permettent de calculer le débit à partir de une ou deux mesures de hauteur d'eau, à savoir :

- Utilisation d'un seuil avec une courbe d'étalonnage et calage d'un coefficient – M1
- Une relation de Manning-Strickler – M2
- Mesure de la hauteur couplée à un capteur vitesse fixé de manière temporaire – M3
- Utilisation de la modélisation hydraulique et d'une ou deux mesures de hauteur d'eau – M4

2. Critères de choix

Méthodes	Avantages	Inconvénients
M1- Seuil et Courbe d'étalonnage	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation d'une seule mesure de hauteur (réduction des coûts) 	<ul style="list-style-type: none"> - résultats erronés si présence de dépôt au pied du seuil - coefficient de débit sensible - courbe d'étalonnage difficile à réaliser - respect d'une distance minimale entre le capteur de mesure de hauteur d'eau et le seuil
M2- Manning-Strickler	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle simple à mettre en oeuvre 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite la connaissance de la pente du réseau sur un linéaire suffisant - résultats erronés si le régime d'écoulement est trop variable et si influence aval - Nécessité de vérifier le coef. Ks Coefficient de rugosité variable en fonction de la hauteur d'eau - Réseau sans dépôt
M3- Couple Hauteur/Vitesse	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin de mesures de vitesse temporaire - Évaluation des effets liés à l'influence aval (hystérésis) 	<ul style="list-style-type: none"> - Plage restreinte de mesures de vitesse - Valeurs de vitesse erronées pour des hauteurs d'eau inférieures à 10 cm (pour une mesure avec contact) - Relation variable du fait de l'influence aval - Nécessité de vérifier la vitesse (traçage, mesure comparative...) <p>*</p>
M4 - couplage mesure de une ou deux hauteurs et d'une modélisation hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> - Pas besoin de mesure de vitesse - Mesure sans contact 	<ul style="list-style-type: none"> - Outil de modélisation avec des données de pluie ou 2 hauteurs distante d'au moins 80 m, <u>en régime fluvial</u> - Modèle à actualiser en fonction des évolutions sur le réseau (<i>exple : travaux de mise en séparatif, nouveaux raccordements, présence de dépôt..</i>) - Nécessité de modéliser (éventuellement appel à société spécialisée) et coût lié à la modélisation - Ne fonctionne pas si ressaut hydraulique

(* **Conseil** : si utilisation d'un radar de surface : Nécessité de vérifier le coefficient qui permet d'obtenir la vitesse moyenne à partir de la vitesse de surface pour une mesure sans contact (en utilisant par exemple une mesure hauteur/vitesse indépendante).

3. Mise en œuvre

a) **Cas des modèles M1** : La figure 1 montre les différents types de seuil qu'on peut installer en réseau d'assainissement.

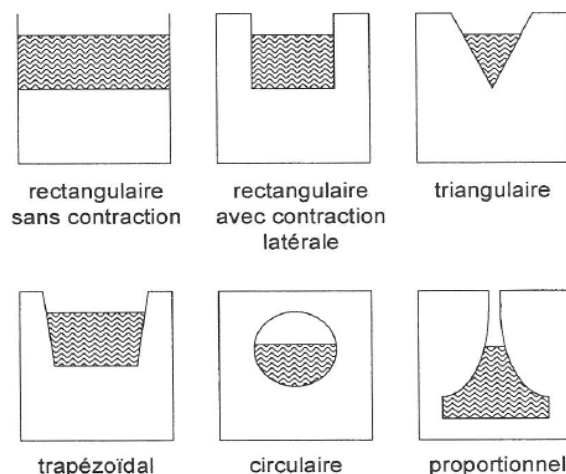


Figure 1 : Géométries des différents seuils (Voir Norme A311)

Source : Bertrand-Krajewski et al., 2000

De façon générale, les modèles les plus utilisés permettant de calculer ou d'estimer le débit à partir de la hauteur d'eau se mettent sous la forme :

$$Q = C_d L \sqrt{2g} (h - w)^{\frac{3}{2}} \text{ pour les seuils rectangulaires;}$$

$$Q = C_d \frac{8}{15} \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \sqrt{2g} (h - w)^{\frac{5}{2}} \text{ pour les seuils triangulaires.}$$

C_d , L , h , w et α représentent respectivement le coefficient de débit à caler et vérifier, la largeur du seuil rectangulaire, la hauteur d'eau, la hauteur de seuil et l'angle d'échancrure (en radian).

Sur le même principe, on peut calculer le débit en mesurant une hauteur dans un canal Venturi (ou tout autre dispositif pré-fabriqués et pré-étalonnés) ou à l'amont de l'orifice d'engouffrement au niveau des postes de relèvement.

Conseil: les seuils à géométrie triangulaire et proportionnelle sont à proscrire en poste fixe sur eaux brutes (statique) pour cause d'obstruction facile et donc d'entretien fréquent.

Pour la mesure en continu de débits « traversiers », l'ensemble de ces dispositifs est à proscrire compte tenu de l'accumulation des dépôts à l'amont du seuil (piègeage des matières/dépôt).

Pour la mesure des débits de déversement, les dispositifs devront être implantés afin de limiter les dépôts en « pied » de seuil. Le cheminement des eaux usées dans l'ouvrage doit permettre un auto-curage de ces dépôts et de préférence en dehors des périodes de surverse

b) cas des modèles M2 :

Quant à la relation de Manning-Strickler, elle se met sous la forme suivante :

$$Q = K_s A \sqrt{I} R_h^{\frac{2}{3}}$$

où : K_s représente le coefficient de rugosité à caler et vérifier, A la section mouillée, I la pente du canal et R_h le rayon hydraulique.

La figure 2 (courbe avec de petites bulles) montre un exemple de relation hauteur/débit obtenue en appliquant le modèle M2. Un coefficient de rugosité (qui vaut ici $K_s = 60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) a pu être établi et ainsi le modèle M2 fournit une relation mathématique reliant la hauteur d'eau et le débit .

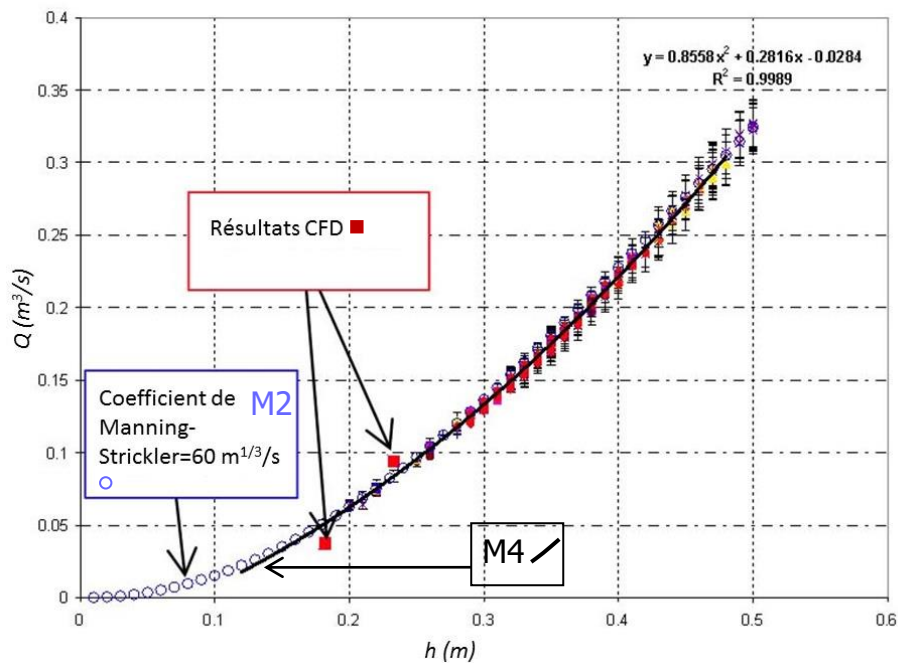


Figure 2 : Représentation graphique de la fonction reliant la hauteur d'eau au débit pour le cas du site industriel de Vénissieux (Métropole de Lyon). Relation hauteur débit selon Manning-Strickler- Méthode M2 (courbe avec de petites bulles) et comparaison avec les résultats obtenus lors de l'utilisation de la méthode M4 (courbe noire). Les incertitudes relatives sont estimées à 5 %. La relation proposée a été vérifiée grâce à quelques résultats issus de la modélisation 3D (calcul CFD – Computational Fluid Dynamics ou Mécanique des fluides numérique - les 2 carrés rouges).

c) Cas des modèles M3

Une relation hauteur-débit peut être construite à partir des mesurages de vitesse et de hauteur. Les mesures de hauteur et vitesse peuvent être acquises à l'aide d'un capteur unique (fournissant la hauteur et la vitesse) ou en utilisant un capteur de vitesse et un autre de hauteur installés au niveau de deux sections voisines distantes de 70 cm à 1 m (hauteur à l'amont et vitesse à l'aval en cas de mesure de vitesse avec contact). Installés de façon temporaire, les débitmètres hauteur-vitesse peuvent fournir des valeurs de débit permettant par exemple de vérifier les mesures de débit obtenues à partir d'autres dispositifs métrologiques (par exemple à l'aide des modèles M1, M2, M4).

Cette méthode est largement répandue. Il est indispensable de bien s'assurer du bon emplacement du débitmètre hauteur-vitesse (éviter de l'installer à proximité de singularités géométriques (telles que coude, chute, jonction) du fait de la perturbation du champ de vitesse sur une longue distance à l'aval).

Par ailleurs, une telle relation ne peut être applicable que dans certaines conditions. En effet, les écoulements en réseau d'assainissement ont lieu en régime instationnaire (surtout en temps de pluie) et peuvent être soumis à l'influence aval.

Par conséquent, la même hauteur ne donne pas toujours la même vitesse à cause du phénomène d'hystérésis (pour une même hauteur, la vitesse dépendra de la phase de crue ou de décrue).

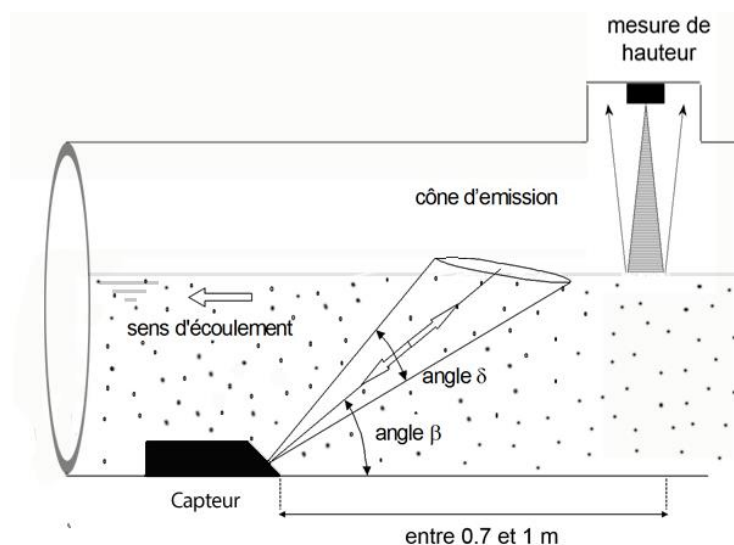


Figure 3 : Illustration d'un équipement permettant d'appliquer la méthode M3. Les capteurs de vitesse avec contact et de hauteur sans contact par exemple doivent être distants de 0.7 à 1 m.

d) Cas du modèle M4

La méthodologie de mise en œuvre de la méthode M4 (estimation de débit fondée sur l'utilisation d'une ou deux mesures de hauteur et un modèle hydraulique) est construite à partir des étapes suivantes :

- Modélisation hydraulique en prenant en compte différentes conditions limites et configuration d'écoulement (la géométrie et la pente moyenne étant fixé)
- Exploitation des résultats de modélisation pour élaborer une relation hauteur-débit.
- Identification des sources d'incertitude et calcul des incertitudes sur le débit en propageant ces sources d'incertitudes dans la fonction mathématique hauteur-débit élaborée.

La figure 2 montre les résultats obtenus en appliquant le modèle M4.

Une variante du modèle M4 est fondé sur la résolution de l'équation de la courbe de remous ou des équations de Barré de Saint Venant (pour le cas d'un écoulement instationnaire) à partir d'un traitement spécifique des conditions aux limites grâce à une (pour le cas d'un régime torrentiel) ou deux (en régime fluvial) mesures de hauteur d'eau. L'avantage de la méthode M4 est de permettre de s'affranchir de la mesure de vitesse, mais nécessite tout de même deux mesures de hauteurs en régime fluvial, avec au moins 80 m entre les deux capteurs de hauteur.

4. Maintenance

*Voir fiches techniques " mesurage de la hauteur " (FT1 et FT2) et "Mesurage de la vitesse " (FT4 et FT5).
Réglage du seuil en réalisant un curage local (au pied su seuil).*

5. Vérification

Il faut vérifier les conditions hydrauliques (possible directement avec un modèle numérique) à l'endroit où est installé le capteur de hauteur. Ainsi pour la méthode M2, il faut s'assurer de l'existence d'un écoulement en régime permanent et uniforme. Concernant la méthode M3, l'absence d'hystérésis réduit la variabilité de la relation hauteur-débit obtenue.

En outre, il faut obligatoirement cerner le fonctionnement hydrodynamique (champ de vitesse) du site de mesure de vitesse si l'on souhaite utiliser le modèle M3. En effet, un capteur de vitesse mal placé (zone de recirculation, zone de stagnation, dissymétrie du champ de vitesse, ...) ne fournit pas de vitesses moyennes fiables, par conséquent le calcul de débit sera erroné (même si le capteur de hauteur est bien positionné). Ainsi, pour les méthodes M2, M3 et M4, l'emplacement des capteurs hauteur/vitesse doit être optimisé pour s'affranchir de l'influence des singularités voisines. Plusieurs études ont été menées en France (par exemple récemment dans le cadre du projet ANR Ecotech MENTOR – voir dossier « Mentor » dans TSM, (1-2), 2017 ou le projet national COACHS :

https://www.researchgate.net/publication/283507563_Final_report_of_the_COACHS_project_in_French

sur la méthodologie de conception et de qualification des sites de mesure de hauteur et de vitesse.

Concernant la méthode M1, dans le cas où les conditions hydrauliques lors de l'installation changent, la vérification d'une loi d'étalonnage à partir de traçage par exemple ou d'un couple de valeurs hauteur/vitesse est vivement conseillée.

6. REGLAGE

Voir fiches techniques " mesurage de la hauteur " (FT1 et FT2) et "Mesurage de la vitesse " (FT4 et FT5).

7. Bibliographie

Bertand-Krajewski J.-L., Laplace D., Joannis C., Chebbo G. (2000). Mesures en hydrologie urbaine et assainissement. Edition Tec&Doc.

A. El Bahlouli, E. Mignot, F. Denis, N. Rivière, A. Dalmon, G. Lipeme Kouyi, C. Joannis et F. Larrarte (2017). Fiabilité de la mesure de vitesse débitante à l'aval d'une singularité en réseau d'assainissement. Techniques Sciences et Méthodes, (1-2), 17-65 : « Dossier : MENTOR : Méthodologie et outils opérationnels de conception et de qualification de sites de mesures en réseau d'assainissement ».

8. Contact :

Gislain Lipeme Kouyi, Maître de conférences INSA de Lyon, DEEP.

Email : gislain.lipeme-kouyi[at]insa-lyon.fr – 04 72 43 82 77