

Figure 1 : débit  $Q$  et intervalle de confiance à 95 %

La démarche est actuellement utilisée dans le cadre de l'OTHU et du projet de recherche RGCU « Modèles opérationnels de calcul des flux polluants en réseau d'assainissement par temps de pluie » conduit en collaboration avec le CEREVE et l'Université de Montpellier II.

Elle peut naturellement être appliquée par tout utilisateur de modèles pluie-débit.

### ■ Développements futurs :

Les développements futurs consisteront à poursuivre le travail engagé sur les modèles pluie-débit et à aborder les modèles de calculs des flux polluants par temps de pluie en traitant aussi l'aspect qualitatif. Un document décrivant la démarche utilisée sera rédigé afin que la méthode puisse être appliquée par d'autres utilisateurs de modèles.

### ■ Documents publiés :

- Bertrand-Krajewski J.-L., Bardin J.-P. (2000). Estimation des incertitudes de mesure : application au mesurage des débits et des charges polluantes. Actes de la conférence SHF - GRAIE "Autosurveillance et mesures en réseau d'assainissement", Lyon (France), 5-6 décembre 2000, 87-94.
- Bertrand-Krajewski J.-L., Bardin J.-P. (2001). Estimation des incertitudes de mesure sur les débits et les charges polluantes en réseau d'assainissement : application au cas d'un bassin de retenue-décantation en réseau séparatif pluvial. La Houille Blanche, 6/7, 99-108. ISSN 0018-6368.
- Bertrand-Krajewski J.-L., Bardin J.-P. (2002). Evaluation of uncertainties in urban hydrology : application to volumes and pollutant loads in a storage and settling tank. Water Science and Technology, 45(4-5), 437-444. ISSN 0273-1223.
- Bertrand-Krajewski J.-L., Bardin J.-P., Mourad M., Beranger Y. (2002). Accounting for sensor calibration, data validation, and measurement and sampling uncertainties in monitoring of urban drainage systems. Proceedings of the International Conference on Automation in Water Quality Monitoring "AutMoNet 2002", Vienna (Austria), 21-22 May 2002, 8 p.

### Résumé:

En hydrologie urbaine, il est indispensable de connaître l'incertitude de mesure, qui permet d'évaluer l'intervalle dans lequel la valeur vraie d'une grandeur est contenue. La communication présente une méthode de détermination de l'incertitude du débit mesuré avec un vélocimètre à effet Doppler et un limnimètre placés dans un écoulement à surface libre, puis propose une technique de calage d'un modèle pluie-débit par comparaison entre les courbes enveloppe des débits mesurés et calculés.

### ■ Cadre Général et contexte

Cette étude s'inscrit dans une recherche plus générale visant à connaître les différents flux hydrauliques (débits, volumes) et polluants (MES, polluants carbonés (DCO), nutriments (N, P), micropolluants (métaux lourds, organiques, HAP, PCB, phénols, etc.), produits en temps sec et en temps de pluie par les systèmes d'assainissement des zones urbanisées.

Ces flux doivent être connus à différentes échelles de temps et d'espace, et en fonction de l'urbanisation et de l'occupation des sols, afin de pouvoir évaluer leurs impacts sur les milieux naturels aquatiques récepteurs, superficiels et souterrains.

Les variations temporelles notamment constituent un paramètre important (de quelques minutes à plusieurs heures, voire plus). A partir de ces observations, il s'agit de construire des modèles prédictifs capables de relier les flux produits et leurs variations aux conditions climatiques (saison, pluviométrie, temps sec antérieur, etc.), aux conditions locales de l'urbanisation (nature des sols, pente, trafic, activités, mode d'occupation des sols, type d'urbanisme, etc.), et à la nature et aux conditions d'exploitation du système d'assainissement (type de réseau, structure, état, dépôts éventuels, fréquence de curage, etc.).

La méthodologie utilisée consiste à équiper des bassins versants de quelques centaines d'hectares représentatifs des différents types de relief et de formes urbaines rencontrés sur le territoire de la Communauté Urbaine de Lyon.

Ces bassins versants sont instrumentés de façon permanente afin de suivre en continu et/ou sur échantillons les débits et les flux polluants, en mettant en place une redondance des appareils de mesure sur les paramètres les plus critiques (mesurages en continu des hauteurs d'eau, des vitesses d'écoulement et de la turbidité).

Quatre bassins versants sont instrumentés : Chassieu - Django Reinhardt, Ecully, Lyon centre et Grézieu la Varenne. Des données provenant d'autres sites voisins sur le territoire du Grand Lyon (équipés dans le cadre de l'autosurveillance) seront également exploitées pour certaines des actions de recherche. Ce travail est conduit en collaboration avec d'autres équipes disposant de dispositifs expérimentaux de même nature (notamment le CEREVE qui étudie les données du bassin parisien du Marais).

A partir des observations effectuées sur ces quatre sites expérimentaux, il s'agit de développer des modèles permettant de généraliser les résultats à différentes échelles spatiales allant jusqu'à celle de l'agglomération.

### ■ Contacts

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI,  
 INSA de Lyon, URGC Hydrologie Urbaine, 34 avenue des Arts, 69621 VILLEURBANNE CEDEX.  
 Tel : 04 72 43 81 80, Fax : 04 72 43 85 21, E-mail : jlbk@urgc-hu.insa-lyon.fr

## ■ Objectifs spécifiques de l'étude :

En toute rigueur, un modèle doit être calé à partir de résultats de mesure obtenus lors d'une série d'événements, puis validé sur d'autres résultats de mesure correspondant à d'autres événements. Le résultat de mesure est censé être une image de la réalité que le modèle va essayer de reproduire.

Il peut être tentant de vouloir trop affiner le calage des modèles (chercher les valeurs les plus adaptées des paramètres) ou d'utiliser des modèles avec de nombreux paramètres pour obtenir par la modélisation des résultats les plus proches possible des observations. Malheureusement, ces pratiques reposent sur l'idée, totalement illusoire, que la valeur mesurée du débit est la valeur vraie. Il est absolument indispensable de prendre en compte, lors du calage d'un modèle, les incertitudes de mesure, a fortiori lorsque ces données sont en nombre insuffisant ou de mauvaise qualité. Pour mémoire, la notion d'incertitude permet de caractériser dans quel intervalle la valeur vraie d'une grandeur est contenue.

L'objectif spécifique de l'étude décrite dans cette fiche consiste à mettre au point une méthode permettant de tenir compte des incertitudes des données expérimentales mesurées ou déduites de résultats de mesure pour le calage d'un modèle pluie – débit.

On présente ici l'évaluation de l'incertitude sur un calcul de débit dans un écoulement à surface libre à partir des données obtenues par un vélocimètre à effet Doppler associé à un limnimètre. Ensuite, on applique la même démarche aux paramètres et variables d'entrée du modèle (intensité de la pluie, surface du bassin versant, coefficient de ruissellement, etc.), ce qui permet de calculer une incertitude sur le débit calculé par le modèle.

## ■ Les avancées de l'OTHU :

Le recours aux modèles est maintenant systématique en hydrologie urbaine. Trois points ont été particulièrement étudiés qui devraient attirer l'attention des utilisateurs effectifs ou potentiels de modèles pluie – débit :

- l'évaluation des différentes incertitudes métrologiques (liées au capteur, à la chaîne de mesure et aux conditions d'échantillonnage) ; l'évaluation des incertitudes porte à la fois sur les données d'entrée et de sortie des modèles ;
- l'impact de ces incertitudes sur le calage des modèles hydrologiques ;
- l'évaluation de l'incidence de ces incertitudes sur la connaissance des volumes et des flux rejetés par une agglomération.

Pour rationaliser le calage de modèles pluie – débit sur les données expérimentales, l'OTHU travaille à la mise au point d'une méthodologie et d'un logiciel spécifique (DAVE) permettant la pré-validation automatique des données expérimentales (voir fiche spécifique). En complément, il développe des méthodes et des procédures spécifiques permettant l'évaluation rigoureuse des incertitudes de mesure sur les données validées, en prenant en compte notamment les résultats des étalonnages et l'auto-corrélation des valeurs au sein des séries chronologiques.

## ■ Le cadre d'utilisation :

Les deux exemples présentés ci-après illustrent des possibilités d'utilisation:

**A)** Exemple d'évaluation de l'incertitude sur un calcul de débit à partir d'un vélocimètre et d'un limnimètre en écoulement à surface libre.

La méthode utilisée consiste à procéder aux étapes suivantes :

1. Etalonnage systématique des capteurs, permettant d'évaluer l'incertitude du capteur lui-même en fonction des gammes de hauteur et de vitesses rencontrées.
2. Prise en compte des conditions de mesure in-situ pour évaluer l'incertitude de mesure sur site. Cette évaluation est plus difficile, en particulier pour les écoulements de temps de pluie aux différentes gammes de débits et compte tenu des phénomènes locaux (remous, ressaut, influence aval, régime d'écoulements, etc.).
3. Dans le cas d'un mesurage de débit au moyen d'un limnimètre et d'un vélocimètre Doppler, on obtient une valeur de hauteur d'eau  $h$  et une vitesse moyenne d'écoulement  $U$ , chacune étant affectée d'une incertitude.
4. La hauteur d'eau  $h$  permet de calculer la section mouillée  $S$ , dont l'incertitude dépend d'une part de l'incertitude sur  $h$  et d'autre part de l'incertitude sur la géométrie du collecteur ou de l'incertitude de la relation  $S = f(h)$ .
5. Le débit instantané  $Q = SU$  est ensuite calculé, ainsi que son incertitude qui dépend des incertitudes sur  $h$ ,  $U$  et  $S$ .

6. On trace ensuite l'hydrogramme  $Q(t)$  et les courbes enveloppe d'incertitude correspondant à un intervalle de confiance de 95 % (voir exemple Figure 1). Pour le calage d'un modèle pluie-débit, on pourra considérer que le modèle est satisfaisant si l'hydrogramme calculé est compris entre les deux courbes enveloppe des valeurs de débits mesurées.

7. A partir de l'hydrogramme  $Q(t)$ , et en supposant que l'on a  $N$  valeurs de débit  $Q$  avec un pas de temps constant  $\Delta t$  entre deux mesurages successifs de hauteur et de vitesse, on peut calculer le volume total

$$\text{écoulé } V = \Delta t \sum_{i=1}^N Q_i$$

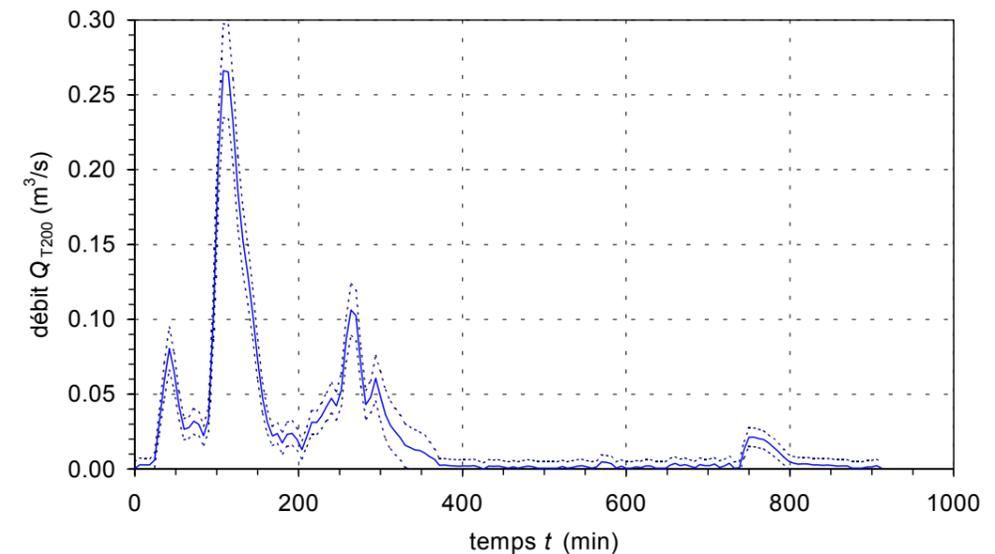


Figure 1 : débit  $Q$  et intervalle de confiance à 95 %

L'évaluation de l'incertitude sur le volume total  $V$  est plus complexe car elle dépend de la corrélation qui existe entre deux valeurs instantanées successives de débit  $Q_i$  et  $Q_{i+1}$ . Or cette corrélation dépend elle-même de l'intervalle de temps qui s'écoule entre ces deux mesurages successifs. Plus l'intervalle de temps entre deux mesurages augmente, plus les valeurs deviennent physiquement indépendantes.

Par ailleurs, il est nécessaire que cet intervalle de temps soit suffisamment court pour être représentatif des changements éventuels de hauteur et de vitesse entre deux mesurages consécutifs. L'évaluation de cette autocorrélation est réalisée grâce au calcul d'un variogramme, qui permet de connaître la durée pendant laquelle les données de débit sont autocorrélées. La valeur de l'incertitude ainsi obtenue est comprise entre un minorant qui néglige toute autocorrélation (on suppose que toutes les valeurs du débit sont totalement indépendantes les unes des autres) et un majorant qui maximise la corrélation (on suppose que toutes les valeurs du débit sont toutes totalement liées entre elles).

L'ensemble de la méthode exposée ci-dessus est automatisable et peut donc être appliqué de manière systématique sur toute série de données de débit.

**B)** Estimation des incertitudes sur les résultats du modèle pluie-débit due aux incertitudes sur les paramètres et les variables d'entrée.

Dans le cas simple d'un modèle du type réservoir linéaire, et si on ne tient pas compte des pertes avant ruissellement, l'incertitude sur le débit calculé  $Q_c$  dépend des incertitudes sur l'intensité de la pluie  $i(t)$ , sur la surface du bassin versant  $A$ , sur le coefficient de ruissellement  $C$  et la valeur du lag-time  $K$ . En évaluant chacune de ces composantes, on peut alors calculer l'hydrogramme  $Q_c(t)$  et ses courbes enveloppe.

Lors du calage du modèle, on pourra considérer que le calage est satisfaisant dès lors que les deux fuseaux représentant le débit mesuré  $Q(t)$  et le débit calculé  $Q_c(t)$  ne sont pas disjoints. Un exemple de résultat est présenté Figure 2.