



HAL
open science

Mesurage en continu et échantillonnage : pourquoi faut-il aller au-delà de la réglementation ?

Jean-Luc Bertrand-Krajewski

► To cite this version:

Jean-Luc Bertrand-Krajewski. Mesurage en continu et échantillonnage : pourquoi faut-il aller au-delà de la réglementation ?. GRAIE. Gestion des eaux pluviales en ville – 20 ans de recherche au service de l'action, pp.50-55, 2022, 978-2-917199-10-7. hal-04283440

HAL Id: hal-04283440

<https://hal.science/hal-04283440v1>

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.

Mesurage en continu et échantillonnage : pourquoi faut-il aller au-delà de la réglementation ?

Jean-Luc Bertrand-Krajewski, INSA Lyon

Le mesurage en continu des flux polluants par capteurs *in situ* est à ce jour encore peu pratiqué par les collectivités, bureaux d'études et gestionnaires privés. Pourtant, se limiter à l'analyse de quelques échantillons collectés pour quelques événements pluvieux pris au hasard ne peut donner qu'une version partielle et biaisée des flux polluants des rejets urbains par temps de pluie...

Le cinéophile et l'hydrologue : trois histoires courtes et parallèles

PREMIÈRE HISTOIRE

Dominique, un cinéophile en herbe en visite chez son oncle (ou son grand-père, son cousin, un voisin, je ne me souviens plus), souhaite découvrir les films policiers. Son oncle (ou son grand-père, etc.) lui suggère d'aller au cinéma du quartier : « *Il y a toujours une des salles qui en projette à un moment ou un autre, tu vas bien tomber sur quelque chose d'intéressant* ». Et

Dominique, une jeune hydrologue urbaine employée par la ville (ou un bureau d'études, un gestionnaire privé, un organisme public, je ne me souviens plus), souhaite connaître les flux polluants des rejets urbains de temps de pluie. Son directeur lui suggère de mettre en place une campagne de mesure sur un bassin versant proche : « *Il pleut toujours à un*

Photo 1 : Image du film *Le Troisième homme*, de Carol Reed (1948), tourné dans les égouts de Vienne en Autriche.



il ajoute : « Prends l'enveloppe sur le meuble près de la porte, il doit rester quelques euros pour te payer une séance ».

Sur le trajet, Dominique constate que l'enveloppe ne contient plus que quelques pièces de menue monnaie. Au cinéma, le caissier, un peu bizarre, lui propose, en échange de ses quelques pièces, une expérience originale : regarder le film avec un masque spécial. Ce masque spécial lui permettra de voir jusqu'à 24 fois une séquence de quelques secondes au centre de l'écran. Il peut le régler de deux manières : soit il voit une séquence toutes les 5 minutes, soit il voit une séquence chaque fois qu'on entend le thème musical du film dans la bande son. Dominique accepte de tenter l'expérience. Comme il ne connaît pas la bande originale du film qu'il va voir, il choisit l'option d'une courte séquence toutes les 5 minutes et entre dans la salle.

Quand il en ressort deux heures et demie plus tard, il est très perplexe. Le film était plus long que prévu, il ne sait rien de la dernière demi-heure ni de la manière dont se termine l'histoire. De plus, la séquence 8 n'a pas fonctionné et la séquence 12 était floue. Il a bien vu celui qu'il considère comme l'assassin, il a cru voir au moins une victime, mais il n'est absolument pas sûr d'avoir compris le mobile du crime. Des personnages secondaires apparaissaient ou disparaissaient d'une séquence à l'autre sans qu'il sache leurs rôles dans l'affaire. Il a entendu la musique, depuis le générique et tout au long du film, ce qui lui a permis de reconnaître des ambiances différentes, des moments de tension et des moments plus calmes. Mais ça ne l'aide pas vraiment à démêler les fils du scénario. Finalement, bien qu'il ait vu des séquences du film comme prévu, il n'a pas compris grand-chose à l'histoire. Il se demande si tous les films policiers ressemblent à celui-ci (en tout cas à ce qu'il en a vaguement compris) et rentre chez lui très déçu.

Quelque temps plus tard, il entend dire qu'il a eu de la chance, car beaucoup d'autres cinéphiles débutants n'ont souvent vu qu'un tout petit nombre de séquences au cours de la projection. Quelle frustration !

moment ou un autre, vous allez bien trouver un événement pluvieux représentatif ». Et il ajoute : « Il y a un reliquat de budget disponible dans votre service, pour mesurer au moins un événement pluvieux ».

En préparant sa campagne de mesure, Dominique constate que le reliquat est plutôt maigre. Sur site, un exploitant, un peu bizarre, lui dit qu'avec ce montant elle peut faire une expérience originale : collecter des échantillons avec un préleveur. Ce préleveur lui permettra de collecter jusqu'à 24 échantillons instantanés à l'exutoire du bassin versant. Elle peut le régler de deux manières : soit elle prend un échantillon toutes les 5 minutes, soit elle prend un échantillon chaque fois que 200 m³ se sont écoulés. Dominique accepte de tenter l'expérience. Comme elle ne connaît pas les débits qui vont s'écouler, elle choisit l'option d'un échantillon toutes les 5 minutes et lance sa campagne.

Quand l'événement pluvieux se termine au bout de deux heures et demie, elle est très perplexe. La durée de l'événement était plus longue que prévu, elle n'a aucun échantillon pendant la dernière demi-heure et ne pourra pas calculer la masse totale de polluant rejetée. De plus, la pompe n'a pas fonctionné pour l'échantillon 8 et l'échantillon 12 n'a même pas la moitié du volume nécessaire aux analyses. Elle a bien vu qu'il y avait des rejets polluants, probablement au moins une surverse de déversoir d'orage, mais elle n'est absolument pas sûr d'avoir compris comment ces flux ont été générés. Des polluants sont présents dans certains échantillons et pas dans d'autres sans qu'on sache si c'est lié à des remises en suspension sporadiques. Elle dispose des données hydrologiques, le hyétogramme qui génère le ruissellement et l'enregistrement complet du débit à l'exutoire, ce qui lui a permis d'identifier des phases différentes dans l'événement, avec des pics et des interruptions. Mais ça ne l'aide pas vraiment à estimer les concentrations au cours du temps. Finalement, bien qu'elle ait obtenu des échantillons de l'événement comme prévu, elle n'a pas compris grand-chose aux processus en jeu. Elle se demande si tous les événements pluvieux ressemblent à celui-ci (en tout cas à ce qu'elle en a vaguement compris) et rentre au bureau très déçu.

Quelque temps plus tard, elle entend dire qu'elle a eu de la chance, car beaucoup d'autres hydrologues débutants n'obtiennent souvent que quelques échantillons par événement. Quelle frustration !

DEUXIÈME HISTOIRE

Malgré cette première expérience décevante, Dominique a décidé de persévérer. Mais plus question de masque spécial, il veut voir son prochain film policier en continu ! Ayant obtenu de son oncle, non sans mal, l'argent nécessaire pour une nouvelle séance dans un cinéma plus chic, il repart enthousiaste.

Et là, c'est la révélation ! Le son et l'image en continu, à 24 images/seconde, du début à la fin. Enfin il peut tout suivre, tout comprendre, être sûr du coupable, des victimes (il y en avait deux dans ce film), il a une idée claire du mobile. Il lui reste bien quelques hypothèses non vérifiées échafaudées durant la projection, mais elles ne portent que sur des aspects mineurs de l'histoire.

Dominique veut maintenant voir d'autres films policiers du même réalisateur, il sait qu'il en a fait des dizaines. Les revues spécialisées en parlent en effet comme d'un cinéaste prolifique à l'imagination foisonnante, capable de tout réinventer et de surprendre le spectateur à chaque film, même en partant de quelques éléments apparemment assez similaires. Il a hâte de voir toute sa filmographie.

Malgré cette première expérience décevante, Dominique a décidé de persévérer. Mais plus question de préleveur, elle veut mesurer les flux polluants du prochain événement pluvieux en continu ! Ayant obtenu de son directeur, non sans mal, le budget nécessaire pour étalonner et installer des capteurs de qualité des eaux sur un nouveau bassin versant, elle repart enthousiaste. Et là, c'est la révélation ! Les débits et les flux polluants, en continu au pas de la minute, sur toute la durée de l'événement. Enfin elle peut tout suivre, tout analyser, quantifier correctement les rejets polluants, les surverses (il y en a eu deux durant cet événement), elle se fait une idée assez précise des processus en jeu. Elle a estimé ses incertitudes de mesure : un peu élevées parfois, elles ne remettent toutefois pas en cause ses conclusions. Dominique veut maintenant mesurer les flux polluants d'autres événements pluvieux sur son bassin versant, elle sait que les pluies ne manquent pas. La bibliographie spécialisée indique en effet que les flux polluants rejetés varient énormément d'un événement à un autre, de manière très difficilement prévisible, bien que les processus élémentaires en jeu soient toujours les mêmes. Elle est motivée pour augmenter sa base de données.

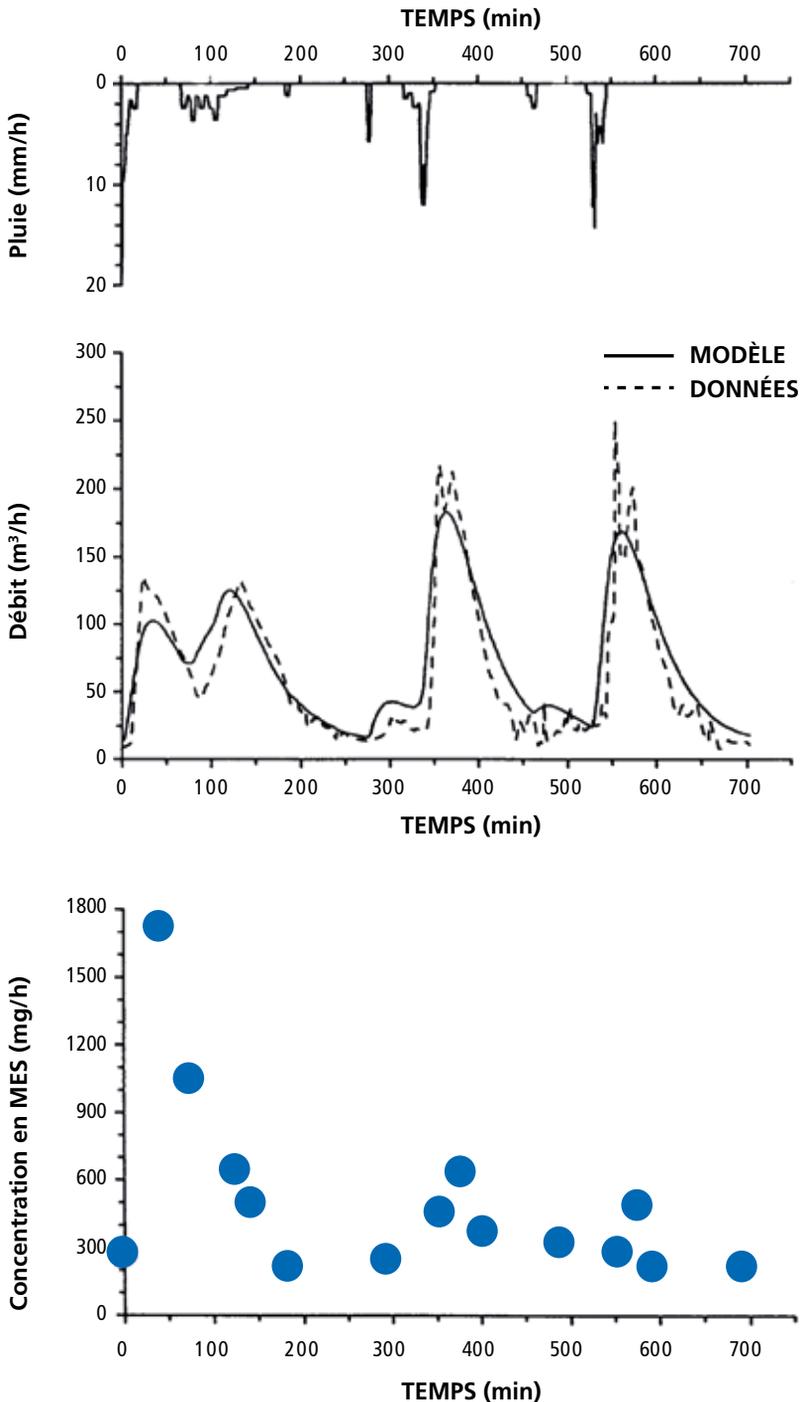
TROISIÈME HISTOIRE

Quelque temps plus tard, Dominique se dit qu'il y a sûrement plein d'autres réalisateurs de talent qu'il ne connaît pas encore. Son cinéma de quartier ne lui suffit plus, il veut en voir plus. Il rêve qu'il se rend au tout nouveau festival international du film policier, dans des salles avec écrans sur 360 degrés, films en 3D, sièges dynamiques, diffusion d'odeurs en lien avec l'histoire. Et là, surprise ! Il assiste à la projection en avant-première mondiale d'une version entièrement restaurée et

Quelque temps plus tard, Dominique se dit qu'il y a des polluants qu'elle n'a pas encore mesurés. Son bassin versant urbain résidentiel ne lui suffit plus, elle veut aussi mesurer les rejets sur d'autres sites.

Elle rêve d'une nouvelle base de données internationale sur les rejets urbains de temps de pluie, sur des centaines de bassins versants aux caractéristiques variées, avec des données en continu pour tous les polluants émergents qui l'intéressent, en phases dis-

Figure 1 : Suivi d'un événement pluvieux par prélèvement d'échantillons : pluie et débit re-calculés au pas de temps de 1 minute, concentrations en MES (points bleus) déterminées sur 15 échantillons collectés proportionnellement au volume écoulé (prélèvements au pas de 50 m³) par un préleveur automatique, Entzheim (Bas-Rhin), événement du 3 mai 1987 (source : adapté de Bertrand-Krajewski, 1992).



numérisée en haute définition, en couleurs, sur écran 360 degrés, et en langue originale, d'un film qu'il avait déjà vu il y a longtemps en noir en blanc sur un écran 4/3 étriqué. Il voit enfin l'intégralité de l'action, les scènes coupées, les dialogues manquants, toute l'intrigue s'explique et s'enchaîne parfaitement. La version en langue originale révèle des explications que la version française mal traduite avait rendues confuses. Quelle imagination dans le scénario, plein de rebondissements et d'actions périphériques, alors qu'il se souvenait d'une histoire terriblement simplifiée que son cerveau avait élaborée autrefois avec les éléments limités qu'il avait alors à sa disposition.

Et une nouvelle idée jaillit dans son esprit: après tous les films des nombreux réalisateurs qu'il a vus dans des centaines de salles, il se sent prêt à écrire le scénario ultime et parfait de tous les films policiers existants et à venir, celui qui les représenterait tous dans leur infinie diversité.

soute et particulaire, et même gazeuse, pour boucler entièrement les bilans de masse. Elle s'imagine mesurer à nouveau d'anciens événements dans ces conditions: finis les échantillons en nombre insuffisant péniblement collectés au seul exutoire du bassin versant, remplacés par des dizaines de capteurs performants et low-cost spatialement distribués à travers les sous-bassins versants et les ouvrages, fournissant des données en continu transmises et validées en temps réel. Elle comprend enfin l'ensemble des processus en jeu et leurs interactions, le rôle des surverses sur les bilans de masse jusqu'à présent demeurés incomplets, les contributions de chaque sous-bassin versant et des remises en suspension dans les ouvrages. L'ensemble des contributions devient quantifiable et interprétable. L'étalonnage systématique des capteurs rend les données fiables. Elle parvient à appréhender toute la complexité des phénomènes, et même leurs aspects aléatoires, tandis qu'elle se souvient des hypothèses et interprétations simplistes et invérifiables qu'elle avait échafaudées autrefois à partir des rares échantillons collectés.

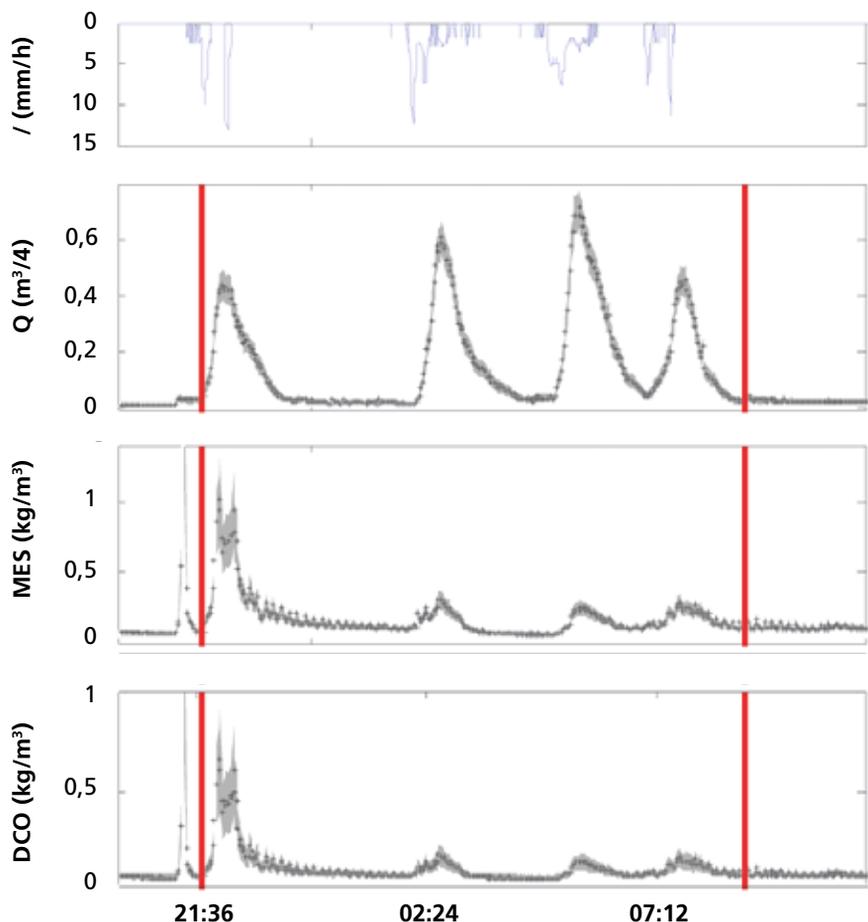
Et une nouvelle idée jaillit dans son esprit: avec toutes les données et connaissances accumulées dans sa base de données, elle se sent prête à créer le modèle numérique ultime et parfait de tous les rejets urbains de temps de pluie de tous les événements pluvieux passés et à venir, celui qui les représenterait tous dans leur infinie diversité.

Retour à la réalité

La figure 1 montre un exemple de suivi des concentrations en MES mesurées sur des échantillons prélevés à l'exutoire d'un bassin versant unitaire au cours d'un événement pluvieux.

Dans ce cas particulier, on dispose de 15 échantillons sur 700 minutes, ce qui correspond à un délai moyen de 50 minutes entre deux données... Le cerveau a naturellement tendance

Figure 2: Exemple de suivi d'un événement pluvieux par mesurage en continu de la pluie, du débit et des concentrations au pas de temps de 2 minutes, Chassieu (Rhône), événement du 29 mai 2008.



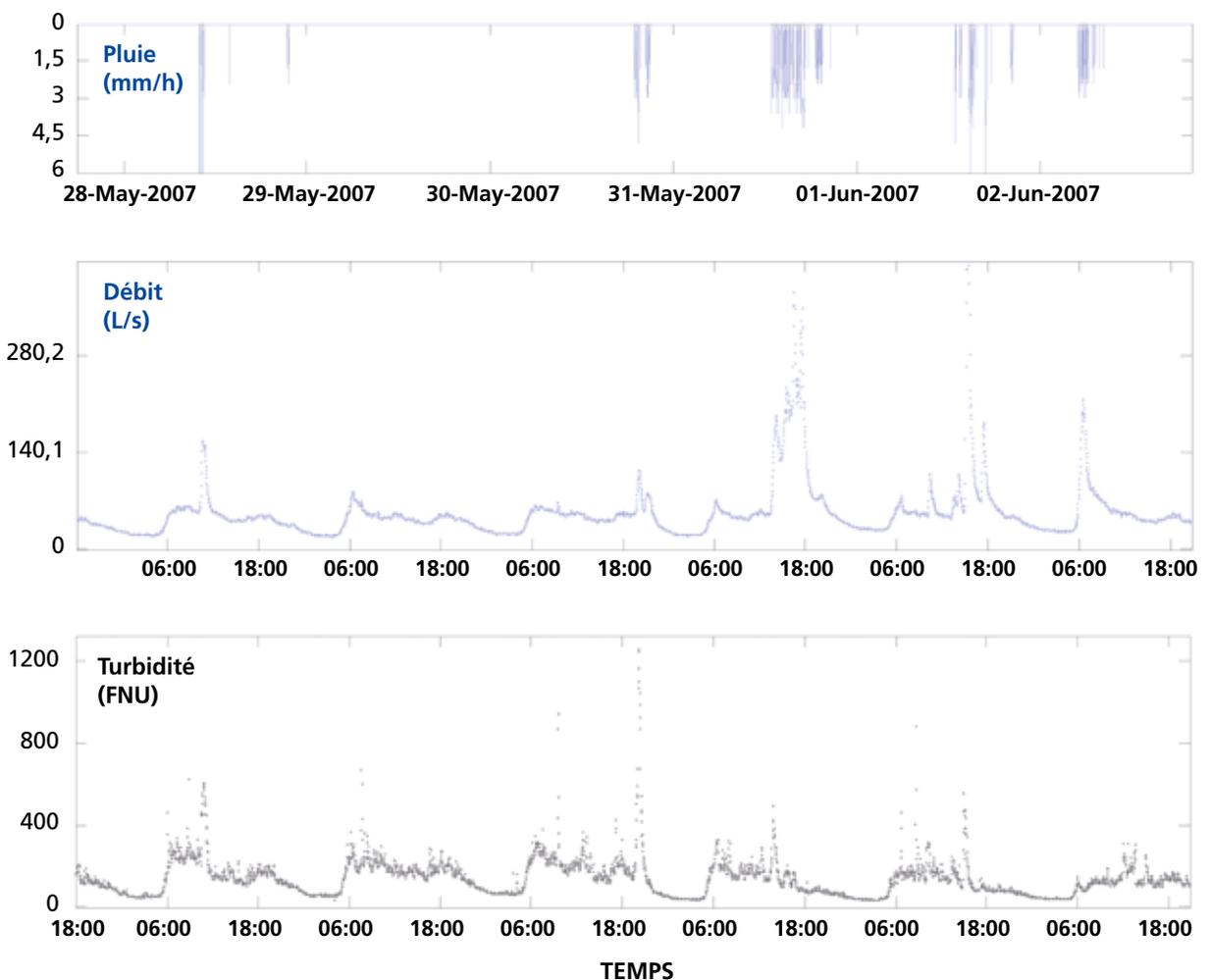
à interpoler linéairement entre deux valeurs successives de concentration pour reconstituer la continuité absente des données, et à prendre cette interpolation pour la réalité. Cet exemple n'est pas le plus mauvais, il existe en effet de nombreux cas où le nombre d'échantillons collectés est largement inférieur à 15. Ce type d'information a longtemps constitué la source principale de connaissance sur les flux polluants des rejets urbains de temps de pluie.

À titre de comparaison, la figure 2 montre un exemple de suivi des concentrations en MES et DCO estimées à partir de la turbidité mesurée en continu à l'exutoire du bassin versant séparatif de Chassieu. On dispose dans cet exemple d'une information toutes les 2 minutes, qui représente la dynamique réelle (et non pas imaginée) des processus, avec une estimation systématique des incertitudes. On peut ensuite calculer des bilans de masse ou des flux rejetés de manière beaucoup plus fiable (voir Question 2.2 : *Pourquoi le suivi métrologique de long terme de la qualité des RUTP est-il nécessaire ?*). Le mesurage en continu permet de s'affranchir des limites temporelles arbitraires du découpage en événements pluvieux séparés et des limites technologiques

liées aux capacités extrêmement limitées des préleveurs. Des séries chronologiques de données de longue durée (voir figure 3) permettent ainsi d'accéder à des informations et des connaissances nouvelles, de tester des modèles, de mieux gérer les ouvrages, etc.

Pour les bassins versants unitaires, le mesurage en continu permet, à partir d'une base de données sur les flux de temps sec, d'estimer, pour chaque événement pluvieux, la contribution des eaux usées au volume total écoulé et au flux polluant rejeté (voir Métadier et Bertrand-Krajewski, 2011). Il permet également de mieux gérer les ouvrages et de répondre pour partie à l'obligation réglementaire d'autosurveillance. Ainsi que l'ont montré Lombard *et al.* (2010), il est possible d'estimer les concentrations en MES, en DCO totale et dissoute, et en sulfures dissous en entrée d'une station d'épuration urbaine en combinant des données de turbidité, de spectrométrie UV-visible et de conductivité mesurées en continu. Enfin, le mesurage en continu permet d'établir des bilans journaliers avec des incertitudes plus faibles qu'avec les échantillons classiques. De nombreuses perspectives s'ouvrent donc avec sa généralisation (Eggimann *et al.*, 2017).

Figure 3 : Extrait d'une série chronologique pluie, débit et turbidité, Écully (Rhône), 28 mai-2 juin 2007.



En Bref...

Le mesurage en continu des flux polluants par capteurs *in situ* apporte une information bien plus riche et pertinente que celle obtenue par les prélèvements classiques, chaque fois que les concentrations en polluants peuvent être estimées au moyen de capteurs (pH, conductivité, turbidité, spectrométrie UV-visible, sondes spécifiques, etc.). Les protocoles et les bonnes pratiques à mettre en œuvre (étalonnages réguliers, vérifications périodiques, validation de données, estimation des incertitudes) sont connus et disponibles depuis plusieurs années maintenant. La pratique du mesurage en continu pourrait et devrait donc se développer bien davantage, si le poids des habitudes et le maintien d'exigences réglementaires dépassées ou dissuasives fondées quasi exclusivement sur les analyses normalisées sur échantillons ne constituaient pas des freins puissants.

POUR ALLER PLUS LOIN

- ▶ **Lombard V., Toloméo S., Bertrand-Krajewski J.-L., Debray R., Comte C., de Bénédictis J.** (2010). *Conception et mise en place de stations de mesure des flux polluants dédiées à la gestion intégrée d'un système d'assainissement*. Actes de Novatech 2010, Lyon, France, 27 juin-1^{er} juillet, 10 p. - Disponible sur <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/35668> visité le 2 septembre 2020).
- ▶ **Métadier M. & Bertrand-Krajewski J.-L.** (2011). *Assessing dry weather flow contribution in TSS and COD storm event loads in combined sewer systems*. *Water Science and Technology*, 63(12), 2983-2991. doi:10.2166/wst.2011.185. – ic.cx/metadier2011
- ▶ Et pour concilier cinéphilie et hydrologie urbaine, le film *Le Troisième homme*, de Carol Reed, Grand Prix du Festival de Cannes 1949, scénario de Graham Green, musique originale d'Anton Karas, avec une intrigue policière, des espions, des crimes, des victimes, une enquête, des fausses pistes, et plusieurs scènes avec Orson Welles dans les égouts de Vienne en Autriche. Complément indispensable : Timmermann B. & Baker F. (2002). *Der dritte Man* [le troisième homme]. Wien (Austria) : Czernin Verlag, 288 p. ISBN 978-3-7076-0143-9. (en allemand) – ic.cx/troisiemehomme