

Can We Ignore Small “Nearly Under-the-Radar” Volumes When Monitoring Combined Sewer Overflows?

Peut-on ignorer les petits volumes « vus, mais mal connus » lors du suivi en continu des déversoirs d’orage ?

Santiago Sandoval¹, Jean-Philippe Manlhiot¹, Honorine Gillet², Sheila Aboulouard², Emilie Vaury¹

1 : PROLOG INGENIERIE -SAGEE

2 : CD94-DAQUAMA-DAE

sandoval@prolog-ingenierie.fr

RÉSUMÉ

La réduction des volumes déversés par les Déversoirs d’Orage (DO) conduit progressivement à des conditions hydrauliques où les capteurs de hauteur d’eau et de vitesse opèrent à proximité de leurs limites de détection, rendant les mesures de volumes déversés particulièrement incertaines. Cette étude propose une méthode pour caractériser la limite de quantification des volumes déversés (LOQ_v), définie comme une zone géométrique dans le plan *volume déversé – durée de déversement*, à partir des données historiques. Cette zone, appelée « $< LOQ_v$ », regroupe les volumes détectés mais non quantifiés en raison d’une incertitude relative excessive. Trois stratégies d’imputation sont ensuite comparées afin de traiter ces volumes non quantifiés : une mise à zéro, une imputation géométrique (centroïde du polygone $< LOQ_v$) et une imputation statistique (loi bivariable log-normale). L’application sur six DO instrumentés montre que la stratégie statistique fournit les estimations les plus cohérentes des volumes faibles. Ces résultats soulignent l’importance d’un traitement raisonné des volumes $< LOQ_v$, afin d’améliorer la fiabilité des bilans de déversement et d’assurer la comparabilité intersites.

ABSTRACT

The reduction of overflow volumes from Combined Sewer Overflows (CSOs) progressively leads to hydraulic conditions where water level and velocity sensors operate near their detection limits, making overflow volume measurements particularly uncertain. This study proposes a method to characterize the Limit of Quantification (LOQ) for overflow volumes (LOQ_v), defined as a geometric zone in the overflow volume–duration space, derived from historical data. This zone, referred to as “ $< LOQ_v$,” includes volumes that are detected but not quantified due to excessive relative uncertainty. Three imputation strategies are then compared to handle these unquantified volumes: a zero-replacement approach, a geometric imputation based on the centroid of the “ $< LOQ_v$ ” polygon, and a statistical imputation using a bivariate log-normal distribution. Application to six instrumented CSOs shows that the statistical approach provides the most consistent estimates for low volumes. These results highlight the importance of a reasoned treatment of “ $< LOQ_v$ ” volumes to improve the reliability of overflow balances and ensure inter-site comparability.

MOTS CLÉS

Analyses *data-driven*, données « censurées à gauche », propagation de l’incertitude, suivi en continu

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les démarches d'amélioration du fonctionnement des réseaux d'assainissement visent fréquemment à réduire les volumes de déversement vers le milieu naturel issus des Déversoirs d'Orage (DO). Dans le cadre réglementaire de l'autosurveillance, les ouvrages situés dans des réseaux transportant une charge supérieure à 600 kg DBO₅/j doivent être instrumentés en continu (MEDDE, 2015), ce qui permet en outre de quantifier les bénéfices concrets des actions mises en œuvre. Cependant, cette réussite dans la réduction progressive des volumes de déversement, induite par ces mesures techniques et réglementaires d'amélioration du réseau, peut amener à des conditions de mesure différentes de celles prévues pour les dispositifs métrologiques couramment déployés dans ce contexte. En effet, le fonctionnement de capteurs de hauteur d'eau et/ou de vitesse dans des collecteurs de grande taille, lorsqu'ils opèrent à proximité de leurs limites de quantification, rend les mesures de débits instantanés et, en conséquence, des volumes déversés particulièrement incertaines.

Cette étude propose donc une méthode visant à caractériser la limite de quantification des volumes déversés (LOQ_v), définie comme une zone géométrique dans l'espace *volume déversé – durée de déversement*. Ce polygone, appelé zone « < LOQ_v », regroupe l'ensemble historique des volumes *détectés mais non quantifiés*, en raison de leur forte incertitude (p.e. incertitude > 35 %, selon la norme ISO 11843). Cette représentation permet enfin de classer chaque nouveau volume déversé comme « fiable » ou « < LOQ_v », sans faire appel explicitement à ses incertitudes sur les mesures instantanées.

Dans un second temps, différentes approches de traitement des volumes déversés qualifiés « < LOQ_v » sont proposées. Plusieurs stratégies d'imputation sont développées et comparées, en évaluant leurs effets sur les volumes annuels totaux déversés pour différents DO. Cette étape vise à démontrer l'intérêt d'une imputation raisonnée des volumes « < LOQ_v », fondée sur des critères métrologiques et/ou statistiques, par opposition par exemple à une mise à zéro systématique.

La méthodologie proposée a été testée sur six DO représentatifs de la diversité des dispositifs d'instrumentation existants dans le réseau du Département du Val-de-Marne (Île-de-France, France).

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 Dispositifs expérimentaux

La méthodologie proposée a été testée sur six Déversoirs d'Orage (DO) instrumentés. Pour ce faire, cette étude s'est appuyée sur une base de données à haute résolution temporelle (5 min), collectée entre 2019 et 2025, et composée de chroniques de mesure issues de l'ensemble des capteurs installés sur chaque site. Les capteurs sont maintenus mensuellement. L'instrumentation de chacun des DO étudiés est présentée ci-dessous :

- **DO Rue du Bac** : déversement au-dessus de poutrelles dans un collecteur ovoïde (T230/130). Le calcul du débit déversé s'effectue à l'aide d'une loi hauteur- débit tenant compte des influences aval sur le seuil de déversement. Le point de mesure est équipé d'une sonde ultrasons (US) et d'un capteur piézométrique.
- **DO « A »** : mesure de débit dans un collecteur de diamètre 2.75 m, avec des capteurs de hauteur piézométrique, vitesse Doppler et 3 cordes de vitesse.
- **DO Cathalo** : débit déversé calculé par soustraction de 2 points de mesure. Sections ovoïdales de hauteur 1.76m et 1.8m, avec des capteurs de hauteur piézométrique, vitesse Doppler et au moins 3 cordes de vitesse.
- **DO Bicêtre de Gaulle** : débit déversé calculé à partir d'une loi hauteur-débit obtenue à l'aide d'une modélisation 3D. Hauteur d'eau mesurée par une sonde US et capteur piézométrique.
- **DO « B »** : mesure de débit déversé d'un collecteur de diamètre 2.75 m, avec des capteurs de hauteur piézométriques et un Doppler de vitesse.
- **DO Carnot** : débit déversé calculé à partir d'une loi hauteur-débit obtenue à l'aide d'une modélisation 3D, avec potentielle influence aval. Hauteur d'eau mesurée par une sonde US et capteur piézométrique.

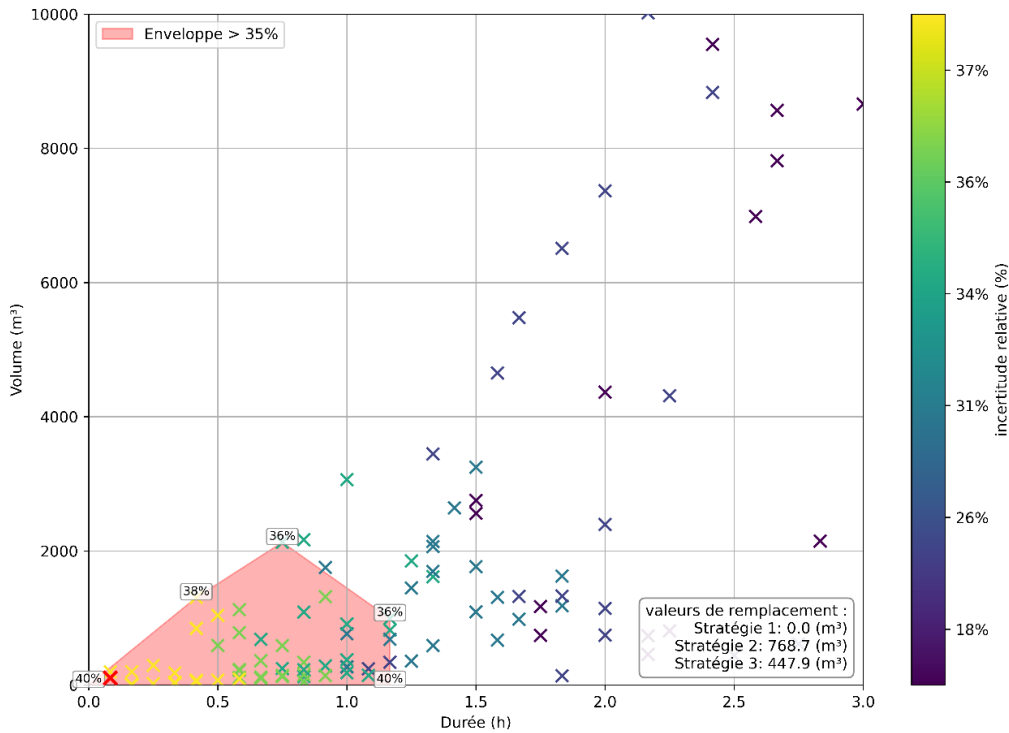


Figure 1. Représentation géométrique de la zone « < LOQ_V » (en rose) pour le DO de la Rue du Bac

L'identification des volumes déversés *détectés mais non quantifiés* – zone « < LOQ_V » - permet d'implémenter les trois stratégies de remplacement et évaluer leur impact sur les volumes totaux annuels 2019-2025 (Figure 2, DO de la Rue du Bac).

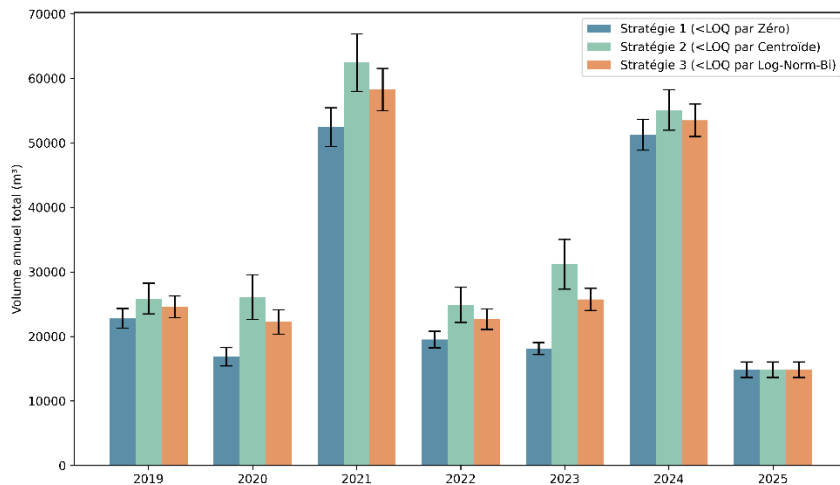


Figure 2. Bilans annuels pour le DO Rue du Bac, suivant différentes stratégies de remplacement des valeurs « < LOQ_V »

Faute de mesures de référence fiables dans la zone « < LOQ_V », la comparaison des stratégies proposées repose sur leur cohérence et leur applicabilité. Par exemple, la Figure 2 montre, pour le DO de la Rue du Bac, que la stratégie 1 fournit souvent des volumes déversés annuels inférieurs à ceux obtenus avec les stratégies 2 et 3, illustrant l'importance des déversements « < LOQ_V » dont la nullité n'est pas confirmée. En effet, les volumes imputés non nuls peuvent peser de manière non négligeable sur certains bilans annuels, atteignant e.g. 3- 4 % du vol. total au DO Cathalo et 11,7-18,5 % au DO Rue du Bac, selon la stratégie d'imputation (stratégie 2 ou 3).

De plus, le nombre de déversements « < LOQ_v » demeure élevé dans l'ensemble des sites, allant de 10 % du nombre total de déversements pour le DO Carnot, 51 % pour le DO Rue du Bac, jusqu'à 78 % pour le DO Cathalo. Ces résultats soulignent l'importance du choix de la stratégie d'imputation appliquée aux volumes « < LOQ_v ».

La stratégie 2 (imputation par centroïde) repose sur une approche géométrique simple, mais sensible aux valeurs aberrantes, nécessitant un filtrage pour éviter la surestimation des volumes à imputer. Elle suppose en outre une distribution uniforme des valeurs sous le « < LOQ_v », hypothèse difficile à vérifier. En revanche, la stratégie 3 (imputation bivariée log-normale) s'appuie sur une modélisation probabiliste du couple durée–volume, intégrant leur corrélation et produisant des estimations plus robustes et cohérentes (voir méthode des données censurées à gauche, Helsel, 2012). Ainsi, la stratégie 3 est préconisée dans le cadre de cette étude.

4 CONCLUSIONS

Cette étude propose une méthode *data-driven* pour caractériser la limite de quantification des volumes déversés (LOQ_v) des DO et évalue différentes stratégies de traitement de ces volumes faibles. La représentation géométrique du domaine des volumes non quantifiables permet de distinguer les déversements « fiables » des « < LOQ_v ». Les résultats obtenus sur six DO instrumentés montrent que les volumes situés sous cette limite métrologique peuvent constituer une part importante des déversements, soulignant la nécessité d'un traitement adapté. Parmi les stratégies de traitement testées, une approche bivariée log-normale (stratégie 3) s'avère la plus cohérente, intégrant la corrélation entre durée et volume, et fournissant une estimation robuste des déversements *détectés mais non quantifiés*.

BIBLIOGRAPHIE

- Barber, C. B., Dobkin, D. P., & Huhdanpaa, H. (1996). *The Quickhull algorithm for convex hulls*. ACM Transactions on Mathematical Software, 22(4), 469–483. <https://doi.org/10.1145/235815.235821>
- 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.
- Helsel, D. R. (2012). *Statistics for censored environmental data using Minitab and R* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- International Organization for Standardization. (1997). *ISO 11843-1: Capability of detection — Part 1: Terms and definitions*. ISO.
- Mahalanobis, P. C. (1936). *On the generalized distance in statistics*. Proceedings of the National Institute of Sciences of India, 2(1), 49–55.
- MEDDE. (2015). *Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif*. JORF. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000030966816>
- SciPy Developers. (2024). *SciPy v1.12.0 reference guide: scipy.spatial.ConvexHull*.