



HAL
open science

Pourquoi le suivi métrologique de long terme de la qualité des rejets urbains par temps de pluie est-il nécessaire ?

Jean-Luc Bertrand-Krajewski

► To cite this version:

Jean-Luc Bertrand-Krajewski. Pourquoi le suivi métrologique de long terme de la qualité des rejets urbains par temps de pluie est-il nécessaire ?. GRAIE. Gestion des eaux pluviales en ville – 20 ans de recherche au service de l'action, pp.42-45, 2022, 978-2-917199-10-7. hal-04283420

HAL Id: hal-04283420

<https://hal.science/hal-04283420v1>

Submitted on 15 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Pourquoi le suivi métrologique de long terme de la qualité des rejets urbains par temps de pluie est-il nécessaire ?

Jean-Luc Bertrand-Krajewski, INSA Lyon

En milieu urbanisé, les rejets des réseaux séparatifs d'eau pluviale et des déversoirs des réseaux unitaires sont une source de contamination importante des eaux de surface. De nombreux exploitants de réseau d'assainissement et gestionnaires de milieux naturels réalisent des campagnes de mesures afin de quantifier et qualifier ces rejets polluants. Mais, contrairement aux pratiques bien ancrées, le mesurage de quelques événements pluvieux pris au hasard ne suffit pas pour caractériser de manière fiable et représentative les flux polluants, et peut même aboutir à des conclusions biaisées.

Les faits

Les concentrations et flux de polluants par temps de pluie sont très variables et imprévisibles

La qualité des rejets urbains de temps de pluie, c'est-à-dire les concentrations et flux de polluants qu'ils transportent, est caractérisée par sa très grande variabilité, à la fois d'un événement pluvieux à un autre, et au sein même des événements pluvieux. Ils se différencient ainsi des eaux usées domestiques qui, dans la plupart des cas, présentent une régularité marquée des débits et des concentrations à l'échelle journalière.

En effet, d'un événement pluvieux à l'autre, les propriétés de la pluie (durée, intensité, période sèche précédente,

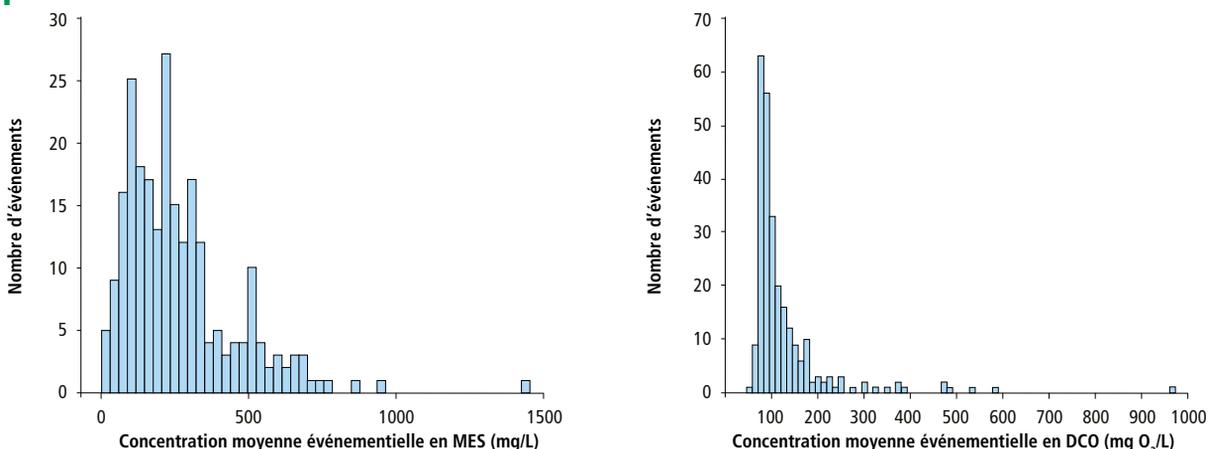
historique des événements antérieurs) varient de façon aléatoire. Le transport des polluants par les gouttes de pluie et le lavage de l'atmosphère lié à la chute des gouttes sont des facteurs également très variables. De même, l'accumulation et la disponibilité des polluants sur les surfaces du bassin versant et dans les collecteurs et ouvrages des réseaux d'assainissement au moment où la pluie survient présentent une forte variabilité. Il en résulte nécessairement que les concentrations moyennes événementielles en polluants et les flux correspondants sont, dans une large mesure, imprévisibles d'une pluie à l'autre et très fluctuants.

La figure 1 illustre les concentrations moyennes événementielles (CME) mesurées sur deux bassins versants de l'OTHU pour deux polluants différents (MES et DCO). Sur le bassin versant unitaire d'Ecully, les CME en MES mesurées sur 239 événements pluvieux varient de 13 à 1 433 mg/L, avec une moyenne pondérée par les volumes écoulés de 168 mg/L. Sur le bassin versant séparatif de Chassieu, les CME en DCO mesurées sur 263 événements varient de 54 à 966 mg O₂/L, avec une moyenne pondérée par les volumes écoulés de 118 mg O₂/L. Dans les deux cas, la distribution des valeurs des CME est très étendue et suit une distribution très approximativement log-normale. Cette forte variabilité des CME est également observée pour les masses événementielles de polluants (Métadier et Bertrand-Krajewski, 2012).

Il n'existe aucune relation entre les caractéristiques d'une pluie et les concentrations moyennes de polluants

Par ailleurs, il n'existe aucune relation entre les caractéristiques des événements pluvieux (par exemple la hauteur précipitée ou le volume ruisselé) et les valeurs des CME. Dans le cas

Figure 1 : Distribution des concentrations moyennes événementielles. À gauche, CME en MES pour 239 événements pluvieux à Ecully (réseau unitaire) ; à droite CME en DCO pour 263 événements à Chassieu (réseau séparatif).



du bassin versant séparatif de Chassieu (figure 2, gauche), des volumes ruisselés d'environ 1000 m³ présentent des CME allant de moins de 20 à plus de 1400 mg/L selon les événements pluvieux. Réciproquement, une CME d'environ 150 mg/L a été observée dans des volumes ruisselés événementiels de quelques milliers de m³ à plus de 40 000 m³. Nul doute que le suivi d'événements plus nombreux sur ce site aurait conduit à des plages de valeurs plus étendues encore.

La relation entre volume ruisselé et masse événementielle est moins dispersée (figure 2, droite) : une masse événementielle de 1400 à 1500 kg peut toutefois être transportée dans des volumes variant de 1 000 à 30 000 m³. Réciproquement, des volumes ruisselés d'environ 29 000 m³ peuvent transporter des masses événementielles de MES de 1 500 à 4 200 kg. Cette moindre dispersion et cette tendance globale à observer

des masses plus élevées lorsque les volumes ruisselés augmentent sont largement dues au fait que la masse est corrélée au volume puisqu'elle est égale à la somme des concentrations instantanées multipliées par les volumes instantanés... Volumes et concentrations sont des variables indépendantes, mais pas les volumes et les masses.

Des analyses des données de l'OTHU et d'autres sites expérimentaux montrent également qu'il n'y a pas de lien par exemple entre la période de retour des événements pluvieux et celle des CME ou des masses événementielles.

Les concentrations de polluants varient significativement durant un événement pluvieux

Au cours des événements pluvieux eux-mêmes, les concentrations en polluants évoluent de manière extrêmement

Figure 2 : Concentrations moyennes événementielles (à gauche) et masses événementielles (à droite) de MES en fonction du volume ruisselé (m³) pour 263 événements à Chassieu.

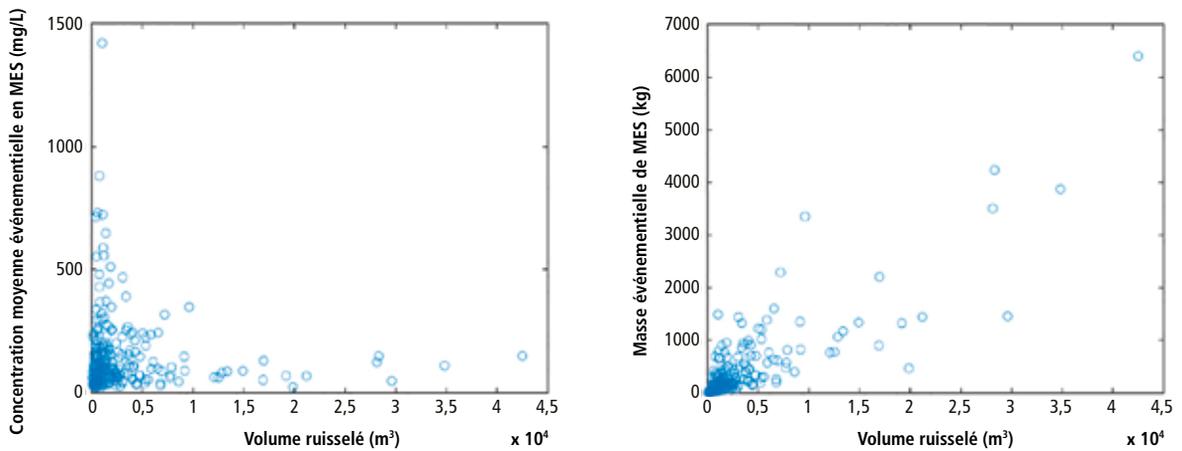
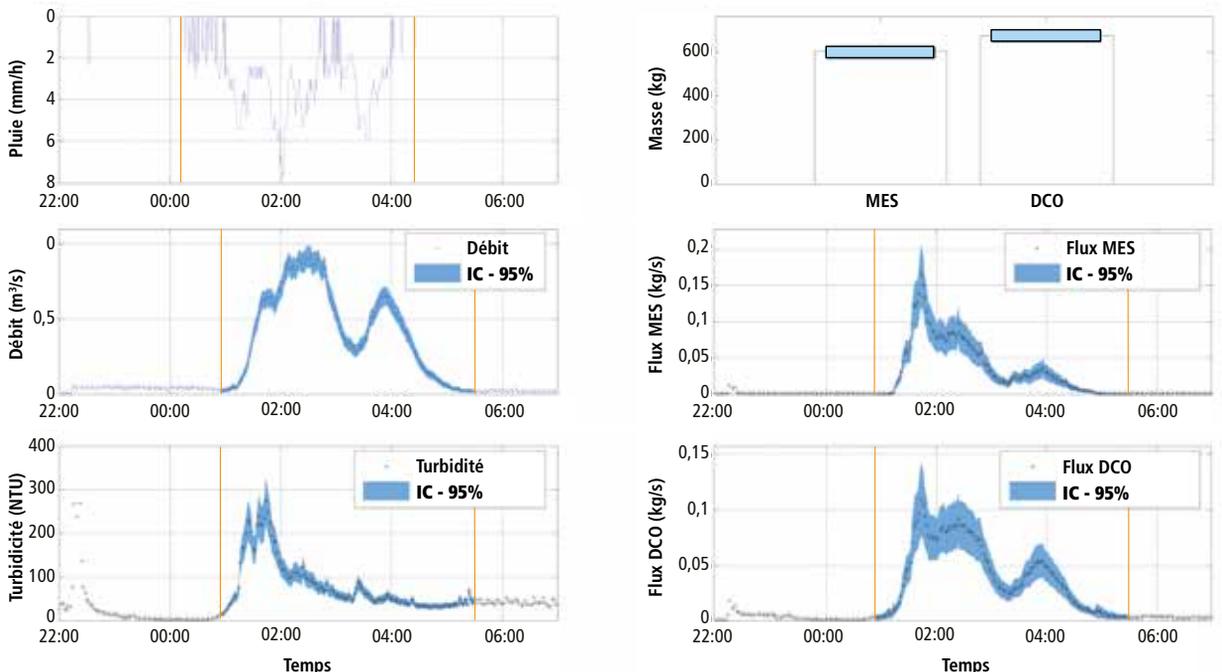


Figure 3 : Évolutions de l'intensité de la pluie, du débit, de la turbidité et des flux massiques en MES et DCO au cours de l'événement pluvieux du 17 mai 2008 à Chassieu. À gauche, de haut en bas : intensité de la pluie, débit à l'exutoire et turbidité ; à droite, de bas en haut : flux massique de DCO, flux massique de MES et masse événementielle de MES et DCO. Les bandes bleues représentent les intervalles de couverture à 95 % des incertitudes sur les valeurs mesurées et calculées des débits, des concentrations, des flux et des masses.



importante, à des échelles de temps de quelques minutes, souvent avec un ou plusieurs pics, et des ordres de grandeur très variables. La figure 3 en donne un exemple pour l'événement du 17 mai 2008 à Chassieu. La turbidité, mesurée au pas de temps de 2 minutes, est proportionnelle à la concentration en MES (en première approximation) et varie de quelques NTU (Nephelometric Turbidity Unit) à 300 NTU au cours de l'événement. La variabilité des débits et des concentrations au cours des événements pluvieux peut être représentée de manière synthétique par les courbes masses-volumes (courbes MV). Les courbes MV permettent de quantifier le phénomène de premier flot: elles montrent que ce phénomène n'est pas le cas le plus fréquent, et de loin (voir Question 5.2: *Est-il judicieux de baser une stratégie de traitement des RUTP sur le principe du premier flot?*).

Les conséquences pratiques en métrologie

Un très grand nombre de mesurages est nécessaire

Lorsque qu'un processus ou une grandeur est très variable et aléatoire, il faut procéder à un grand nombre de mesurages pour estimer correctement sa plage de variation et un ordre de grandeur fiable de sa valeur moyenne.

Reprenons l'exemple de Chassieu et des concentrations moyennes événementielles en DCO. La CME moyenne pondérée par les volumes est de 118 mg O₂/L, à partir des valeurs mesurées sur 263 événements. On suppose pour la suite que cette valeur est bien connue (alors qu'elle pourrait évoluer si on mesurait davantage d'événements). Quelle serait la valeur de la CME moyenne si on mesurait moins de 263 événements? Par exemple, si on mesurait seulement 5 événements, choisis au hasard parmi les 263 disponibles? Si on simule dix millions de tirages différents de 5 événements parmi les 263, la CME moyenne calculée varie de 66 à 652 mg O₂/L selon le tirage. Pour des tirages de 50 événements parmi les 263, la CME moyenne calculée varie de 87 à 186 mg O₂/L.

Ces résultats sont généralisés sur la figure 4 qui montre la plage dans laquelle varie l'estimation de la CME moyenne en fonction du nombre n d'événements pluvieux mesurés. Si par exemple on veut connaître la CME moyenne à plus ou moins 20% près (c'est-à-dire entre 94 et 142 mg O₂/L), la figure 4 indique qu'il faudrait mesurer entre 80 et 125 événements sur 263. En effet, la distribution n'est pas symétrique: pour un nombre n d'événements pluvieux mesurés donné, la probabilité de surestimer la CME moyenne est plus élevée que de la sous-estimer.

Mesurer les flux polluants sur un petit nombre d'événements pluvieux, par exemple 3 à 5, n'apportera pas une information fiable et exploitable, compte tenu de l'énorme variabilité des rejets de temps de pluie (en volume, en concentration et en masse rejetée). C'est donc assurément prendre le risque de croire (puisque qu'on n'aura pas d'autre information, on remplacera une information incomplète par une croyance) que tous les événements pluvieux seront comme ces trois à cinq-là qui auront été obtenus par hasard, et dont on n'aura aucune garantie de représentativité.

Privilégier le nombre d'événements mesurés, plutôt qu'une faible incertitude de mesure

D'autres analyses montrent qu'il est largement préférable de mesurer un grand nombre d'événements pluvieux avec des incertitudes métrologiques un peu élevées que de mesurer quelques événements seulement avec des incertitudes métrologiques très faibles. Considérons le cas d'un ouvrage de retenue-décantation des eaux pluviales situé à l'aval d'un bassin versant séparatif, dont on cherche à évaluer la performance d'interception annuelle (voir les détails dans Bertrand-Krajewski *et al.*, 2002). Si le volume écoulé pendant l'événement pluvieux est inférieur au volume de l'ouvrage, le volume écoulé est intégralement intercepté par l'ouvrage et soumis à décantation. Si le volume écoulé est supérieur au volume de l'ouvrage, l'excédent est déversé directement au milieu aquatique. On considère qu'il y a $N = 80$ événements pluvieux par an susceptibles de générer un ruissellement significatif. Parmi ces 80 événements, on admet qu'on

Fig. 4 : Plage de variation de la CME moyenne en DCO estimée en fonction du nombre n d'événements mesurés parmi 263 disponibles, pour le bassin versant séparatif de Chassieu. En bleu : les courbes enveloppes minimum et maximum ; en gris : la moyenne.

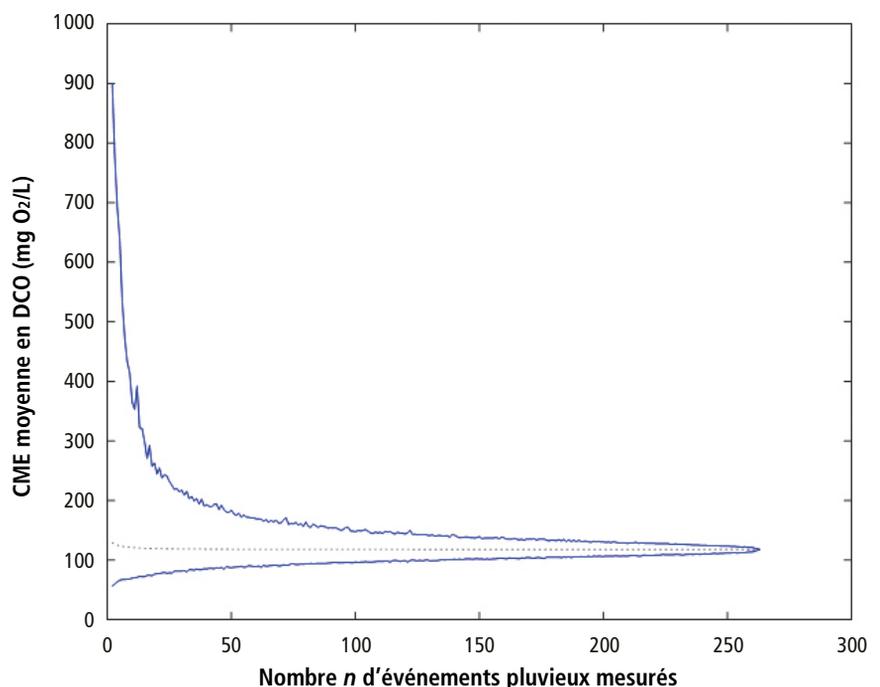
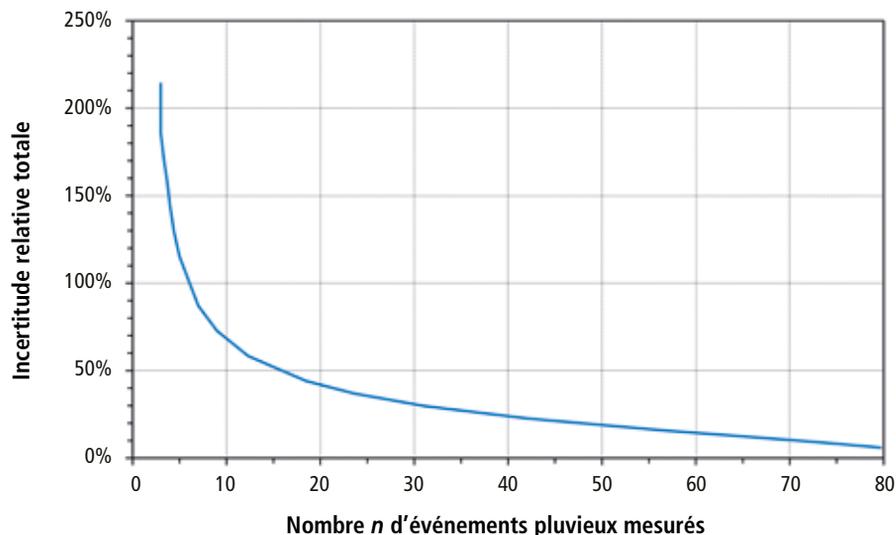


Figure 5 : Incertitude relative totale sur l'efficacité d'interception annuelle d'un ouvrage de retenue-décantation des eaux pluviales en fonction du nombre n d'événements pluvieux mesurés parmi $N = 80$ événements en moyenne par an.



en mesure un nombre $n \leq N$. On s'intéresse à l'efficacité d'interception, c'est-à-dire au rapport entre la masse de polluants entrant dans l'ouvrage et la masse de polluants rejetée à l'aval du bassin versant, à l'échelle annuelle pour les 80 événements pluvieux. En combinant l'analyse de données expérimentales sur différents bassins versants réels et des simulations numériques, et en tenant compte d'une part des incertitudes météorologiques (mesurage des débits, des concentrations, nombre de prélèvements effectués et couverture des événements échantillonnés) et d'autre part des incertitudes de représentativité des événements échantillonnés, on peut estimer l'incertitude avec laquelle on connaît l'efficacité d'interception annuelle de l'ouvrage en fonction du nombre n d'événements échantillonnés. Les résultats sont présentés sur la figure 5. Si on ne mesure que 5 événements par an, le rendement annuel d'interception de l'ouvrage sera connu avec une incertitude de 115 %. Et si on ne mesure que 3 événements, l'incertitude atteint 180 %... Autant dire qu'on ne sait vraiment pas quelle est l'efficacité de l'ouvrage dans de telles conditions. Si on veut connaître son efficacité annuelle à 30 % près par exemple, il faudrait mesurer 30 événements par an sur 80.

Cet exemple montre comment on peut tirer des conclusions totalement incertaines lorsqu'on ne mesure que quelques événements pluvieux. La source majeure d'incertitude est en effet liée au nombre n d'événements pluvieux mesurés, d'autant plus grande que n est petit. Les incertitudes de mesure sur les débits et les concentrations sont moins critiques. Ce problème de sous-représentativité de la diversité des événements pluvieux et de leurs flux polluants existe également pour estimer les flux rejetés ou les impacts sur le milieu aquatique.

En Bref...

Il ne faut pas compter sur le hasard pour obtenir des données fiables et représentatives des flux d'eau et de polluants des rejets urbains par temps de pluie, compte tenu de leur très grande variabilité. Or c'est ce qui se passe lorsque les campagnes de mesure ne comportent que quelques événements pluvieux, dont on tire ensuite des conclusions qui peuvent s'avérer infondées ou biaisées. La précaution de langage indiquant qu'on « choisira quelques événements pluvieux représentatifs » n'y change rien. Il faut donc envisager des campagnes portant sur quelques dizaines d'événements pour bien caractériser un site, ce qui nécessite une planification des moyens techniques et financiers sur le moyen terme. Que ce soit au moyen de prélèvements d'échantillons classiques ou, mieux, de mesurages en continu par capteurs fournissant une information plus riche, l'enjeu majeur est celui du nombre d'événements pluvieux mesurés.

POUR ALLER PLUS LOIN

- **Bertrand-Krajewski J.-L., Barraud S., Bardin J.-P.** (2002). *Uncertainties, performance indicators and decision aid applied to stormwater facilities* - Urban Water, 4(2), 163-179. doi:10.1016/S1462-0758(02)00016-X - lc.cx/bertrand2002
- **Métadier M., Bertrand-Krajewski J.-L.** (2012). *The use of long-term on-line turbidity measurements for the calculation of urban stormwater pollutant concentrations, loads, pollutographs and intra-event fluxes*. Water Research, 46(20), 6836-6856 - doi:10.1016/j.watres.2011.12.030 - lc.cx/metadier2012